เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 24

20-21 พฤษภาคม 2568 โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ จังหวัดชลบุรี

ISBN : 978-616-94130-9-7

สิ่งแวดล้อมสีเขียวพร้อมด้วยสังคมคาร์บอนต่ำ สู่ความยั่งยืนเพื่อสุขภาวะที่ดีของมวลมนุษย์







บรรณาธิการ

สุชาติ เหลืองประเสริฐ วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ ตระการ ประภัสพงษา พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์
วิลาสินี อยู่ชัชวาล โกวิท สุวรรณหงษ์ อนามัย เทศกะทึก พิษณุ ปันนะราชา

คณะกรรมการสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

ผู้ทรงคุณวุฒิกิตติมศักดิ์	ศ.กิตติคุณ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์
ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์	ศ.กิตติคุณ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร ดร. เกษมสันติ์ สุวรรณรัต ผศ. พิเศษ ปราณี พันธุมสินชัย
นายก	รศ.ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ
อุปนายก	รศ.ดร. วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ รศ.ดร. วราวุธ เสือดี
กรรมการกลาง	รศ.ดร. ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ ผศ.ดร. ศรัณย์ เตชะเสน ผศ.ดร. ศมณพร สุทธิบาก คุณปรีดา วัชรเธียรสกุล
ประธานฝ่ายวิชาการ	รศ.ดร. ตระการ ประภัสพงษา
ประธานฝ่ายกิจกรรม	รศ.ดร. ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์
ประธานฝ่ายการเงิน	รศ.ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ
เลขาธิการ	รศ.ดร. โกวิท สุวรรณหงษ์

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
รศ.ดร. วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
รศ.ดร. ตระการ ประภัสพงษา	ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ศ.ดร. พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. วิลาสินี อยู่ชัชวาล	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. โกวิท สุวรรณหงษ์	สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ศ.ดร. อนามัย เทศกะทึก	สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
อ.ดร. พิษณุ ปันนะราชา	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

เจ้าภาพร่วมจัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประธานคณะกรรมการจัดงาน

ดร. ดำรงค์ ศรีพระราม — อธิการบดี

รองประธานคณะกรรมการจัดงาน

ศ.ดร. วันชัย ยอดสุดใจ — คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

ศ.ดร. พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ศ.ดร. ชาติ เจียมไชยศรี	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
รศ.ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
รศ.ดร. วิลาสินี อยู่ชัชวาล	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
รศ.ดร. สัญญา สิริวิทยาปกรณ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการฝ่ายพิธีการและต้อนรับ

รศ.ดร. จีมา ศรลัมพ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
รศ.ดร. พิชญ์นรี ลลิตาภรณ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผศ.ดร. พีรกานติ์ บรรเจิดกิจ	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
อ.ดร. ทักษิณา โพธิ์ใหญ่	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
อ.ดร. จารุเดช อาสิงสมานันท์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
อ.ดร. จารวี แก้วใหญ่	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์ ประสานงานและประเมินผล

ผศ.ดร. สุชีลา พลเรือง	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผศ.ดร. วรินทร์พร อโศกบุญรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผศ.ดร. ณัฐพล ลื้อบาย	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผศ.ดร. วิทรัช ยุทธวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผศ. กชกร สุรเนาวรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการฝ่ายเลขานุการ

นางสาวสุภาว์ วิหคไพบูลย์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวศิวพร ชัยสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวพิทยารัตน์ พื้นงาม	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวภัทรานิษฐ์ ณ สงขลา	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมฝ่ายการจัดงาน

รศ.ดร. โกวิท สุวรรณหงษ์	สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
ผศ.ดร. รจฤดี โชติกาวินทร์	สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
ผศ.ดร. ศักดิ์สิทธิ์ กุลวงษ์	สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย
ผศ.ดร. ปาจรีย์ อับดุลลากาซิม	สาขาวิชาสุขศึกษาและการส่งเสริมสุขภาพ
ดร. ทัดดาว พาหาทรัพย์อนันต์	สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
ดร. ธีรานันท์ นาคใหญ่	สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการและนิทรรศการ

รศ.ดร. นันทพร ภัทรพุทธ	สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย
รศ.ดร. ดนัย บวรเกียรติกุล	สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
รศ.ดร. พัชนา ใจดี	สาขาวิชาการสาธารณสุขชุมชน
รศ.ดร. ธีรยุทธ เสงี่ยมศักดิ์	สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย
ดร. กมลวรรณ พรมเทศ	สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย
ดร. สุนิศา แสงจันทร์	สาขาวิชาการสาธารณสุขชุมชน
ดร. มานะชัย ยิ่งกลาง	สาขาวิชาการสาธารณสุขชุมชน
นางสาวอดิษา บุตรแสนโคตร	สำนักงานคณบดี
นางสาวทิพรัตน์ นาคมอญ	สำนักงานคณบดี
นางสาวโชติกา แสนทายก	สำนักงานคณบดี
นายนรินทร์ กระจายกลาง	สำนักงานคณบดี
นางสาวสุนิษา สายสวะ	สำนักงานคณบดี
นางสาวศิวานิตย์ ทองคำดี	สำนักงานคณบดี
นางวราภรณ์ ปรารภ	สำนักงานคณบดี
นางเวสารัช จันทร์ใหม่	สำนักงานคณบดี
นางสาวมนัสนันท์ พิบาลวงค์	สำนักงานคณบดี

คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียนและต้อนรับ

ผศ.ดร. ปาจรีย์ อับดุลลากาซิม	สาขาวิชาสุขศึกษาและการส่งเสริมสุขภาพ
ผศ.ดร. นิภา มหารัชพงศ์	สาขาวิชาสุขศึกษาและการส่งเสริมสุขภาพ
ดร. รุ่งกานต์ อินทวงศ์	สาขาวิชาสุขศึกษาและการส่งเสริมสุขภาพ
ดร. ชลลดา มะโน	สาขาวิชาการสาธารณสุขชุมชน
นางจุฑามาศ สายศักดิ์	สำนักงานคณบดี
นางสาวญาณิน สิรนนท์ธนา	สำนักงานคณบดี
นางสาวเกศดาว เนินหาด	สำนักงานคณบดี
นางสาวเสาวนีย์ บุนนาค	สำนักงานคณบดี
นางสาวนงคราญ พูลหวัง	สำนักงานคณบดี
นางสาวณัฏฐ์พิชา อุดมศักดิ์สกุล	สำนักงานคณบดี
นายศรัณยู รพีอาภากุล	สำนักงานคณบดี
นางสาวภาวิณี เกตุพันธ์	สำนักงานคณบดี
นางวัชราภรณ์ นพเก้า	สำนักงานคณบดี
นายเอกลักษณ์ จุ่นเจริญ	สำนักงานคณบดี

หน่วยงานร่วมจัด

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

กระทรวงพลังงาน

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมมลพิษ

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น

กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ

ศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารจากนายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) ได้ดำเนินการจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเป็นประจำทุกปีมาตั้งแต่ พ.ศ. 2545 ซึ่งต่อมาใน พ.ศ. 2555 ได้ดำเนินการจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมทั้งระดับชาติและนานาชาติโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย และผู้มีประสบการณ์ รวมทั้งผู้สนใจนำเสนอผลงานวิชาการ วิจัย ผลงานนวัตกรรม และความรู้สิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาและเผยแพร่องค์ความรู้ เพื่อนำไปใช้ในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศและท้องถิ่นได้

ในปี 2568 นี้ สวสท. ได้รับเกียรติอย่างสูงจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา รวมทั้งการสนับสนุนอย่างดียิ่งจากหน่วยราชการต่าง ๆ ดังนี้ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ร่วมจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 24 ควบคู่กับการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติครั้งที่ 14 ด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และการจัดการสิ่งแวดล้อม วันที่ 20-21 พฤษภาคม 2568 ณ โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ จังหวัดชลบุรี คณะกรรมการจัดการประชุมได้รวบรวมบทคัดย่อ ซึ่งผ่านการกลั่นกรองจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และกองบรรณาธิการไว้เป็นรูปเล่ม และบทความวิชาการฉบับเต็มในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้คุณภาพเอกสารดังกล่าว เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยในการประชุมมีการบรรยายพิเศษ การเสนอผลงาน ทั้งแบบบรรยายและโปสเตอร์

ในนามของ สวสท. กระผมขอแสดงความยินดีและขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอผลงานวิจัยและผลงานประยุกต์ และหน่วยสนับสนุนอื่น ๆ รวมทั้งบริษัทเอกชนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ (ศวอ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) บริษัท เทคนิคสิ่งแวดล้อมไทย จำกัด ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน่วยรับรองการจัดการก๊าซเรือนกระจก มหาวิทยาลัยพะเยา บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) กลุ่มบริษัท ซี.เอ็ม.พี บริษัท เพทโทร-อินสตรูเมนท์ จำกัด บริษัท เทอร์ม เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด บริษัท เอส.เอ็ม. เคมีคอล ซัพพลาย จำกัด บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด บริษัท อี พาวเวอร์ เซอร์วิส จำกัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน บริษัท แมคโครคอนซัลแตนท์ จำกัด บริษัท เอนเนอร์ยี่ คอมเพล็กซ์ จำกัด บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด (UAE) บริษัท แอสโซซิเอชั่นออฟทรี จำกัด บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริษัท สยามวัฒนา เวสต์ แมนเน็จเม้นท์ จำกัด บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) บริษัท ฮีดากา โยโก เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด บริษัท โมเดอร์น ไดสตัฟส์ แอนด์ พิคเมนท์ส จำกัด บริษัท พลัสเอ็กซโพลเรชั่น จำกัด บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท เอ็นไวร์ เซอร์วิส จำกัด บริษัท อินโนเวชั่น ไอเดีย จำกัด บริษัท ยูเอชเอ็ม จำกัด สำนักงานใหญ่ บริษัท คาลปีด้า (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท พรีเมียร์ โพรดักส์ จำกัด (มหาชน) บริษัท อินโนวาไลฟ์ จำกัด บริษัท เอบาร่า (ไทยแลนด์) จำกัด บริษัท ซีวิโอ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) บริษัท เอ็นพีซี เซฟตี้ แอนด์ เอ็นไวรอนเมนทอล เซอร์วิส จำกัด บริษัท รักดีหามจั่ว จำกัด บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทอล เทคโนโลยี จำกัด และ บริษัท แพลนเน็ตซี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในทุกรูปแบบ และหวังอย่างยิ่งว่าผลการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ



รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ
นายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

สารจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งจัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) เป็นเวทีสำคัญให้นักวิชาการและนักวิจัยได้นำเสนอผลงานทางวิชาการและเผยแพร่องค์ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงยังเปิดโอกาสให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องด้านสิ่งแวดล้อม และหน่วยงานต่าง ๆ ที่ดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม นำเสนอผลการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในประเด็นต่าง ๆ ด้านวิชาชีพ ในปีนี้ 2568 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ได้รับเกียรติอย่างสูงจาก สวสท. ให้เป็นเจ้าภาพร่วมจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 24 ควบคู่กับการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติ ครั้งที่ 14 ด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการจัดการสิ่งแวดล้อม ในวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2568 ณ โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ จังหวัดชลบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณ สวสท. หน่วยงานราชการและหน่วยงานสนับสนุนอื่น ๆ ทั้งภาครัฐ ภาคการศึกษาและภาคเอกชน ซึ่งได้กล่าวรายนามแล้วในสารจากนายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์การจัดงานประชุมวิชาการในครั้งนี้ ตลอดจนคณะกรรมการจัดประชุมทุกฝ่ายที่ได้ ดำเนินการทั้งด้านเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ และเตรียมงานการประชุมวิชาการทั้งระดับชาติและนานาชาติเป็นอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

ในนามของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กระผมขอแสดงความยินดีและขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอผลงานวิจัย ผลงานประยุกต์ และผลการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อม และหวังอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ



ดร. ดำรงค์ ศรีพระราม
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารจากคณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

การพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน คือแนวทางสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศสู่ความยั่งยืน มหาวิทยาลัยบูรพา โดยคณะสาธารณสุขศาสตร์ รู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้ร่วมเป็นเจ้าภาพในการจัดประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 24 ควบคู่กับการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติ ครั้งที่ 14 ด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้หัวข้อ “สิ่งแวดล้อมสีเขียวพร้อมด้วยสังคมคาร์บอนต่ำ สู่ความยั่งยืนเพื่อสุขภาวะที่ดีของมวลมนุษย์” ซึ่งจัดขึ้นในระหว่างวันที่ 20-21 พฤษภาคม พ.ศ. 2568 ณ โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ จังหวัดชลบุรี

การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและนานาชาติ ซึ่งจัดโดย สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) ถือเป็นเวทีวิชาการสำคัญที่เปิดโอกาสให้นักวิชาการ นักวิจัย ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ปฏิบัติงานจากหลากหลายภาคส่วน ได้แลกเปลี่ยนองค์ความรู้และนำเสนอผลงานทางวิชาการ นวัตกรรม และประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ทั้งในมิติด้านเศรษฐกิจ สังคม และชุมชน โดยเฉพาะแนวคิดเรื่อง “อุตสาหกรรมเชิงนิเวศ” ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการปรับเปลี่ยนภาคการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและหมุนเวียน อันสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals - SDGs)

ในโอกาสนี้ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หน่วยงานภาครัฐ ภาคการศึกษา ภาคเอกชน และภาคประชาสังคม ที่ให้การสนับสนุนการจัดประชุมในครั้งนี้ ตลอดจนคณะกรรมการจัดประชุมทุกท่าน ที่ได้จัดทำเอกสารและเตรียมความพร้อมในการจัดประชุมในทุกด้านอย่างมีคุณภาพตามมาตรฐานสากล

ในนามของมหาวิทยาลัยบูรพา กระผมขอแสดงความยินดีและขอบคุณผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่านที่ได้ร่วมกันนำเสนอผลงานวิจัย ผลงานประยุกต์ และการปฏิบัติงานที่มีคุณค่ายิ่งทางด้านสิ่งแวดล้อม หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมในครั้งนี้จะเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญในการสร้างองค์ความรู้และความร่วมมือที่นำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร. โกวิท สุวรรณหงษ์
คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

บทบรรณาธิการ

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) ร่วมกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และหน่วยงานร่วมจัดอื่น ๆ ได้แก่ กระทรวงพลังงาน กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้จัดให้มีการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 24 และการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติครั้งที่ 14 ด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ และการจัดการสิ่งแวดล้อม ระหว่างวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2568 ณ โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ จังหวัดชลบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดโอกาสให้นักวิชาการ นักวิจัย และผู้มีประสบการณ์ ตลอดจนผู้ที่สนใจ ได้นำเสนอผลงานวิจัย ผลงานวิชาการ ผลการปฏิบัติงาน องค์ความรู้สิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยน เรียนรู้ และเผยแพร่วิชาการ อันจะนำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศได้

เอกสารการประชุมวิชาการประกอบด้วย และบทคัดย่อได้ผ่านการกลั่นกรองจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ซึ่งรวบรวมไว้เป็นรูปเล่ม และบทความฉบับสมบูรณ์ ซึ่งรวบรวมไว้ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นเอกสารประกอบการประชุมวิชาการที่มีคุณภาพตามมาตรฐานทั้งระดับประเทศและระดับสากล สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

ในนามกองบรรณาธิการ ขอขอบคุณนักวิจัย นักวิชาการ ที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการจัดส่งบทคัดย่อและบทความฉบับสมบูรณ์ พร้อมนำผลงานเสนอในการประชุมวิชาการ ตลอดจนผู้ที่สนใจเข้าร่วมการประชุมวิชาการ นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้สละเวลา ให้ความร่วมมือในการพิจารณาบทคัดย่อพร้อมให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อผู้เสนอบทความ ทำให้เอกสารประกอบการประชุมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และทำให้การประชุมวิชาการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กองบรรณาธิการ

สุชาติ เหลืองประเสริฐ
วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ
ตระการ ประภัสพงษา
พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์
วิลาสินี อยู่ชัชวาล
โกวิท สุวรรณหงษ์
อนามัย เทศกะทึก
พิษณุ ปันนะราชา

สารบัญ

		หน้า
20R1-01	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และดัชนีความไม่เสถียรภาพอากาศ จากวิทยุหยั่งอากาศ และจุดความร้อน ที่สอดคล้องกับฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่ภาคเหนือ ประเทศไทย อนิรุจน์ อัครพงศ์ตระกูล ฉันติ เดชโยธิน มารุต ราชมณี ธนากร เสรีสกุลธร ชัยพร นิลารัตน์ ปวีณา เวสภักตร์ ศิริรัตน์ สุลา และ ณภัชนันท์ อุทธโยธา	1
20R1-02	การแยกแบล็คแมสเบื้องต้นโดยโฟลทโฟลวเทชัน กันต์กมล วรรณะ และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์	9
20R1-03	การประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการ เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม พีระ คล้ายริน	14
20R1-04	วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในธุรกิจโรงแรมเพื่อเสนอแนะแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ณัฐพล มากสำรี สุมล นิลรัตน์นิศากร และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ	22
20R1-05	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเครื่องสำอางด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี เปรม เตชะเพียวเลิศ และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ	28
20R1-06	การประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล วิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน 2025, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย พิเชษฐ์ ดีไพรัฐนันท์ ภาวินี พงศ์พันธ์พฤทธิ์ รัชนัน ชำนาญหมอ ชัญญานุช เมฆาวัชร์ กวีมาศ รักษาสังข์ ภวิล สิริสิงห ภูวนัตฎ์ หอมผกา สพล ช่วยแก้ว ภัทรดนัย คงมาก ชัยภัทร จานุกิจ ปฏิพล ศักดิ์ธนวัฒน์ พัชรียา รุ่งกิจวัฒนานุกูล และ พิสุทธิ์ เพียรมนกุล	36
20R1-07	การประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญเร่งด่วนของแผน โครงการลดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่จังหวัดพะเยา ปริญญา โศภิตภิญโญ ชลลดา กำใจ ทรงกรด มูลเทพ วิมลรัตน์ ศีติสาร และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ	44
20R1-08	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อวางแผนการส่งเสริมมูลค่าเพิ่มในอุตสาหกรรมไม้ยางพาราและกักเก็บคาร์บอนในจังหวัดพะเยา ณัฐพงษ์ ฟองมณี วิมลรัตน์ ศีติสาร ทรงกรด มูลเทพ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ	50
20R1-09	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของโรงงานผสมสีย้อมผ้า: กรณีศึกษาในประเทศไทย สุพิชฌาย์ ศรีสังข์ และ ทักษิณา โพธิ์ใหญ่	57
20R1-10	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี พชรพงศ์ พระศุกร์ เสรีย์ ตู้ประกาย ชลีพรณ์ ธรรมพรรัมย์ และ พงศกร พรมสวัสดิ์	63

20R1-11	การศึกษาคุณสมบัติและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของมอร์ตาร์ที่มีองค์ประกอบของเศษหิน จากการขุดเจาะปิโตรเลียม ณัฏฐภูมิ กัลวงษ์ วันชัย ยอดสุดใจ และ ทักษิณา โพธิ์ใหญ่	71
20R1-12	การประยุกต์ใช้หนอนแมลงวันลายเพื่อลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและการตกค้าง ของขยะอาหารตามหลักการ BCG ต้นแบบมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี กุลวรรณ โสรัจจ์ อนุวัฒน์ ยินดีสุข และ ธีรวรรณ บุญโทแสง	79
20R1-13	การประเมินการแพร่กระจายฝุ่น PM_{10} จากโรงโม่หินด้วยแบบจำลอง AERMOD กรณีศึกษา จังหวัดสระบุรี สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์ เจษฎานันท์ เวียงนนท์ ภรณ์ดรัลรัตน์ สุชามาลาวงษ์ และ นิอร งามฮุย	87
20R1-14	การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรด้านการให้บริการจัดการของเสียอุตสาหกรรม ฉันท์ทิศา กลั่นทอง สนธิลักษณ์ สุขะสุคนธ์ ภัคภาคิน ซ่อนกนก ภุมรินทร์ กลั่นแก้ว และ อนุสรณ์ บุญปก	98
20R1-15	แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับโรงแรมขนาดเล็กเพื่อส่งเสริมสู่มาตรฐาน โรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วีรยาภรณ์ เทียมผล และ นิสา พักตร์วิไล	105
20R1-16	การศึกษาและพัฒนาคู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้า: กรณีศึกษาโรงงานซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดกลางแห่งหนึ่ง ศุขฤทัย ทานะเวช นันท์นภัสร อินยิ้ม และ เลิศเลขา ศรีรัตนะ	112
20R1-17	การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบน้ำหมุนเวียน เพื่อการเกษตรกรรม วาลิกา เศวตโยธิน ภริณดา ทยานุกูล และ สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์	118
20R1-18	การใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร จารุพงศ์ แซ่ตั้น และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ	126
20R1-19	แนวทางการจัดการระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรีอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดบลูคาร์บอน พรรณิภา อนุรักษากรกุล ณรงค์ พลีรักษ์ กฤชญาณ อินทรัตน์ พรทิพย์ ฝอยวาร และ ภูริต มีพร้อม	132
0R2-01	การใช้ถ่านเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อดูดซับสาร 4-คลอโรอะนิลีน ทักษพร บุญถา และ สุมนา ราษฎร์ภักดี	139
20R2-02	การย่อยสลายสารพาโคลบิวทราซอลด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ นภัทร ฤทธิ์แผ่ว และ สุมนา ราษฎร์ภักดี	147

20R2-03	การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำบริเวณคลองสายหลักของอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา สัณหณัฐ มณีรัตน์ อับดุลการีม นิโด สายสิริ ไชยชนะ และ สิริพร บริรักวิสิฐศักดิ์	154
20R2-04	การปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นเมืองและการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ: กรณีศึกษาศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณาวุฒิ อินทร์แก้ว อัจฉรา คล้ายอักษร ปทุมวดี วงษ์จุ้ย ธวัชชัย บุญเพ็ง กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์ และ วรนุช ดีละมัน	161
20R2-05	การจัดการพื้นที่และธาตุอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน วิจิตรา สุจริต หาญโชค บุญเวียงพันธ์ ธนกร ราชพิลา และ ณัฐพงษ์ วงษ์มา	168
20R2-06	การประเมินและจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตคอยล์ของเครื่องปรับอากาศ ตามระบบ ISO 45001 ระวีวรรณ ใบขุนทด นันท์นภัสร อินยิ้ม และ เลิศเลขา ศรีรัตนะ	175
20R2-07	การพัฒนาแบบตรวจสอบความปลอดภัยในการขนส่ง: กรณีศึกษากิจการขนส่งอะไหล่รถยนต์โดยใช้รถส่วนบุคคลแห่งหนึ่ง รติรัตน์ จูแพ นันท์นภัสร อินยิ้ม และ เลิศเลขา ศรีรัตนะ	182
20R2-08	การผลิตถ่านไฮโดรชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน ศศิธร ใสปา บุญญา ชาญนอก สุพจน์ บุญแรง สุรศักดิ์ นุ่มมีศรี รจพรรณ นิรัญศิลป์ และ ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท	189
20R2-10	การลดทรัพยากรและของเสียโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต: กรณีศึกษาโรงงานขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง วรมิญช์ พันธุรัตน์ จิรศักดิ์ จารุพงศ์ และ จินดามณี นิสยันต์	196
20R2-11	การคายประจุแบตเตอรี่ประเภทลิเธียม NMC (แบตเตอรี่ลิเธียม-แมงกานีส- โคบอลท์-ออกไซด์) ขนาดเล็ก สุมณฑา พิทักษ์เทพสมบัติ และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์	204
20R2-12	การแยกวัสดุปิดหลังแผงโซล่าเซลล์ ด้วยสารละลายอินทรีย์ กานต์ธิดา เกิดดี และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์	211
20R2-13	การนำน้ำหล่อเย็นอัญมณีจากกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีม กลับมาใช้ซ้ำ ธรรมสรณ์ ลำใย และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ	217
20R2-14	การนำเทคโนโลยี IoT(Internet of Things) มาใช้ติดตามและควบคุมค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสีย อาชวิศร ชื่นอารมย์ และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ	224

20R2-15	การสำรวจและประเมินศักยภาพชุดดิน พื้นที่นาข้าวจังหวัดเชียงราย และจังหวัดพะเยาเพื่อส่งเสริมการทำนาข้าวคาร์บอนต่ำ ทรงกรด มูลเทพ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ	231
20R2-16	การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวของอุตสาหกรรมยางพาราอย่างยั่งยืน พัทธธัญญ์ พิมพ์กินรีย์ วิมลรัตน์ ศีติสาร ณัฐวุฒิ ผลกุศล ทรงกรด มูลเทพ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ	239
20R2-17	การจัดการกากตะกอนน้ำเสียเพื่อผลิตเป็นสารปรับปรุงดินจากเครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์ คมสันต์ สุขเสนา โกวิท สุวรรณหงษ์ และ ต่อพงศ์ กรีธาชาติ	246
20R2-18	การเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกโดยใช้นาโนคอมโพสิต $MnFe_2O_4$/g-C_3N_4 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ศักดิ์ชัย แก้วทรัพย์เดชศิริ ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์ และ อรวรรณ โรจน์วิรุฬห์	253
20R2-19	การออกแบบต้นแบบถังหมักเศษอาหารในครัวเรือนโดยใช้เซลแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ทศพล พูลเจริญ อรวรรณ โรจน์วิรุฬห์ และ ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์	260
21R1-01	การเพิ่มประสิทธิภาพของ ระบบไฮโดรไซโคลน โดยอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ปิยะ ตั้งพงษ์ และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ	266
21R1-02	การคาดการณ์ปริมาณขยะใบพัดกังหันลมและแนวทางเบื้องต้นในการจัดการใบพัดกังหันลมหลังการรื้อถอนของประเทศไทย ธันย์ชนก สังขะทิพย์ สุชีลา พลเรือง และ วรินทร์พร อโศกบุญรัตน์	274
21R1-03	ผลกระทบจากกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมต่อพฤติกรรมในการจัดการขยะ หนึ่งฟ้า ช้อนนาค ทักษิณา โพธิ์ใหญ่ และ ณัฐพล ลื้อบาย	282
21R1-04	การวิเคราะห์ด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมของการนำขยะชุมชนไปแปรรูปเป็นพลังงาน กรณีศึกษาของกรุงเทพมหานคร อิทธิชัย ไชยลังกา และ ชาติ เจียมไชยศรี	289
21R1-05	การใช้กระจกพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตมอร์ต้าร์ จิรพัชร์ บุตรดี และ พิชญ รัชฎาวงศ์	297
21R1-06	การศึกษาแนวทางการแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางความร้อน สุมินทร์ญา เอกฉาย และ พิชญ รัชฎาวงศ์	304
21R1-07	การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการแยกกระจกออกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ลิโมนีน กิตติวดี รุจิสรรย์ และ พิชญ รัชฎาวงศ์	311

21R1-08	การนำชานอ้อยไปใช้เป็นวัสดุในการทำคอนกรีตบล็อกก่อผนัง กัญญารัตน์ บุญคง กัญญาณัฐ อ่ำจ้อย ไปรยา นิ่มเนียม และ นราธิชต์พร นวลสวรรค์	318
21R1-09	จลนพลศาสตร์ของการบำบัดบิสฟีนอล เอ ในน้ำเสียท่าอากาศยานด้วย *Alcaligenes faecalis* No.4 ชญานิษฐ์ วิทยาภิรมย์ นราธิชต์พร นวลสวรรค์ และ ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช	323
21R1-10	เว็บแอปพลิเคชันสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ถนัดกิจ ชารีรัตน์ กมลลักษณ์ จิตตฤกษ์ และ ณพดล จันเทพา	329
21R1-11	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการจัดการขยะมูลฝอยริมชายฝั่ง จังหวัดชลบุรี ธนัชกฤศ มังกรศักดิ์สิทธิ์ และ ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ	337
21R2-01	การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซสังเคราะห์ นิรามัย ไตรยวงศ์ พนิดา เทพขุน ธนิตา สนธิเศวต จตุพร อุทัยศรี วรัญญู พลเดช และ นภาพร คล้ายเจียม	345
21R2-02	การเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ป่าดิบแล้ง จักรกริช ไชยเนตร และ สุรีย์พร ธรรมิกพงษ์	352
21R2-03	การนำแอมโมเนียมกลับจากน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ พีรวัฒน์ ยอดกมลศาสตร์ Tomohide Watanabe Keiichi Kubota และ วิลาสินี อยู่ชัชวาล	358
21R2-04	การกำจัดสีอินดิโกคาร์มีนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น เอกปวีร์ ชื่นอารมย์ และ สัญญา สิริวิทยาปกรณ์	363
21R2-05	การนำกลับฟอสเฟตจากน้ำเสียฟาร์มสุกรในรูป FePO4•2H2O ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี กนกพร ศรีไชย และ วิลาสินี อยู่ชัชวาล	370
21R2-06	การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากสาคูเพื่อดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย: แนวทางการพัฒนาวัสดุเชิงสิ่งแวดล้อม นรารัตน์ ทองศรีนุ่น จารุวรรณ คำแก้ว ประสิทธิ์ รุ่งเรือง วิภาพรรณ คงเย็น เมสันต์ สังขมณี และ ชนรรค์ พงศอาทิตย์	375
21R2-07	การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพชนิดตัวกลางเคลื่อนที่ ชาคริยา ก่อชัย และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ	382
21R2-08	ผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยและจุลินทรีย์ในระบบ ธนวัฒน์ พงษ์ทองเจริญ	389

21R2-09	การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและแอมโมเนียมในน้ำทิ้งจากโรงงานวุ้นเส้นด้วยระบบ Downflow Hanging Sponge (DHS) แบบดัดแปลงตัวกลาง ภีมมานนท์ หงษาวดี จารวี แก้วใหญ่ สุเมธ วงศ์เขียว และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์	396
21R2-10	ศึกษาการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตวุ้นเส้นมาใช้ประโยชน์ซ้ำเพื่อการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ กานต์ชนก ฮีมวาต์ จารวี แก้วใหญ่ สุเมธ วงศ์เขียว และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์	403
21R2-11	การกำจัดแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มและเอสเชอริเชียโคไลจากน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการกรองทรายและไบโอชาร์จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำ บุญญฤทธิ์ ยศศิริ ธนพนธ์ จาตุรงคโชค จารวี แก้วใหญ่ วิทรัช ยุทธวงศ์ สุเมธ วงศ์เขียว และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์	411
21R3-01	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นอัดจากเศษไม้ไผ่และพลาสติกตามแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ศิรสิทธิ์ มีศิริ อริสษา อินโท ณรงค์ศักดิ์ เชื้อเมืองพาน โสมนัส สมประเสริฐ และ อนุสรณ์ บุญปก	419
21R3-02	ความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ของหินเทียมที่ได้จากขยะเศษไม้เทียม ขยะเศษแก้ว และขยะเศษพลาสติก อมเรศ บกสุวรรณ ประชุม คำพุฒ วันโชค เครือหงส์ และ เกียรติสุดา สมนา	426
21R3-03	คอนกรีตผสมขยะพลาสติกชุมชนสำหรับงานกระถางต้นไม้และเก้าอี้สนาม ประชุม คำพุฒ อมเรศ บกสุวรรณ รัฐพล สมนา และ เกียรติสุดา สมนา	431
21R3-04	แผ่นอัดฟางข้าวเคลือบขยะพลาสติกสำหรับใช้ตกแต่งผนังอาคารกันน้ำ ประชุม คำพุฒ รัฐพล สมนา เกียรติสุดา สมนา และ ทวิช กล้าแท้	435
21R3-05	คอนกรีตมวลเบาผสมเศษอิฐมวลเบาและแกนกัญชง กิตติพงษ์ สุวีโร ประชุม คำพุฒ และ เกียรติสุดา สมนา	441
21R3-06	การใช้เถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสมในคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก ประชุม คำพุฒ อมเรศ บกสุวรรณ ทวิช กล้าแท้ และ เกียรติสุดา สมนา	446
21R3-07	การเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากไร่กัญชาด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ปาติเคิล จิตรทิวัส ลาทา รัฐพล สมนา ประชุม คำพุฒ และ เกียรติสุดา สมนา	453
21R3-08	ประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศในการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์ เจนจิรา ชาติบุตร และ จีมา ศรลัมพ์	460
21R3-09	การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์สถานีงานของโรงงานผสมกาแฟสำเร็จรูป วราภรณ์ สุวรรณโกมุท ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช เสรีย์ ตู้ประกาย และ สิรภัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย	466

21R3-10	เตาอบชุบผิวแข็งด้วยก๊าซแบบต่อเนื่องกับนโยบายความเป็นกลางทางคาร์บอน สัญชุมากรณ์ เสงี่ยม วริษา วงศ์เจียมรัตน์ นพดล อุดมเวช และ กมลชนก สอนสมยุค	473
20P-01	การคัดกรองเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกจากวัสดุเพาะเห็ด *Lentinus squarrosulus* Mont. เหลือทิ้ง วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์ จิราภา เกตุนาค และ ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด	477
20P-02	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องกร กรณีศึกษาการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ยุทธนา ศรีอุดม เจษฎา วิเศษมณี สังคม สัพโส และ อนุรัตน์ เทวตา	483
20P-03	การสำรวจอันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง อนิรุจน์ มะโนธรรม ศิริมา เอมวงษ์ ธนวรกฤต โอฬารธนพร และ มัตติกา บุญมา	491
20P-04	ประสิทธิภาพของสารสกัดจากดีปลีและดาหลาในการยับยั้งเชื้อ *Aspergillus fumigatus* ซากีนะห์ อาแว นูรีซัน ซาเมาะ วีรยุทธ ทองคง และ นิศากร วิทจิตสมบูรณ์	497
20P-05	ผลกระทบของฤดูกาลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในลุ่มน้ำบางปะกง สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์ ขวัญฤทัย เรณูหอม สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์ อภิสิทธิ์ พวงมาลัย อำนวยชัย คงดี และ เจนยุกต์ โลห์วัชรินทร์	502
20P-06	การศึกษาเชิงทดสอบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อน ยุทธนา ศรีอุดม อนุรัตน์ เทวตา สังคม สัพโส และ เจษฎา วิเศษมณี	510
20P-07	การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์มีที่ปฏิกิริยาโฟโตคะทาไลติกภายใต้แสงที่มองเห็นได้ด้วยวิธีการคาโทดิกอาร์ค วิโรจน์ เครือภู่ อรรถพล เชยศุภเกตุ และ ธนัสถา รัตนะ	518
20P-08	ระบบตรวจจับหมวกนิรภัยเพื่อสตาร์ทรถจักรยานยนต์ นวพล ม่วงเอี่ยม ธนพล จันทร์สุข สมคิด สุขสวัสดิ์ และ เอกลักษณ์ สุมนพันธุ์	525
20P-09	การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ญาดา สงวนไพบูลย์ และ วรพงศ์ ตั้งอิทธิพลากร	532
20P-10	การสังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธี Green Synthesis จากน้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้า: การศึกษาประสิทธิภาพในการสลายสีย้อม RHb กนิษฐา พงศ์อาทิตย์ ชนรรค์ พงศ์อาทิตย์ เมสันต์ สังขมณี จารุวรรณ คำแก้ว และ จิรภา คงเขียว	538
20P-11	การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย กรณีศึกษา โรงพยาบาลชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ภาวิณี คงสุวรรณ และ สัญญา สิริวิทยาปกรณ์	544

20P-12	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหารโดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม อัณธิกา เสงี่ยมใจ และ ธนวรรณ แซ่ไหล	551
20P-13	สังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมจากเบสธรรมชาติ 2 ชนิด และสลายสีย้อม RhB และ RO ภายใต้แสง UV ชนรรค์ พงศ์อาทิตย์ ไดอาน่า บูหะหมัด เสาวลักษณ์ อะหมาด กนิษฐา พงศ์อาทิตย์ และ วิภาพรรณ คงเย็น	559
20P-14	การศึกษาการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารและแนวทางการดูแลรักษาระบบ วรพชร ถาวรโชคชัย นันท์นภัสร อินยิ้ม และ เสรีย์ ตู้ประกาย	566
20R2-09	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแห้วจีนปอกเปลือก จิระวัฒน์ จิระจิตต์มีชัย จีมา ศรลัมพ์ และ วรพจน์ กนกกันฑพงษ์	571

20R1-01

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และดัชนีความไม่เสถียรภาพอากาศ จากวิทยุหยั่งอากาศ และจุดความร้อน ที่สอดคล้องกับฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่ภาคเหนือ ประเทศไทย

Meteorological Data and Instability Indices from Radiosonde and Hotspot Correlated with $PM_{2.5}$ and PM_{10} in The Northern Region of Thailand

อนิรุจน์ อัครพงศ์ตระกูล[1*] ฉันติ เดชโยธิน[2] มารุต ราชมณี[3] ธนากร เสรีสกุลธร[1] ชัยพร นิลารัตน์[1]
ปวีณา เวสภักตร์[1] ศิริรัตน์ สุลา[1] และ ณภัชนันท์ อุทธโยธา[4]
Aniruj Akkarapongtrakul[1*] Chanti Detyothin[2] Marut Ratmanee[3] Thanakorn Serisakulthorn[1] Chaiyaphorn Nilarat[1]
Paweena Wessapak[1] Sirirat Sula[1] and Napatchanan Uttayotha[4]
[1*]นักวิทยาศาสตร์; [1] นักวิทยาศาสตร์ กองปฏิบัติการฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900
[2]ผู้เชี่ยวชาญด้านวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์บรรยากาศประยุกต์ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900
[3]ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ; [4]นักวิทยาศาสตร์ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900
[*]โทรศัพท์ : 0894361516, E-mail : Akkarapongtrakul.a@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาค่าดัชนีความไม่เสถียรอากาศ (Instability Indices) ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และทิศทางลมของอากาศชั้นบน (Upper air) ด้วยวิทยุหยั่งอากาศ (Radiosonde) สถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ และจุดความร้อน (Hotspot) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย ศึกษาความสอดคล้องกับความเข้มข้นของฝุ่นอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ PM_{10} บริเวณภาคเหนือ ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2563-2567 พบว่า ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูร้อนของทุกปี (กุมภาพันธ์-เมษายน) และพบค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม ช่วงปี พ.ศ. 2563-2567 พบค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีความเข้มข้นสูงสุด พ.ศ. 2566 (มีนาคม) มีค่าเท่ากับ 88.9 $\mu g/m^3$ และ 123.9 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับจุดความร้อน 4,710 จุด ค่าความไม่เสถียรภาพของอากาศฤดูหนาว และฤดูร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ในช่วงฤดูฝน พบค่าควาชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 93 และ 85 ที่ระดับความสูงเฉลี่ย 300-1,500 และ 1,500-3,000 เมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าฝุ่นที่น้อยลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงฤดูฝน ค่าดัชนี KI และ SWEAT เฉลี่ยเท่ากับ 35 และ 236 ตามลำดับ ค่าดัชนีอากาศ LI และ SI ในช่วงฤดูหนาว มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน มีค่าเท่ากับ +5.28 ถึง +5.33 ฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ +1.57 ถึง +1.87 ในขณะที่ในฤดูฝน ค่า LI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.14 และค่า SI มีค่า +0.18 ผลวิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีความสอดคล้องกับช่วงฤดูกาล จุดความร้อน และค่าดัชนีความไม่เสถียรภาพของอากาศ (LI SI KI และ SWEAT) ที่มีผลต่อการระบายของฝุ่นขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศในพื้นที่ภาคเหนือ ของประเทศไทย

คำสำคัญ : $PM_{2.5}$, PM_{10}, ดัชนีความไม่เสถียรภาพ, วิทยุหยั่งอากาศ และ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร

Abstract

This research looked at the instability indices, relative humidity, wind speed, and wind direction in the upper atmosphere using radiosonde data from the Omkoi Royal rainmaking station in Chiang Mai province, as well as hotspots in northern Thailand. The research analyzed the correlation between $PM_{2.5}$ concentrations at 21 sites and PM_{10} concentrations at 16 stations in northern Thailand from 2020 to 2024. The concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10} increased throughout the summer months of each year. From February to April, the highest average levels of $PM_{2.5}$ and PM_{10} were seen in March and April from 2020 to 2024, with the peak values recorded in March 2023 at 88.9 µg/m³ and 123.9 µg/m³, which matched the occurrence of 4,710 hotspots. The air instability levels in winter and summer are comparable; nevertheless, during the rainy period The relative humidity was 93 percent at altitudes of 1,000-5,000 ft (about 300-1,500 meters) and 85 percent at 5,000-10,000 ft (approximately 1,500-3,000 meters), correlating with the significantly lower amount of dust during the rainy season. The mean KI and SWEAT indices were 35 and 236, respectively. The average LI and SI indices were similar in winter (+5.28 to +5.33) and summer (+1.57 to +1.87), but in the rainy season, the LI was -0.14 and the SI was +0.18. The results indicated that the levels of $PM_{2.5}$ and PM_{10} were related to the season, hotspot, and the instability indices LI, SI, KI, and SWEAT, which influenced how atmospheric particles were spread in northern Thailand.

Keywords : $PM_{2.5}$, PM_{10}, Instability indices, Radiosonde, Department of Royal rainmaking and agricultural aviation

บทนำ

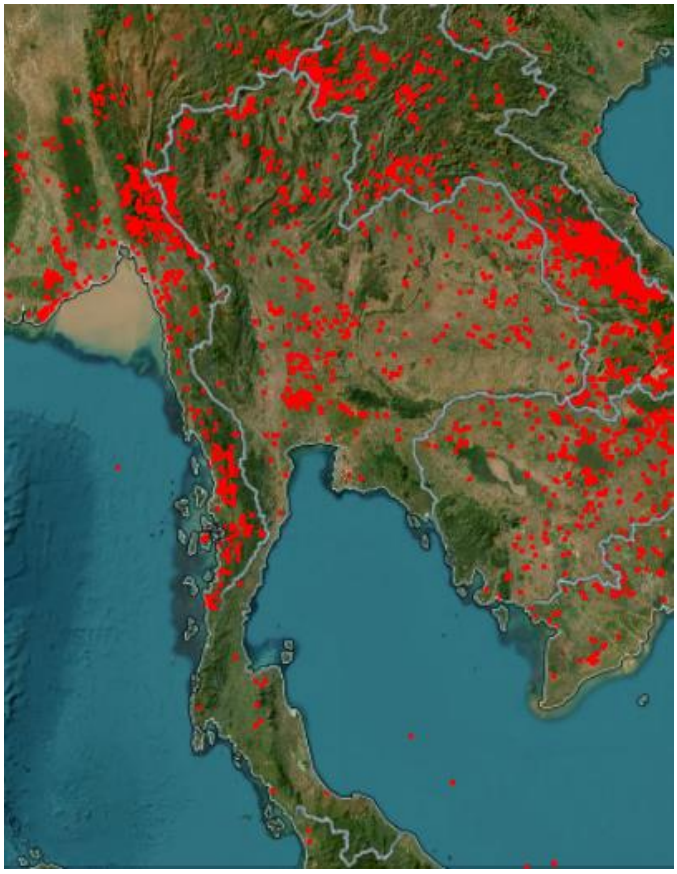
มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจ และระบบหัวใจของมนุษย์ [1] และยังส่งผลกระทบต่อบรรยากาศ เช่น อาจทำให้บรรยากาศร้อนขึ้น อีกทั้งส่งผลต่อรูปแบบการเกิดเมฆและการตกของฝน มลพิษทางอากาศเกิดจากปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ลม อุณหภูมิ และความชื้น [2, 3]

มลพิษในภาคเหนือของประเทศไทย เกิดจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ลม อุณหภูมิ และความชื้น [4] ภูมิอากาศของภาคเหนือ ประเทศไทย มีลักษณะเฉพาะ คือลมมรสุมช่วงระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงปลายเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปสู่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยสภาพอากาศที่ร้อนที่สุดจะพบในช่วงเดือนมีนาคม – เมษายนของทุกปี ในช่วงเปลี่ยนผ่านของสภาพอากาศนี้ ส่งผลให้ลมสามารถพัดพามลพิษทางอากาศมาสู่ภาคเหนือของประเทศไทยได้ [4]

งานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของภาคเหนือ เปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่เกิดขึ้นในแต่ละฤดูกาล กับค่าความไม่เสถียรภาพของอากาศ จากข้อมูลที่ได้จากวิทยุหยั่งอากาศ และจำนวนจุดความร้อนที่สอดคล้องกับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในช่วง ปี พ.ศ. 2564-2567 พื้นที่ภาคเหนือ

อุปกรณ์และวิธีการ

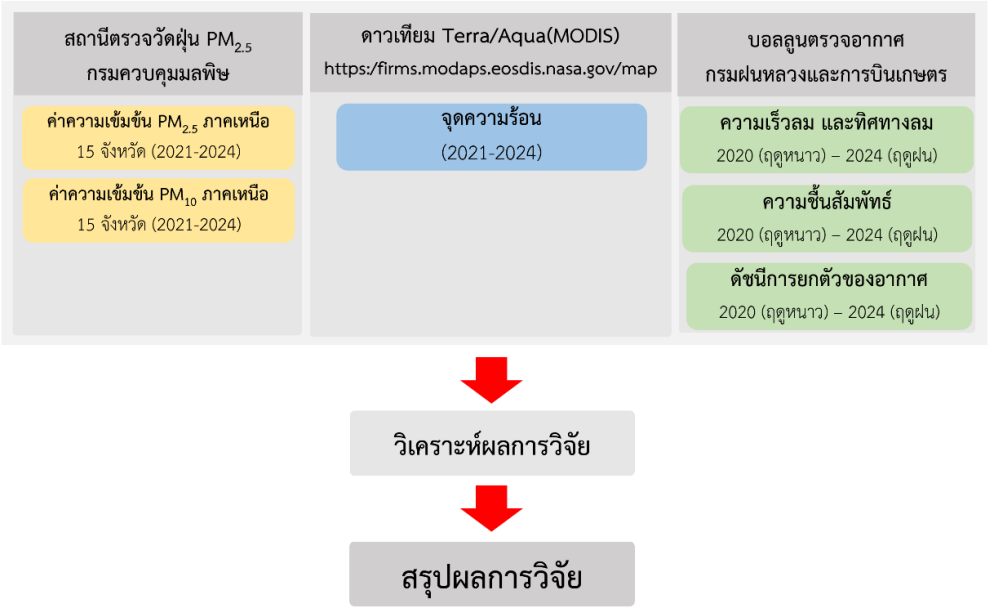
งานวิจัยนี้ศึกษาข้อมูลจากสถานีตรวจวัดค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่ภาคเหนือ 15 จังหวัด ในปี พ.ศ. 2564-2567 เพื่อหาค่าเฉลี่ยและแนวโน้มของความเข้มข้นที่แสดงช่วงที่เริ่มมีผลต่อสุขภาพ และศึกษาจำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้น ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Aqua และ Terra (MODIS) แสดงดังรูปที่ 1 จากนั้นศึกษาข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าดัชนีความไม่เสถียรภาพของอากาศจากวิทยุหยั่งอากาศ ช่วงปลายปี พ.ศ. 2563-2567 ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังรูปที่ 1 และรายละเอียดข้อมูล และขั้นตอนการทำวิจัย แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 จุดความร้อนจาก ดาวเทียม Aqua และ Terra (MODIS) ความละเอียด 1 กิโลเมตร
ข้อมูลจาก https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map



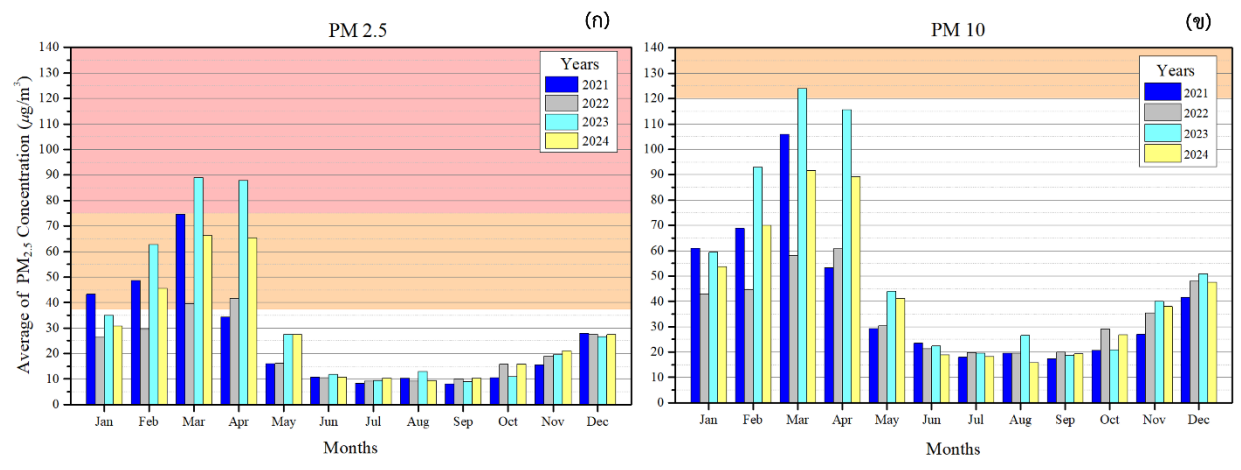
รูปที่ 2 บอลลูนตรวจอากาศ และวิทยุหยั่งอากาศ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย และข้อมูลต่าง ๆ สำหรับประกอบการทำวิจัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

รูปที่ 4 (ก) และ (ข) แสดงค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่ภาคเหนือ รวม 15 จังหวัด พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นในพื้นที่ภาคเหนือ พบฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เข้มข้นมากที่สุด ในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ของทุกๆ ปี และพบค่าความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคมและเมษายน ช่วงปี พ.ศ. 2564-2567 และพบค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ มีความเข้มข้นสูงสุด ในปี พ.ศ. 2566 (มีนาคม) มีค่าเท่ากับ 88.9 $\mu g/m^3$ และรองลงมาในเดือนเมษายนของปี พ.ศ. 2566 ด้วย ยิ่งไปกว่านั้นค่าฝุ่น PM_{10} มีความเข้มข้นเท่ากับ 123.9 $\mu g/m^3$ (เดือนมีนาคม 2566) และ 115.6 $\mu g/m^3$ (เดือนเมษายน 2566) ซึ่งช่วงเดือนดังกล่าวเป็นช่วงที่ประเทศไทยอยู่ในช่วงฤดูร้อน ประกอบกับเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูกาล ส่งผลให้พื้นที่ภาคเหนือ ภาคอีสาน เกิดหย่อมความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นเป็นช่วงที่มีการเตรียมแปลงเพื่อเพาะปลูกประจำฤดูกาลด้วย [4]



รูปที่ 4 ความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็ก (ก) ฝุ่น $PM_{2.5}$ และ (ข) ฝุ่น PM_{10} บริเวณพื้นที่ภาคเหนือ ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564-2567

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ปี พ.ศ. 2563 (เดือนตุลาคม) – 2567 (เดือนกันยายน) พบว่า ในช่วงฤดูหนาว (กลางเดือนตุลาคม - กลางเดือนกุมภาพันธ์) ในพื้นที่ภาคเหนือ ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มสูงขึ้น ในช่วงเดือนธันวาคมและมกราคม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.5-35.0 $\mu g/m^3$ (อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง) และเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 62.7 $\mu g/m^3$ ยิ่งไปกว่านั้น มีค่าสูงสุดเท่ากับ 95.9 $\mu g/m^3$ ซึ่งอยู่ใน

เกณฑ์มีผลกระทบต่อสุขภาพ และยังสอดคล้องกับค่าสูงสุดของฝุ่น PM_{10} มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 141.5 $\mu g/m^3$ (เกณฑ์เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ) ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่ภาคเหนือ มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม และรองลงมา คือ เดือนเมษายน มีค่าเฉลี่ยของฝุ่น $PM_{2.5}$ เท่ากับ 88.9 $\mu g/m^3$ และ 87.8 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ (แสดงดังตารางที่ 1) และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 169.7 $\mu g/m^3$ และ 171.3 $\mu g/m^3$ อีกด้วย และความเข้มข้นของค่า PM_{10} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 218.4 $\mu g/m^3$ และ 230 $\mu g/m^3$ ในเดือนมีนาคม และเมษายน ตามลำดับ และหลังจากนั้น ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนพฤษภาคม เป็นต้นไป โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

รูปที่ 5 แสดงค่าจุดความร้อนจากข้อมูลดาวเทียม Terra และ Aqua บริเวณพื้นที่ภาคเหนือ เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์การเผาไหม้ของชีวมวล ใช้ข้อมูลตำแหน่งจุดความร้อนด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมเรดิโอมิเตอร์แบบ Near Real Time (NRT) เพื่อประเมินไฟไหม้ในพื้นที่ พบว่า จำนวนจุดความร้อนในพื้นที่ 15 จังหวัด ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2564-2567 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนเมษายน ของทุกปี และในช่วงเดือนมิถุนายน เป็นต้นไป จำนวนจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าน้อยมาก และบางปีไม่พบจุดความร้อนในพื้นที่ภาคเหนือ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทยที่มีการเพาะปลูกในพื้นที่ และยังมีความสอดคล้องกับข้อมูลฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในรูปที่ 4 และ ตารางที่ 1 ด้วย

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ของความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ปี พ.ศ 2565 - 2566

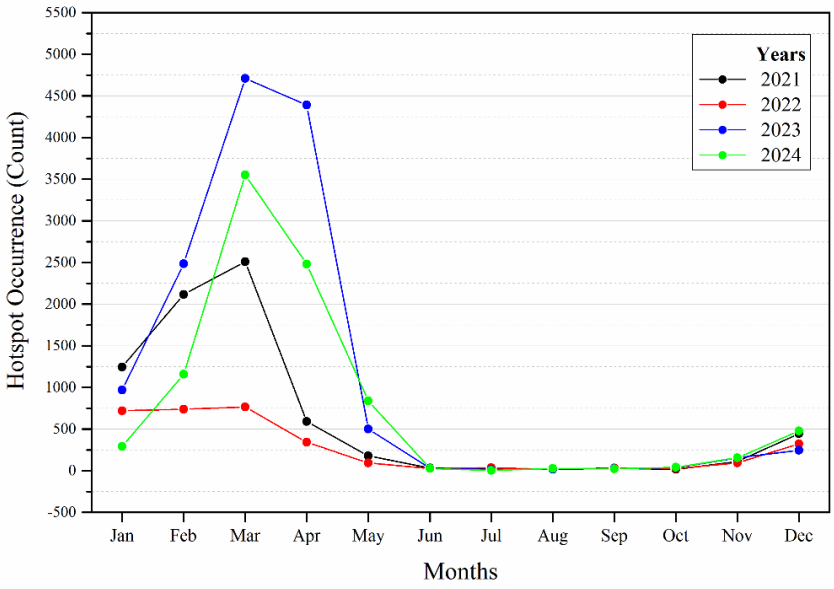
Concentration ($\mu g/m^3$) 2022 - 2023

Month	$PM_{2.5}$				PM_{10}			
	Average	Median	Min	Max	Average	Median	Min	Max
October	15.9	16.2	9.9	25.7	29.1	29.4	17.8	42.7
November	19.0	19.9	10.4	26.5	35.5	35.7	19.2	50.1
December	27.5	28.0	15.1	37.0	48.0	42.5	24.4	72.2
January	35.0	35.1	22.5	44.7	59.4	53.9	35.8	96.1
February	62.7	58.3	44.0	95.9	93.0	89.4	55.5	141.5
March	88.9	80.2	58.1	169.7	123.9	112.0	84.9	218.4
April	87.8	77.1	52.3	171.3	115.6	103.9	75.1	230.0
May	27.6	26.5	17.8	39.8	43.9	42.7	26.3	56.6
June	11.8	11.2	7.5	16.9	22.4	21.9	13.3	32.9
July	9.5	9.9	4.3	13.5	19.5	20.7	8.3	28.3
August	13.0	13.9	7.2	16.5	26.6	29.3	13.9	34.1
September	9.0	8.6	5.4	13.2	18.6	17.6	11.0	28.9

ค่าความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 25.1 $\mu g/m^3 \leq PM_{2.5} \leq 37.5$ $\mu g/m^3$ และ 81 $\mu g/m^3 \leq PM_{10} \leq 120$ $\mu g/m^3$ (เกณฑ์ปานกลาง)

ค่าความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 37.6 $\mu g/m^3 \leq PM_{25} \leq 75.0$ $\mu g/m^3$ และ 121 $\mu g/m^3 \leq PM_{10} \leq 180$ $\mu g/m^3$ (เกณฑ์เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ)

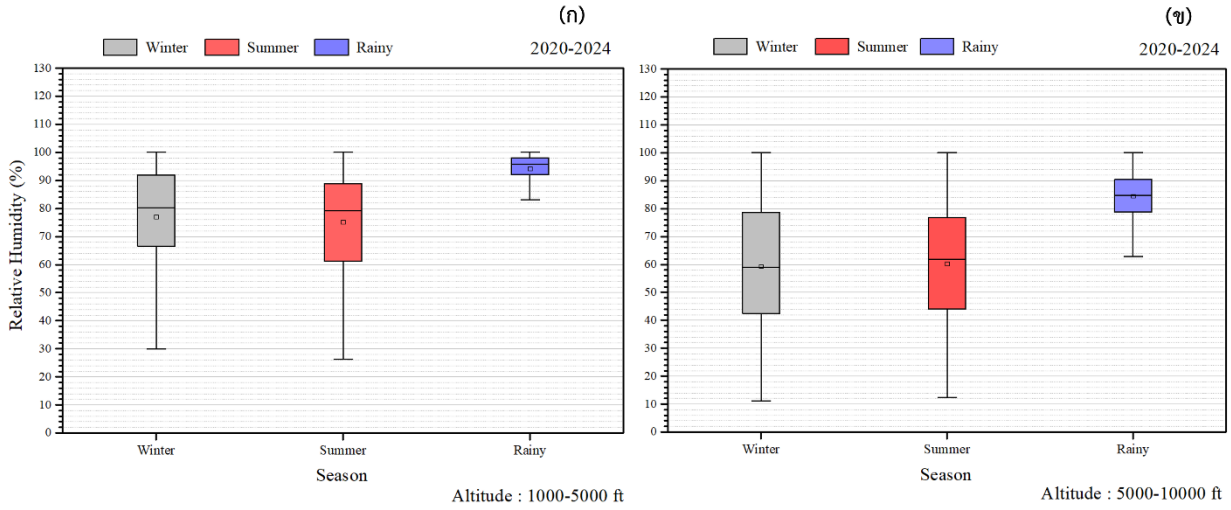
ค่าความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง $PM_{2.5} \geq 75.1$ $\mu g/m^3$ ขึ้นไป และ $PM_{10} \geq 181$ $\mu g/m^3$ ขึ้นไป (เกณฑ์มีผลกระทบต่อสุขภาพ)



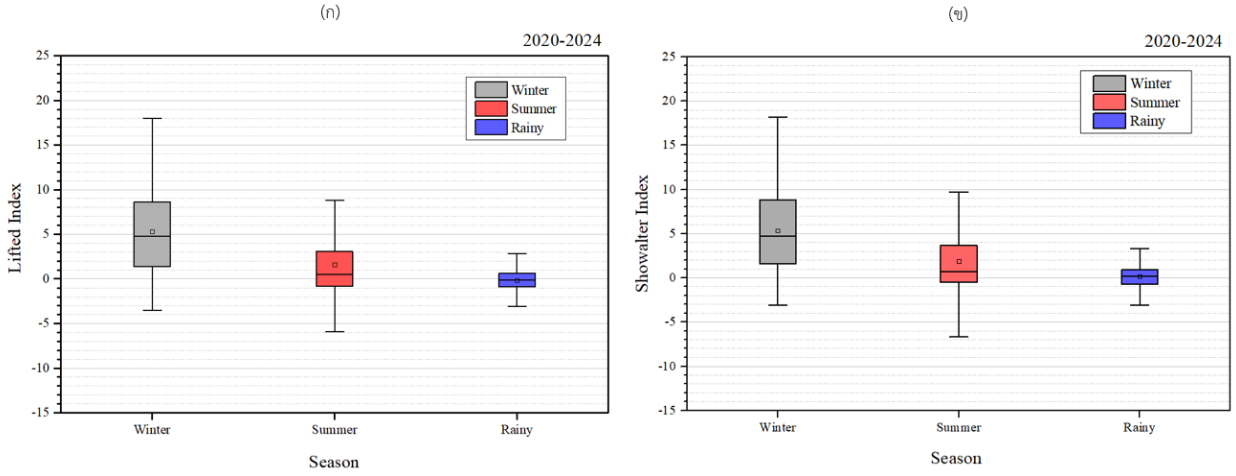
รูปที่ 5 จุดความร้อนรวมในพื้นที่ภาคเหนือ ของประเทศไทย ปี พ.ศ 2564 - 2567

รูปที่ 6 แสดงค่าความชื้นสัมพันธ์ ที่ระดับความสูง 1,000-5,000 ฟุต และ 5,000-10,000 ฟุต จากข้อมูลวิทยุหยั่งอากาศของสถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยระดับ 1,000-5,000 ฟุต มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าระดับ 5,000-10,000 ฟุต ในทุก ๆ ฤดูกาล และพบว่าในฤดูฝน (กลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงที่สุด ร้อยละ 94 (1,000-5,000 ฟุต) และ ร้อยละ 84 (5,000-10,000 ฟุต)

ค่าดัชนีความไม่เสถียรภาพของอากาศ LI และ SI แสดงดังรูปที่ 7 (ก) และ 7 (ข) มีแนวโน้มลดลงจากฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ตามลำดับ ในฤดูหนาวค่า LI มีค่า -6 ถึง +15 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ +2.5 ขณะที่ SI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -3 ถึง +12 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ +2.9 ฤดูร้อนค่า LI มีค่า -3 ถึง +18.1 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ +5.5 ค่า SI -3.5 ถึง +18.2 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ +5.4 ในฤดูฝนค่า LI มีค่า -6 ถึง +9 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ +1.7 ค่า SI -7 ถึง +10 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ +1.9 จะเห็นได้ว่าในฤดูฝนจะมีค่า LI และ SI เฉลี่ยน้อยที่สุดเนื่องจากค่าอุณหภูมิของมวลอากาศที่วัดได้จากวิทยุหยั่งอากาศที่ถูกปล่อยนั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำ อีกทั้งอุณหภูมิน้ำค้างของช่วงระดับ 1,000-5,000 ฟุต ไม่ห่างกันมาก ส่งผลให้ค่า LI และ SI มีค่าเฉลี่ยที่ต่ำ หรือติดลบ ดังรูปที่ 7 (ก) และ (ข)เนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตกมากในฤดูฝน [5] ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4 (ก) และ 4 (ข) ที่มีค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ต่ำในช่วงฤดูฝน

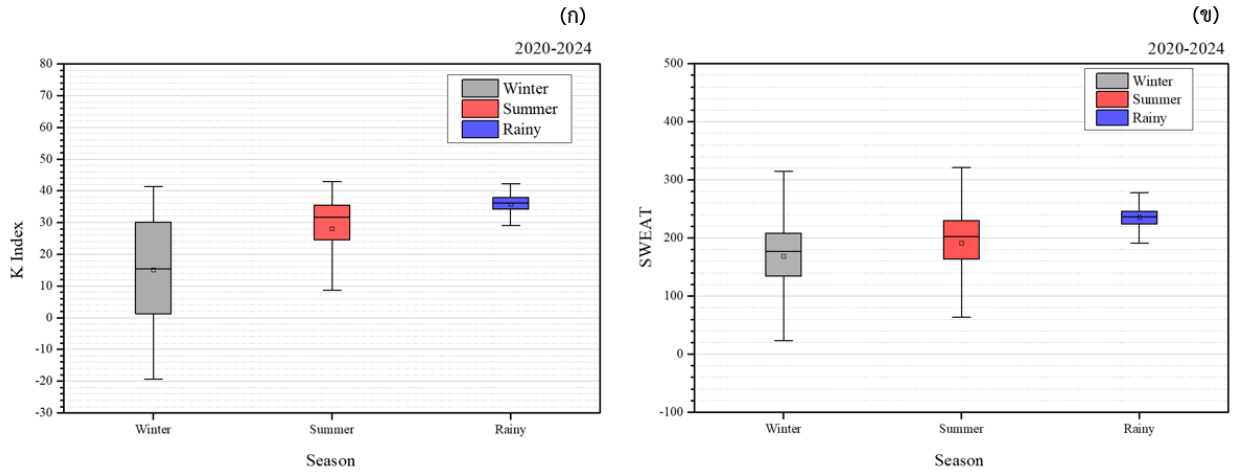


รูปที่ 6 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ระดับความสูง 1,000 - 5,000 ฟุต และ 5,000 - 10,000 ฟุต ข้อมูลจากตรวจอากาศชั้นบน สถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ปลายปี พ.ศ. 2563 - 2567



รูปที่ 7 ค่าดัชนี LI และ SI จากผลตรวจอากาศชั้นบน สถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ปลายปี พ.ศ. 2563 - 2567

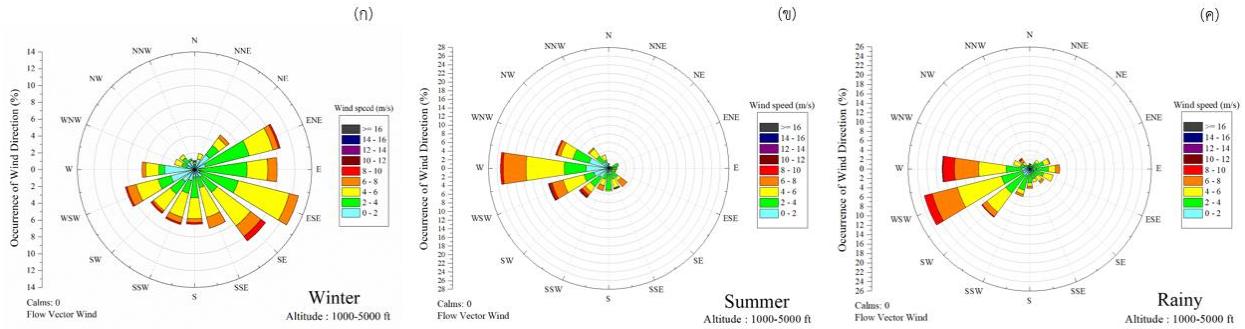
รูปที่ 8 และ รูปที่ 9 แสดงค่า K Index และ SWEAT ตามลำดับ ข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบน จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2563 (กลางเดือนตุลาคม) – 2567 (กลางเดือนตุลาคม) พบว่า มีค่า K Index และ SWEAT มีค่าสอดคล้องกัน และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบระหว่างฤดูกาล โดยฤดูหนาวมีค่าน้อยที่สุด ฤดูร้อน และฤดูฝน ตามลำดับ โดยในช่วงฤดูหนาวมีค่า K Index เฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่า -19 ถึง +42 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ +14 ฤดูร้อนมีค่า K-Index อยู่ในช่วง +8 ถึง +42 และฤดูฝน ค่า K Index มีค่าเสถียรสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ +35 แสดงดังรูปที่ 8 ในขณะที่ ค่า SWEAT มีค่าเฉลี่ยในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 170 190 240 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกัน โดยปกติในช่วงฤดูฝนจะมีแนวโน้มมากกว่าฤดูหนาวและฤดูร้อน [5, 6]



รูปที่ 8 (ก) ค่าดัชนี KI และ (ข) SWEAT จากผลตรวจอากาศชั้นบน สถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ปลายปี พ.ศ. 2563-2567

ทิศทางลม และความเร็วลม ที่ระดับความสูงเฉลี่ย 1,000 ฟุต – 5,000 ฟุต จากข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบนสถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงฤดูหนาว เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 – ปลายฤดูร้อน เดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2563-2567 จำนวน 4 รอบฤดูกาล ช่วงเกิดฝุ่นละอองมีความเข้มข้นปานกลาง พบว่าในช่วงฤดูหนาว มีทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ เป็นส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 56 และมีลมทิศตะวันตกและทิศใต้คิดเป็นร้อยละ 44 แสดงดังรูปที่ 9 (ก) ซึ่งเป็นไปตามช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในทุก ๆ ปี กับมีความเร็วลมที่ระดับ 2 - 8 นอต เป็นส่วนใหญ่ ช่วงฤดูร้อน ปี พ.ศ. 2563 - 2567 ทิศทางลมเฉลี่ยเปลี่ยนเป็นทิศตะวันตกเป็นส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 80 ของทั้งฤดูกาล แสดงดังรูป 9 (ข)

และ รูป 9 (ค) พบว่า ทิศทางลมอยู่ในช่วง 240 - 280 องศา เป็นลมฝ่ายตะวันตกเป็นส่วนมาก มีความคล้ายกับฤดูร้อน คิดเป็นร้อยละ 82 มีความเร็วลมอยู่ในเกณฑ์ลมอ่อน-ลมโชย ซึ่งการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มักเกิดขึ้นในช่วงที่มีลมสงบ



รูปที่ 10 ทิศทางลม และความเร็วลม ที่ระดับความสูง 1,000 - 5,000 ฟุต ข้อมูลจากผลตรวจอากาศชั้นบน สถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ปลายปี พ.ศ. 2563 - 2567

สรุป

1. ฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในภาคเหนือของประเทศไทย มีจำนวนมากในช่วงฤดูร้อนของทุกปี และเข้มข้นมากที่สุดในเดือนมีนาคม เนื่องจากการเผาชีวมวลในเดือนมีนาคมและเมษายน
2. จุดความร้อนมีค่ามากที่สุดในเดือนมีนาคม และเมษายน (จำนวน 4,710 จุด และ 4,391 จุด ปี พ.ศ. 2566) และสอดคล้องกับช่วงฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด
3. ค่าดัชนีความไม่เสถียรภาพของอากาศ ปี พ.ศ. 2563-2567 ในฤดูฝนค่า LI SI มีค่าต่ำ และ ค่า KI SWEAT มีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ ฤดูร้อนและฤดูหนาว ซึ่งสอดคล้องกับฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เบาบางที่สุด ในภาคเหนือ

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตรสำหรับข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} รายเดือน จากกรมควบคุมมลพิษ ขอบพระคุณท่านอธิบดีกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยเรื่องฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน และขอขอบคุณผู้อำนวยการกองตรวจและพัฒนาการตรวจสภาพอากาศฝนหลวงที่สนับสนุนข้อมูลวิจัย และผู้บริหารทุกท่านที่คอยผลักดันและให้คำปรึกษาตลอดจนแนวทางในการวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงภาคใต้ สำหรับการรวบรวมข้อมูลในวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Meysam, T.N., Kamran, J.G., Hamidreza, T., & Zeynab, D., (2023). The relationship between atmospheric temperature inversion and urban air pollution characteristics: a case study of Tehran, Iran. Springer Link, 1, 17.

[2] Oanh, N.T.K., & Leelasakultum, K., (2011). Analysis of meteorology and emission in haze episode prevalence over mountain-bounded region for early warning. Science *of the* Total Environment, 409, 2261-2271.

[3] Amnuaylojaroen, T., Kreasuwun, J., Towta, S., & Siriwitayakorn, K., (2010). Dispersion of particulate matter (PM_{10}) from forest fires in Chiang Mai province, Thailand. *Chiang Mai* Journal of *Science*, 37, 39-47.

[4] Cheng, I., Zhang, L., Blanchard, P., Dalziel, J., & Tordon, R., (2013). Concentration-weighted trajectory approach to identifying potential sources of speciated atmospheric mercury at an urban coastal site in Nova Scotia, Canada. Atmospheric Chemistry and Physics, 13, 6031-604.

[5] Johnson, R.H., Ciesielski, P.E., & Hart, K.A., (1996). Tropical inversions near the 0 °C level. Journal of the Atmospheric Sciences, 53, 1838–1855.

[6] Bourne, S.M., Bhatt, U.S., Zhang, J., & Thoman, R., (2010). Surface-based temperature inversions in Alaska from a climate perspective. Atmospheric Research, 95, 353–366.

20R1-02

การแยกแบล็คแมสเบื้องต้นโดยโฟลทโฟลวเทชัน
Partial Separation of Black Mass by Froth Flotation

กันต์กมล วรรณะ[1] นุรักษ์ กฤษฎานุรักษ์[2*]
Kankamon Wanna[1] Nurak Grisdanurak[2*]
[1*]นักศึกษาปริญญาโท; [2]อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121
[*]E-mail : kankamon.wann@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าอัตราการไหลของอากาศ ปริมาณน้ำมันสนและปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมสำหรับแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าออกจากแบล็คแมสเบื้องต้นด้วยกระบวนการ Froth flotation เพื่อเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลต่อไป โดยเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศระหว่าง 0.16 - 1.6 m^3/h จากการวิเคราะห์การลอยตัวของเศษแผ่นพลาสติก พบว่า ที่อัตราการไหล 0.16 m^3/h มีการแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าด้วยกระบวนการ Froth flotation อยู่ที่ 45.69% ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด จากนั้นทำการการศึกษาปริมาณน้ำมันสนและปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าอัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 0.16 m^3/h ปริมาณน้ำมันสนอยู่ในช่วง 1-100 ml. และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์อยู่ในช่วง 225-1500 ppm. โดยวิเคราะห์การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า พบว่าเบื้องต้นปริมาณน้ำมันสนในช่วง 50-100 ml. ร่วมกับปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ในช่วง 862.5-1500 ppm. มีเปอร์เซ็นต์การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าอยู่ที่ 68.73-78.51% ซึ่งเป็นช่วงที่ดีที่สุด โดยค่าที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแยกเบื้องต้นในการรีไซเคิลแบล็คแมส และส่งเสริมการกู้คืนโลหะมีค่าในขั้นตอนต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : กระบวนการโฟลเทชัน; แบล็คแมส

Abstract

This research aims to determine the optimal air flow rate, turpentine oil dosage, and sodium sulfide concentration for the preliminary separation of non-valuable fragments from black mass using the Froth flotation process, as a preparatory step in the recycling pathway. The study initially investigated the effect of air flow rates ranging from 0.16 to 1.6 m³/h on the flotation behavior of plastic-based fragments. The results indicated that an air flow rate of 0.16 m³/h achieved the highest separation efficiency of 45.69%. Based on this optimal rate, subsequent experiments were conducted to determine suitable turpentine oil dosages (1–100 ml) and sodium sulfide concentrations (225–1500 ppm). It was found that turpentine oil in the range of 50–100 ml, combined with sodium sulfide concentrations between 862.5–1500 ppm, resulted in the highest separation efficiencies, ranging from 68.73% to 78.51%. These findings suggest that both the collector and modifier agents, alongside controlled aeration, significantly influence the Froth flotation performance. The optimal conditions identified in this study can serve as a foundation for improving the efficiency of initial separation processes in black mass recycling. This contributes not only to enhanced recovery of valuable metals in subsequent stages but also to the development of environmentally sustainable and economically viable recycling technologies.

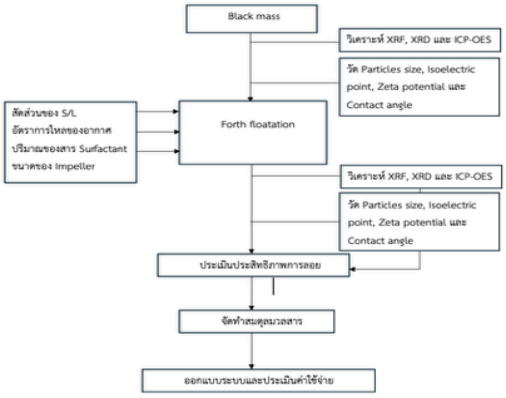
Keywords : Flotation process; Black mass

บทนำ

ปัจจุบันปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อาทิ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์พกพา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น ๆ และการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น [1] ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีแนวโน้มสูงที่ 55% ในปี 2583 เทียบกับปี 2558 [2] ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนเข้าสู่ระบบการจัดการของเสียเพิ่มสูงขึ้นด้วย [1] การจัดการแบตเตอรี่ลิเธียมด้วยวิธีการรีไซเคิลได้ [3] โดยกระบวนการ Mechanical pre-treatment ซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนเป็น Stabilization, Size reduction, Physical separation และ Black mass purification [4] จะทำให้ได้ Black mass โดยในตัวของมันจะประกอบด้วย ขั้วแคโทด ขั้วแอโนด สารยึดเกาะ อิเล็กโทรไลต์ สารเติมแต่งในแคโทดและแอโนด เกลือ แผ่นคั่นกลาง และ เคส ขณะที่โลหะมีค่า (Precious metals) ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ขั้นแคโทด เพื่อให้การจัดการ Black mass มีประสิทธิภาพมากขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของโลหะใน Black mass หรืออีกนัยหนึ่งคือการแยกขั้วแคโทดออกจากองค์ประกอบรวมให้มากสุด จึงมีผลดีต่อการลดภาระการทำงานในการจัดทำ Hydrometallurgy หรือการ Purification สำหรับงานวิจัยนี้จะให้กระบวนการ Physical separation (Forth flotation) เพื่อแยกสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออกจาก Black mass ก่อนจะนำไปแยกโลหะมีค่าออกต่อไป โดยมีตัวแปรศึกษาคือ สัดส่วนของของแข็งต่อของเหลว อัตราการไหลของอากาศ ปริมาณของสาร Surfactant

อุปกรณ์และวิธีการ

งานนี้มีวิธีการวิจัยและวิธีการทดลอง ดังแสดงดัง**รูปที่ 1**



รูปที่ 1 วิธีการวิจัยและวิธีการทดลอง

ทดลองหาอัตราการไหลของอากาศโดยเตรียมแบล็คแมส**ดังรูปที่ 2a** ปริมาณ 15 กรัม เติมน้ำปริมาณ 0.5 ลิตร ผสมกันลงในถังเซลขนาด 0.5 ลิตร ของเครื่อง Froth flotation **ดังรูปที่ 2b**



a)



b)

รูปที่ 2 a) Black mass (NMC) b) Forth flotation reactor.

จากนั้นทำการป้อนอากาศที่อัตราการไหลแตกต่างกัน 5 ค่า ได้แก่ 0.16, 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 m^3/h ทำการตักฟองทุกๆ 6 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตะกอนที่ได้จากการตักฟองและก้นถังเซลไปกรองสุญญากาศและเข้าเตาอบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์การลอยตัวของเศษแผ่นพลาสติก (เศษสีขาวที่ปรากฏใน**รูปที่ 2a**) เก็บข้อมูลแล้วทำสมดุลมวลสารจากสมการที่ (1)

$$\Sigma m_3 f_3 = m_1 f_1 + m_2 f_2 \quad (1)$$

เมื่อ

m_3 คือ ปริมาณของแบล็คแมส หน่วยเป็น กรัม

f_3 คือ สัดส่วนของแบล็คแมส หน่วยเป็น กรัม

m_1 คือ ปริมาณของตะกอนที่ได้จากก้นถัง หน่วยเป็น กรัม

f_1 คือ สัดส่วนของตะกอนที่ได้จากก้นถัง หน่วยเป็น กรัม

m_2 คือ ปริมาณของตะกอนที่ได้จากการตักฟอง หน่วยเป็น กรัม

f_2 คือ สัดส่วนของตะกอนที่ได้จากการตักฟอง หน่วยเป็น กรัม

ทำการทดลองหาปริมาณน้ำมันสนและปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมโดยเตรียมแบล็คแมส**ดังรูปที่ 2a** ปริมาณ 15 กรัม เติมน้ำปริมาณ 0.5 ลิตร ผสมกันลงในถังเซลขนาด 0.5 ลิตร ของเครื่อง Froth flotation **ดังรูปที่ 2b** จากนั้นป้อนอากาศคงที่ที่อัตราการไหล 0.16 m^3/h เติมน้ำมันสนปริมาณ 1 50 และ100 ml. ร่วมกับโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณ 225 862.5 และ1500 ppm. ทำการตักฟองทุก 10 นาที จนครบเวลา 1 ชั่วโมง นำตะกอนที่ได้จากการตักฟองและก้นถังเซลไปกรองสุญญากาศและเข้าเตาอบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์การลอยตัวของเศษแผ่นพลาสติก (เศษสีขาวที่ปรากฏใน**รูปที่ 2a**) เก็บข้อมูลแล้วทำสมดุลมวลสารจากสมการที่ (1)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม

หลังจากอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบความแตกต่างของตะกอน**ดังรูปที่ 3**



a)



b)



c)



d)



e)



f)


g)


h)


i)


j)

รูปที่ 3 a), c), e), g) และ i) ตะกอนจากการตักฟองที่อัตราการไหล 0.16, 0.4, 0.8 1.2 และ 1.6 ตามลำดับ
b), d), f), h) และ j) ตะกอนจากก้นถังเซลที่อัตราการไหล 0.16, 0.4, 0.8 1.2 และ 1.6 ตามลำดับ

นำตะกอนที่ได้ทั้ง 2 ส่วน มาทำสมดุลมวลสารเพื่อหาสัดส่วนการแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า ได้ผล % การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าดัง**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาอัตราการไหลอากาศต่อการแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า

อัตราการไหลของอากาศ (m^3/h)	% การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า
0.16	45.69
0.4	37.11
0.8	28.27
1.2	31.29
1.6	31.59

พบว่าที่อัตราการไหล 0.16 m^3/h มี % การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า 45.69% ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

ผลการทดลองหาปริมาณน้ำมันสนและปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสม

จากการทดลองและอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบ % การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าดัง**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันสนและโซเดียมซัลไฟด์ต่อการแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า

ปริมาณน้ำมันสน (ml.)	ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ (ppm.)	% การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่า
1	862.5	49.48
50	225	60.27
50	1500	78.51
100	862.5	68.73

พบว่าปริมาณน้ำมันสนและโซเดียมซัลไฟด์เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-100 ml. และ 862.5-1500 ppm ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าอยู่ที่ 68.73-78.51% ซึ่งเป็นช่วงที่ดีที่สุด

สรุป

จากผลการทดลองพบว่าการแยกแบล็คแมสเบื้องต้นด้วยกระบวนการโฟลทโฟลวเทชั่น มีอัตราการไหลของอากาศเหมาะสมอยู่ที่ 0.16 m^3/h และปริมาณน้ำมันสนและโซเดียมซัลไฟด์เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-100 ml. และ 862.5-1500 ppm ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การแยกเศษปราศจากโลหะมีค่าอยู่ที่ 68.73-78.51% ซึ่งเป็นช่วงที่ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนในด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] จักรพันธ์ พงษาชัย. (2024). มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ionBattery). ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะนิติศาสตร์.

[2] Thaipublica. (2021). Krungthai compass ชี้ธุรกิจแบตเตอร์รี Lithium-ion โตแรง รับกระแสกรีนและ EV. https://thaipublica.org/2021/05/krungthai-compass28/

[3] กรุงเทพธุรกิจ. (2022). ถึงเวลาแล้วหรือยังที่ต้องเริ่มรีไซเคิลแบตเตอร์รีลิเธียมไอออน. https://www.bangkokbiznews.com/pr-news/biz2u/997706

[4] ณัฐนัย คุณานุสนธิ์. (2024). ความก้าวหน้าด้านการจัดการแบตเตอรี่หลังสิ้นอายุขัย. https://ieeepes-thailand.org/files/Battery%20end-of-life-handing/ความก้าวหน้าด้านการจัดการแบตเตอรี่หลังส.pdf

20R1-03

การประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการ เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Air Quality Assessment During Construction of Building In a Project To Required Environmental Checklist With Environmental Impact Mitigation and Preventive Measures and Environmental Impact Monitoring Measures

พีระ คล้ายริน[1]*
Peera Khlairin[1]*
[1*]นักวิจัย ศูนย์วิจัยโลจิสติกส์และการจัดการ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
*โทรศัพท์ : 08 0566 2261, โทรสาร : 038 390005, E-mail : p_khlairin@hotmail.com

บทคัดย่อ

คุณภาพอากาศในบรรยากาศมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของประชาชน มีการจัดทำและประกาศใช้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 ต่อมามีการปรับปรุงกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ปัจจุบันพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

คุณภาพอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนสารมลพิษในอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อม ภาวะมลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาวะการบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน (Contaminant) เช่น ฝุ่นผง (Dust) ไอควัน (Flumes) ก๊าซต่าง ๆ (Gases) ละอองไอ (Mist) กลิ่น (Odors) ควัน (Smoke) ไอ (Vapor) ฯลฯ อยู่ในลักษณะปริมาณและระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือสัตว์ หรือทำลายทรัพย์สินของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ (พัฒนา มูลพฤกษ์)

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหามลพิษทางอากาศในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ของประเทศไทย จังหวัดระยองประสบปัญหาคุณภาพอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ให้ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการแห่งหนึ่ง ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศ จากการประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศด้านลบในระดับต่ำ ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศของโครงการตามหลักวิชาการและเป็นไปได้ เพื่อควบคุมป้องกันการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม หรือเกิดผลกระทบน้อยที่สุด

คำสำคัญ : การประเมินคุณภาพอากาศ; ระยะก่อสร้าง; มาตรการป้องกัน; มาตรการติดตาม; ผลกระทบ; สิ่งแวดล้อม

Abstract

Air quality in the atmosphere is crucial for human livelihood. The National Environmental Quality Promotion and Preservation Act B.E. 2518 was enacted to address this issue, and has since been revised to the current version: the National Environmental Quality Promotion and Preservation Act B.E. 2535. Air quality is a key factor affecting public health, as air pollutants can have both direct and indirect impacts on human health and the environment. Air pollution refers to the condition of the outdoor atmosphere that contains contaminants such as dust, fumes, gases, mist, odors, smoke, vapor, and others, in amounts and durations that may pose hazards to human or animal health, damage property, or harm the environment (Phattana Moolapruek).

Currently, Thailand is facing air pollution problems in several areas, especially in major cities. Rayong Province, in particular, has been experiencing air quality issues, with particulate matter not exceeding 2.5 microns ($PM_{2.5}$) exceeding the national standard, which stipulates that the 24-hour average should not exceed 37.5 micrograms per cubic meter.

This research evaluates the air quality during the construction phase of a building project located in Nikhom Phatthana Subdistrict, Nikhom Phatthana District, Rayong Province. The objective is to establish preventive and mitigation measures as well as monitoring protocols to address the environmental impact on air quality. The evaluation indicates that the air quality impacts during construction are low-level negative. Therefore, required environmental checklist with environmental impact mitigation and preventive measures and environmental impact monitoring measures based on scientific principles must be implemented to control and minimize environmental impacts.

Keywords : Air Quality Assessment; Construction Phase; Preventive Measures; Monitoring Measures; Environmental Impact

บทนำ

คุณภาพอากาศในบรรยากาศมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของประชาชน มีการจัดทำและประกาศใช้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 [1] ต่อมามีการปรับปรุงกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ปัจจุบันพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 [2] ให้ใช้บังคับเป็นต้นไป ซึ่งได้นิยาม คุณภาพสิ่งแวดล้อม หมายความว่า ดุลยภาพของธรรมชาติ อันได้แก่ สัตว์ พืช และทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ และสิ่งที่มนุษย์ได้ทำขึ้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อการดำรงชีพของประชาชนและความสมบูรณ์สืบไปของมนุษยชาติ และได้นิยาม มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม หมายความว่า ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ อากาศ เสียง และสภาวะอื่น ๆ ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำหนดเป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

คุณภาพอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนสารมลพิษในอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อม ภาวะมลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาวะการบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน (Contaminant) เช่น ฝุ่นผง (Dust) ไอควัน (Flumes) ก๊าซต่าง ๆ (Gases) ละอองไอ (Mist) กลิ่น (Odors) ควัน (Smoke) ไอ (Vapor) ฯลฯ อยู่ในลักษณะปริมาณและระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือสัตว์ หรือทำลายทรัพย์สินของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ (พัฒนา มูลพฤกษ์) [3]

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหามลพิษทางอากาศในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ของประเทศไทย จังหวัดระยองประสบปัญหาคุณภาพอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ให้ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [4] อาจทำให้ประชาชนในพื้นที่เริ่มมีปัญหาด้านสุขภาพ มีอาการไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตาอ่อนเพลีย และมีปัญหาระบบทางเดินหายใจ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการแห่งหนึ่ง ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบ

สิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศของโครงการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคาร ทิศทางของผลกระทบและระดับผลกระทบ และกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศของโครงการระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการ โดยในทางปฏิบัติสามารถติดตามตรวจสอบการดำเนินการได้อย่างเป็นรูปธรรมเพื่อควบคุมป้องกันการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม หรือเกิดผลกระทบน้อยที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการวิจัยจะพิจารณาบริเวณโครงการซึ่งเป็นการก่อสร้างอาคารประเภทโรงแรม จะใช้ปัจจัยสภาวะอากาศตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศบริเวณใกล้เคียงพื้นที่โครงการ ในปี พ.ศ. 2564 – 2566 ซึ่งจัดทำโดยกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ [5] พบว่าสถานีที่อยู่ใกล้โครงการมากที่สุด ได้แก่ สถานีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ณ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอยู่ห่างจากพื้นที่โครงการไปทางทิศใต้ ระยะห่างตามการกระจัดประมาณ 8.40 กิโลเมตร โดยมีดัชนีที่ตรวจวัด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกินม10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และจากการรวบรวมข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศของพื้นที่โครงการต่าง ๆ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตำบลนิคมพัฒนา อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง ในช่วงปี พ.ศ. 2564 – 2567 โดยมีดัชนีที่ตรวจวัด ได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

การตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ ได้กำหนดจุดติดตั้งเครื่องมือตรววัดบริเวณด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ก่อสร้างอาคารโครงการ ใกล้กับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 36 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีรถสัญจร จัดเป็นจัดที่จะมีมลพิษทางอากาศสูงที่สุด จึงเหมาะที่จะเป็นจุดติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด โดยมีดัชนีตรวจวัด ได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (THC) มีรายละเอียดดังนี้ ฝุ่นละอองรวม (TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ตรวจวัด 3 วันต่อเนื่อง ครอบคลุมวันธรรมดา 2 วัน วันหยุด 1 วัน โดยตรวจวัดตั้งแต่วันที่ 26-29 กันยายน พ.ศ. 2567 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (THC) ตรวจวัด 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง โดยตรวจวัดตั้งแต่ วันที่ 26-27 กันยายน พ.ศ. 2567 ใช้เครื่องมือตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์ตามกรมควบคุมมลพิษกำหนด โดยนำผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพอากาศอ้างอิงตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานคุณภาพอากาศอ้างอิงตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้แก่ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 21 (พ.ศ. 2544) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ชั่วโมง ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2522) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยทั่วไป และประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป

การประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคาร ผู้วิจัยเลือกค่าที่สูงที่สุดมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการต่อไป ในการประเมินจะนำข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ และข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ สถานีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2566 มาเป็นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการต่อไป การประเมินระยะก่อสร้างอาคารโครงการ จะใช้เวลาประมาณ 24 เดือน แบ่งเป็นกิจกรรมหลัก ๆ ประกอบด้วย งานสำรวจและเตรียมพื้นที่ งานเสาเข็มและโครงสร้างฐานราก งานโครงสร้างอาคารและสถาปัตยกรรม งานระบบสาธารณูปโภค และระบบสุขาภิบาล งานตกแต่งภายในและภายนอก และงานเก็บทำความสะอาด

ระยะก่อสร้าง ประมาณ 24 เดือน การประเมินคุณภาพอากาศในระยะก่อสร้างอาคารจะพิจารณาตามประเภทของกิจกรรมการก่อสร้างจากการทำงานของเครื่องจักรกล อุปกรณ์ และเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ดังนี้ (1) ช่วงเดือนที่ 1 งานสำรวจและเตรียมพื้นที่ (2) ช่วงเดือนที่ 2-5 งานเสาเข็มและโครงสร้างฐานราก (3) ช่วงเดือนที่ 6-13 งานโครงสร้างอาคารและสถาปัตยกรรม (4) ช่วงเดือน

ที่ 14-17 งานระบบสาธารณูปโภค และระบบสุขาภิบาล (5) ช่วงเดือนที่ 18-23 งานตกแต่งภายในและภายนอก และ (6) ช่วงเดือนที่ 24 งานเก็บทำความสะอาด

การประเมินผลกระทบฝุ่นละออง ผู้วิจัยได้ประเมินอัตราการระบายฝุ่นละออง จากกิจกรรมงานดิน การระบายฝุ่นละอองจากงานสำรวจและเตรียมพื้นที่ (ด้วยเครื่องจักร) และการระบายฝุ่นละอองจากเครื่องจักรที่ใช้งานในโครงการ ดังนี้ 1) การระบายฝุ่นละอองจากกิจกรรมงานดิน เช่น การทำฐานราก (เสาเข็ม) และงานถนน และการปรับพื้นที่หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ จะส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อผู้ที่อยู่อาศัยใกล้เคียงได้สูงสุด และเป็นกรณี Worst Case 2) การระบายฝุ่นละอองจากงานสำรวจและเตรียมพื้นที่ (ด้วยเครื่องจักร) อ้างอิงข้อมูลของ California Emission Estimator Model โดย South Coast Air Quality Management District , November 2017 [6] 3) การระบายฝุ่นละอองจากเครื่องจักรที่ใช้งานในโครงการ อ้างอิงข้อมูล Emission Factor ของ Final Programmatic Environmental Assessment Grant Programs Directorate Programs FEMA , 2010 [7]

การประเมินผลกระทบจากมลพิษอากาศ ผู้วิจัยได้ประเมินอัตราการระบายมลพิษอากาศ จากกิจกรรมดังนี้ 1) จากการระบายมลพิษจากรถยนต์ของพนักงาน/เจ้าหน้าที่ ประเมินตามจำนวนที่จอดรถของโครงการ จำนวน 5 คัน ซึ่งกำหนดให้รถยนต์ที่วิ่งเข้าออกพื้นที่ร้อยละ 80 เป็นเครื่องยนต์เบนซิน และร้อยละ 20 เป็นเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีระยะทางที่วิ่งเข้าออกโครงการประมาณ 0.08 กิโลเมตร ที่ระดับความเร็วของรถ 10-30 กิโลเมตร/ชั่วโมง และ 2) การระบายมลพิษอากาศอื่น ๆ จากเครื่องจักรที่ใช้ในงานก่อสร้าง ประเมินจากกิจกรรมต่าง ๆ ในระยะก่อสร้างที่ก่อให้เกิดไอเสียจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ของเครื่องจักรที่ใช้ ซึ่งมีการปล่อยมลพิษอากาศออกสู่บรรยากาศ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

การประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคาร มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้โดย Box Model (C = Q/dwM) โดยพิจารณาอัตราการระบายฝุ่นละออง (Q) จากกิจกรรมงานดิน จากงานสำรวจและเตรียมพื้นที่ (ด้วยเครื่องจักร) และจากเครื่องจักรที่ใช้งานในโครงการ พิจารณาความกว้างพื้นที่ (d) ในระยะตั้งฉากกับทิศทางลม มีความกว้าง 112 เมตร พิจารณาค่าความเร็วลม (w) ค่าความเร็วลมในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2536 – 2566) ของสถานีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง เลือกใช้ค่าความเร็วลมต่ำสุด เท่ากับ 0.49 นอต หรือ 0.25 เมตร/วินาที ในช่วงเดือนสิงหาคม [8] พิจารณาค่า Mixing Height (M) ซึ่งเป็นสภาพความคงตัวของอากาศเพื่อศึกษาความฟุ้งกระจายของสารมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิด เลือกใช้ค่า Planetary Boundary Layer Height ต่ำสุด ของอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร เท่ากับ 418.00 เมตร ช่วงเดือนตุลาคม

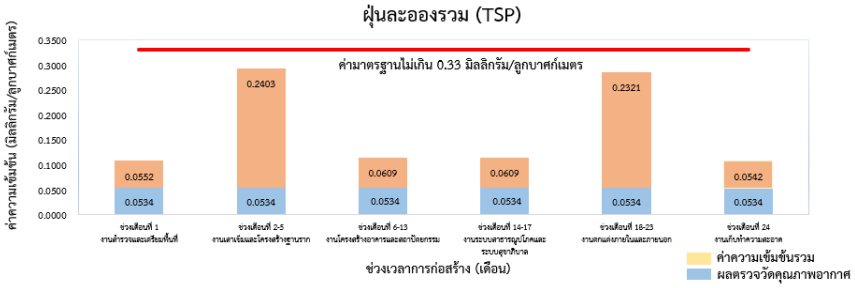
จากการประเมินผลกระทบคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารนำมาใช้เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศของโครงการต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

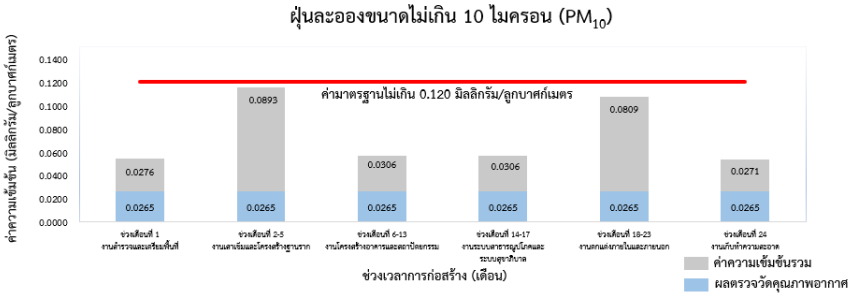
การประเมินอัตราการระบายมลพิษอากาศของฝุ่นละอองรวม (TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดจากกิจกรรมในระยะก่อสร้าง พบว่า อัตราการระบายมลพิษทางอากาศที่สูงสุด (Worst Case) คือ ช่วงเดือนที่ 2-5 งานเสาเข็มและโครงสร้างฐานราก โดยมีอัตราการระบายฝุ่นละอองรวม (TSP) 2,187.87 มิลลิกรัม/วินาที ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) 735.46 มิลลิกรัม/วินาที และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) 62.07 มิลลิกรัม/วินาที ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 286.88 มิลลิกรัม/วินาที ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 970.65 มิลลิกรัม/วินาที และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) 117.29 มิลลิกรัม/วินาที

ต่อมาจะประเมินค่าความเข้มข้นมลพิษอากาศของฝุ่นละอองรวม (TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดจากกิจกรรมในระยะก่อสร้าง จะประเมินจากสมการแบบจำลอง Box Model (C = Q/dwM) โดยการประเมินมลพิษทางอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ และข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ สถานีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2566 มาเป็นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการร่วมด้วย

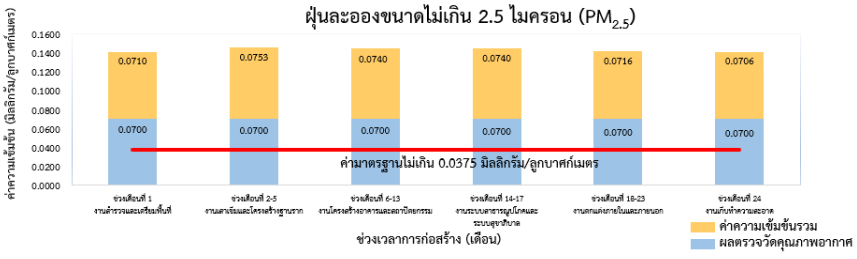
กราฟแท่งแสดงการประเมินเปรียบเทียบมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ได้แก่ (1) ช่วงเดือนที่ 1 งานสำรวจและเตรียมพื้นที่ (2) ช่วงเดือนที่ 2-5 งานเสาเข็มและโครงสร้างฐานราก (3) ช่วงเดือนที่ 6-13 งานโครงสร้างอาคารและสถาปัตยกรรม (4) ช่วงเดือนที่ 14-17 งานระบบสาธารณูปโภค และระบบสุขาภิบาล (5) ช่วงเดือนที่ 18-23 งานตกแต่งภายในและภายนอก และ (6) ช่วงเดือนที่ 24 งานเก็บทำความสะอาด การประเมินเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 1 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 2 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 3 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 4 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 5 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคารโครงการกับค่ามาตรฐานแยกแต่ละกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 6



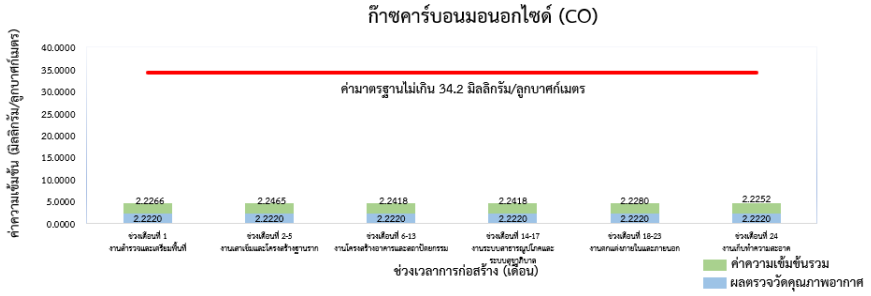
รูปที่ 1 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ฝุ่นละอองรวม (TSP) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคาร



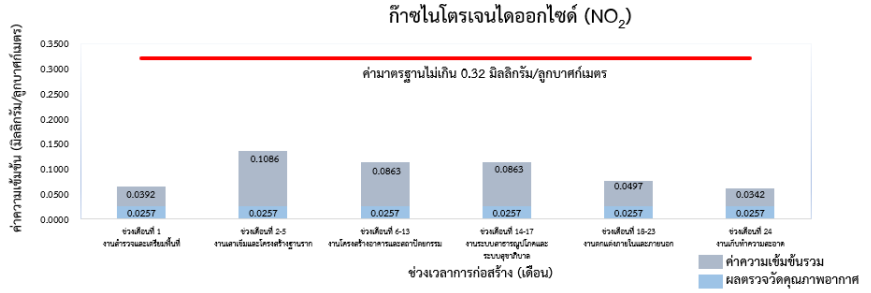
รูปที่ 2 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคาร



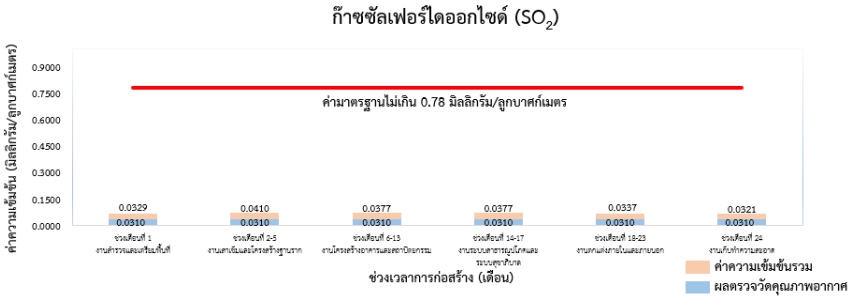
รูปที่ 3 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคาร



รูปที่ 4 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคาร



รูปที่ 5 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคาร



รูปที่ 6 การประเมินเปรียบเทียบปริมาณ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในปัจจุบันและระยะก่อสร้างอาคาร

การประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศด้านลบในระดับต่ำ ดังนั้น เพื่อป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศของโครงการ ดังนี้

มาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะก่อสร้างอาคารโครงการด้านคุณภาพอากาศ เช่น

1. ติดตั้งตาข่ายป้องกันฝุ่นละออง (Mesh Sheet) ชนิดป้องกันไฟลาม กั้นรอบตัวอาคาร โดยยึดติดกับนั่งร้านรอบอาคาร และนั่งร้านต้องมีความสูงเท่ากับความสูงของอาคารขณะก่อสร้างตลอดแนวอาคาร และต้องรักษาให้อยู่ในสภาพดีตลอดการก่อสร้างเพื่อป้องกันฝุ่นละออง และเศษวัสดุก่อสร้างร่วงหล่น

2. จำกัดความเร็วยานพาหนะที่ใช้ขนส่งดิน และวัสดุก่อสร้างให้มีความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่ง US.EPA 1987 ระบุว่า สามารถลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองได้ร้อยละ 60 เมื่อผ่านพื้นที่ชุมชนหนาแน่น [9]

3. ในการบรรทุกวัสดุก่อสร้างให้จัดการหาวัสดุปิดคลุมท้ายรถให้มิดชิด ทั้งด้านบน และด้านข้างทั้ง 3 ด้าน เพื่อป้องกันการปลิวฟุ้ง และร่วงหล่นของวัสดุ

4. บริเวณปากทางเข้า-ออก พื้นที่โครงการ ต้องปิดทึบตลอดเวลา โดยเปิดเฉพาะเมื่อมีรถเข้า-ออก และต้องรักษาพื้นผิวให้สะอาดปราศจากเศษหิน ดิน ทราย หรือฝุ่น ตกค้างจนการก่อสร้างแล้วเสร็จ

5. จัดให้มีการใช้เครื่องจักรกลที่มีประสิทธิภาพ และมีการตรวจสอบเครื่องจักรกลที่ใช้ในการก่อสร้างให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ เพื่อลดการเกิดเขม่า ควันดำ และเสียงดัง ตลอดจนเลือกใช้เครื่องจักรเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ชนิดที่มีเสียงเบา และวางผังเครื่องยนต์ที่มีเสียงดังให้ห่างไกลจากอาคารที่พักอาศัยที่อยู่ใกล้เคียง

6. ยานพาหนะที่ใช้ต้องไม่บรรทุกน้ำหนักเกินมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด

7. จัดให้มีปล่องยางทิ้งเศษวัสดุก่อสร้างจากที่สูง และลำเลียงทิ้งลงทุกวันในช่วงเวลา 15.00-16.00 น. ยกเว้นวันเสาร์-อาทิตย์ เนื่องจากเป็นวันพักผ่อนของชุมชน

8. จัดให้มีการขนย้ายวัสดุออกจากพื้นที่ก่อสร้างทุกวัน เพื่อป้องกันการสะสม โดยรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งต้องมีการปิดคลุมด้วยตาข่ายป้องกันฝุ่นละออง (Mesh Sheet) ให้มิดชิด เพื่อป้องกันเศษวัสดุตกหล่นบนถนนภายนอก หรือเกิดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายขณะรถวิ่ง

9. จัดให้มีห้องเก็บเสียง และฝุ่นละอองในการตัดเจียรกระเบื้องปูพื้น และวัสดุต่าง ๆ พร้อมทั้งจัดอุปกรณ์ป้องกันเสียง และฝุ่นละอองสำหรับคนงานก่อสร้าง

10. การตัดกระเบื้องปูพื้น หรือผนังให้ใช้วิธีตัดเปียกโดยมีน้ำหล่อระหว่างใบพัด และกระเบื้องเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

11. จัดพนักงานคอยเก็บกวาด ล้างทำความสะอาดพื้นอาคาร และบริเวณถนนหน้าโครงการ เมื่อมีการเข้า-ออกของรถขนส่งวัสดุ และทุกครั้งหลังเลิกงาน โดยให้ใช้น้ำฉีดพรมก่อนทำความสะอาด

12. โครงการต้องคัดเลือกผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ มีชื่อเสียงในการก่อสร้าง และกำหนดเงื่อนไข ต้องปฏิบัติตามมาตรการ ทั้งนี้ หากไม่ปฏิบัติตามจะมีบทปรับ หรือบทกำหนดโทษ โดยเงื่อนไขดังกล่าวจะระบุอยู่ใน TOR ในสัญญาว่าจ้าง

13. โครงการติดตามสถานการณ์คุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ เพื่อให้ทราบข้อมูลคุณภาพอากาศ บริเวณโครงการในแต่ละวัน และหากพบว่าคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการตั้งอยู่ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดต้องหยุดกิจกรรมการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ทันที ได้แก่ งานที่ใช้เครื่องจักร และยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล งานขนส่งวัสดุก่อสร้างเข้าสู่พื้นที่โครงการ งานตัด เจาะ เจียรคอนกรีตที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง และหากหน่วยงานราชการขอความร่วมมือให้หยุดการก่อสร้าง หรือในการดำเนินการตามมาตรการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ก็ให้ความร่วมมือกับทางราชการอย่างเคร่งครัด

14. ติดป้ายประชาสัมพันธ์บริเวณด้านข้างของรถขนส่งดิน โดยระบุชื่อเจ้าหน้าที่โครงการ พร้อมเบอร์โทรศัพท์ติดต่อ เพื่อให้ผู้พักอาศัยใกล้เคียง และผู้ที่สัญจรใช้เส้นทางร่วมกับรถขนส่งดินได้รับทราบข้อมูล และสามารถติดต่อกับโครงการได้โดยตรงในกรณีที่ได้รับความเดือดร้อนจากการขนดิน

15. วางแผนใช้เส้นทางและเวลาการขนวัสดุและดิน เพื่อลดปัญหาฝุ่นละออง และจราจรโดยใช้ยานพาหนะในการขนส่ง

มาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะก่อสร้างอาคารโครงการด้านคุณภาพอากาศ

1. ตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีพื้นที่ก่อสร้างอาคารโครงการ มีดัชนีที่ใช้ติดตามตรวจสอบ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในเวลา 1 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในเวลา 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวม (TSP) หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ในเวลา 24 ชั่วโมง ความถี่ ตรวจวัดทุกวัน ที่มีการทำฐานราก และรายงานผลทุกสัปดาห์ หลังจากนั้นในระยะก่อสร้างอื่น ๆ ให้ตรวจวัดเดือนละ 1 ครั้ง ตลอดระยะก่อสร้าง โดยตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยตรวจวัด 3 วันต่อเนื่อง (ตรวจวัดในวันทำการ 2 วัน และวันหยุดสุดสัปดาห์ 1 วัน โดยหลีกเลี่ยงช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์) ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ทำการตรวจวัด 1 วัน เดือนละ 1 ครั้ง ตลอดระยะก่อสร้าง

2. ตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีพื้นที่อ่อนไหว มีดัชนีที่ใช้ติดตามตรวจสอบ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวม หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ในเวลา 24 ชั่วโมง ความถี่ ตรวจวัดเดือนละ 1 ครั้ง ตลอดระยะก่อสร้าง โดยตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยตรวจวัด 3 วันต่อเนื่อง (ตรวจวัดในวันทำการ 2 วัน และวันหยุดสุดสัปดาห์ 1 วัน โดยหลีกเลี่ยงช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์) ตลอดระยะก่อสร้าง

การจัดทำรายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม มาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะก่อสร้างอาคารโครงการด้านคุณภาพอากาศที่กำหนดไว้ ความถี่ทุก 6 เดือน หรือ 2 ครั้งต่อปี

สรุป

การประเมินค่าความเข้มข้นของมลพิษอากาศของฝุ่นละออง และค่าความเข้มข้นของมลพิษอากาศของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดจากกิจกรรมในระยะก่อสร้างจากผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ และข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ สถานีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2566 มาเป็นฐานในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ

โครงการร่วมด้วย พบว่า ค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่สูงสุด (Worst Case) คือ ช่วงเดือนที่ 2-5 งานเสาเข็มและโครงสร้างฐานราก โดยมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) 0.2403 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) 0.0893 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) 0.0753 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 2.2465 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 0.1086 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) 0.0410 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าเกินมาตรฐาน เนื่องจากผู้วิจัยใช้ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากรายงานสถานการณ์มลพิษอากาศบริเวณพื้นที่อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2566 ซึ่งปัจจุบันค่าสูงสุดมีค่าเกินมาตรฐาน

ทั้งนี้ การประเมินคุณภาพอากาศระยะก่อสร้างอาคารก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศด้านลบในระดับต่ำ ดังนั้น เพื่อป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคุณภาพอากาศของโครงการตามหลักวิชาการและเป็นไปได้ โดยในทางปฏิบัติสามารถติดตามตรวจสอบการดำเนินการได้อย่างเป็นรูปธรรม เพื่อควบคุมป้องกันการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม หรือเกิดผลกระทบน้อยที่สุด ระยะก่อสร้างอาคารบริเวณโครงการแห่งหนึ่ง ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยโลจิสติกส์และการจัดการ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้ความกรุณา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และเป็นกำลังใจให้เป็นอย่างดี จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณครอบครัวคล้ายรินที่เป็นพลังความสำเร็จ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์จากการทำวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้เป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนสร้างและพัฒนาผู้วิจัย พร้อมทั้งผู้เขียนตำราให้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้า อ้างอิง จนวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

พีระ คล้ายริน

เอกสารอ้างอิง

[1] พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 92 ตอนที่ 40. 19 กุมภาพันธ์ 2518.

[2] พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109 ตอนที่ 37. 4 เมษายน 2535.

[3] พัฒนา มูลพฤกษ์. 2545. การป้องกันและควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ. บริษัทซิกม่า ดีไซน์กราฟฟิก.

[4] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป.

[5] รายงานสถานการณ์มลพิษอากาศบริเวณพื้นที่อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง. 2566. กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ.

[6] California Emission Estimator Model. 2017. South Coast Air Quality Management District. November 2017.

[7] Emission Factor. 2010. Final Programmatic Environmental Assessment Grant Programs Directorate Programs FEMA.

[8] ค่าความเร็วลมในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2536 – 2566). 2566. สถานีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง.

[9] U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1987. The Risk Assessment Guidelines of 1986. EPA/600/8-87/045. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

20R1-04

วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในธุรกิจโรงแรมเพื่อเสนอแนะแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Analysis of Energy-Related Greenhouse Gas Emissions in Hotel Operations: Development of Emission Reduction Strategies

ณัฐพล มากสำรี[1*], สุมล นิลรัตน์นิศากร[2] และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[3*]
Nutthapon Maksamree[1] ,Sumol Nilratnisakorn[2] and Sukthai Pongpattanasiri[3*]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
[2]อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000; [3*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
โทรศัพท์ : 061-321-1120, E-mail : nxt.ntpp@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในโรงแรมประเภท 3 ขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงราย พร้อมทั้งเสนอแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับบริบทของภาคธุรกิจบริการในประเทศไทย การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดำเนินการตามแนวทางของ IPCC (2006) [3] โดยจำแนกเป็น Scope 1 (การปล่อยโดยตรงจากแหล่งที่อยู่ภายใต้การควบคุมของโรงแรม) และ Scope 2 (การปล่อยทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า)ผลการศึกษาระบุว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมอยู่ที่ 2,198.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยแหล่งหลักมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (คิดเป็นร้อยละ 72.54) รองลงมาคือการใช้ก๊าซ LPG (ร้อยละ 19.19) และการรั่วไหลของสารทำความเย็น R404A (ร้อยละ 5.38) สะท้อนให้เห็นถึงการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักแนวทางที่เสนอเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง การเปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็นที่มีค่าศักยภาพการเกิดภาวะเรือนกระจก (GWP) ต่ำ และการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระดับองค์กร ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาคการท่องเที่ยว และการบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามข้อผูกพันในระดับชาติ (NDC) ภายในปี ค.ศ. 2030

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, การจัดการพลังงาน, โรงแรม, Scope 1, Scope 2, พลังงานหมุนเวียน

Abstract

This study aims to assess greenhouse gas (GHG) emissions from energy consumption in a large Type 3 hotel located in Chiang Rai Province, Thailand, and to propose appropriate mitigation strategies tailored to the service sector context. The GHG emissions were calculated based on the IPCC (2006) [3] guidelines and categorized into Scope 1 (direct emissions from sources owned or controlled by the hotel) and Scope 2 (indirect emissions from electricity consumption).The results reveal that the hotel emitted a total of 2,198.09 tons of carbon dioxide equivalent (tCO_2e) with the majority stemming from electricity usage (72.54%), followed by liquefied petroleum gas (LPG) consumption (19.19%), and leakage of R404A refrigerant (5.38%).

These findings indicate a continued reliance on fossil-based energy sources and highlight opportunities for practical improvements in energy efficiency.The recommended mitigation strategies include the adoption of solar photovoltaic systems, the use of high-efficiency air conditioning units, the replacement of high-GWP refrigerants with lower-GWP alternatives, and the implementation of effective energy management at the organizational level. These actions aim to support carbon footprint reduction in Thailand's tourism sector and contribute to achieving the country's Nationally Determined Contribution (NDC) targets by 2030.

Keywords: greenhouse gas emissions, energy management, hotel industry, Scope 1, Scope 2, renewable energy

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นเร่งด่วนระดับโลกที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยมีสาเหตุหลักจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ในการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 26 (COP26) ซึ่งจัดขึ้นที่เมืองกลาสโกว์ ประเทศสกอตแลนด์ ได้มีการกำหนดเป้าหมายสำคัญในการจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม และมุ่งสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี ค.ศ. 2050 [8]

ประเทศไทยในฐานะภาคีสมาชิกได้แสดงเจตจำนงต่อเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ โดยกำหนดเป้าหมายตามแผนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ (Nationally Determined Contribution: NDC) ไว้ที่ร้อยละ 20–25 ภายในปี ค.ศ. 2030 ซึ่งภาคการท่องเที่ยวและธุรกิจโรงแรมถือเป็นภาคส่วนที่มีการใช้พลังงานสูง และมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ[7]

จังหวัดเชียงรายเป็นหนึ่งในจุดหมายปลายทางด้านการท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศ ด้วยความโดดเด่นทางธรรมชาติ วัฒนธรรม และประวัติศาสตร์ ส่งผลให้ธุรกิจโรงแรมและที่พักในพื้นที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยมีสถานประกอบการที่พักมากกว่า 800 แห่ง รวมกว่า 12,000 ห้องพัก เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดเชียงรายในปี พ.ศ. 2562 พบว่าจังหวัดมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมทั้งสิ้น 2,789,806 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) โดยภาคพลังงานเป็นแหล่งปล่อยหลัก คิดเป็น 885,754 tCO_2e หรือร้อยละ 31.75 ของการปล่อยทั้งหมด [4]

การดำเนินธุรกิจโรงแรมในจังหวัดเชียงรายนั้น จำเป็นต้องพึ่งพาการใช้พลังงานอย่างหลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อม การศึกษานี้จึงมุ่งวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของโรงแรม พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางและมาตรการลดการปล่อยที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการขับเคลื่อนเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศ และการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับสากล

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่และลักษณะของโรงแรมที่ศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการในโรงแรมขนาดกลางถึงขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ตั้งอยู่ในเขตเทศบาลนครเชียงราย จังหวัดเชียงราย โรงแรมเป็นอาคารสูง 8 ชั้น มีจำนวนห้องพักรวม 271 ห้อง พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกครบครัน เช่น ห้องอาหาร ห้องประชุม ห้องซักรีด และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air Conditioning System) โรงแรมเปิดให้บริการตลอดปีและมีอัตราการเข้าพักเฉลี่ยสูง โดยใช้พลังงานในหลายรูปแบบ ได้แก่ ไฟฟ้า ดีเซล ก๊าซ LPG และสารทำความเย็น

2. ขอบเขตของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอ้างอิงแนวทาง *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*[3] และแนวทางจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [4] โดยแบ่งขอบเขตการปล่อยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่:

- **Scope 1 (การปล่อยทางตรง)**
    1) การเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
    2) การใช้ก๊าซ LPG ในห้องครัว
    3) การใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะของโรงแรม

4) การรั่วไหลของสารทำความเย็น (เช่น R134a, R22, R404a)
5) การย่อยสลายของน้ำเสียจากระบบบำบัดภายในโรงแรม

- **Scope 2 (การปล่อยทางอ้อม)**
  1) การใช้พลังงานไฟฟ้าที่จัดซื้อจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3. วิธีการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลดำเนินการระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2566 โดยใช้ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) จากแหล่งข้อมูลภายในโรงแรมที่เชื่อถือได้ ดังนี้:

1. ใบแจ้งค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. รายงานการใช้เชื้อเพลิง (ดีเซล, LPG) จากใบเสร็จรับเงินและรายงานประจำเดือนของแผนกวิศวกรรม
3. เอกสารการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศและการเติมสารทำความเย็น
4. ข้อมูลการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในยานพาหนะจากแผนกจัดซื้อ

4. วิธีการวิเคราะห์และคำนวณ

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใช้สมการพื้นฐานจาก IPCC (2006) [3] ดังนี้:

$$GHG\ Emission\ (tCO_2e) = Activity\ Data \times Emission\ Factor$$

โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยจาก:

- IPCC (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*
- TGO (2020). *GHG Emission Factor Version AR5 (Version 04: 21/2/2020)*
- TGO (2019). *Sectoral Guidelines for Hotel Industry*

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ Microsoft Excel Verification Sheet ในการคำนวณแยกตามแต่ละแหล่งกำเนิด และนำผลลัพธ์มารวมเพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโรงแรมทั้งปี และคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) เฉลี่ยต่อห้องพักต่อคืน

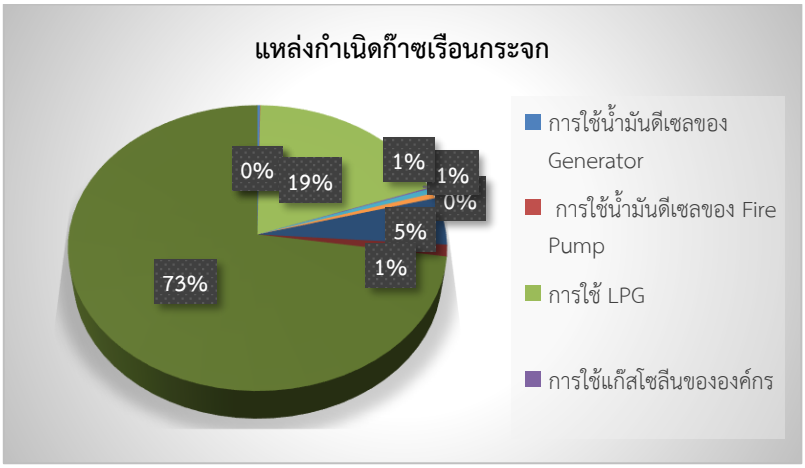
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์กิจกรรมการใช้พลังงานของโรงแรมขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงราย โดยอ้างอิงแนวทางการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตาม 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC) [3] และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) [4] พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดอยู่ที่ 2,198.08 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (tCO_2e/year) โดยแหล่งการปล่อยหลักมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (Scope 2) คิดเป็นร้อยละ 72.54 ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือการใช้ก๊าซ LPG (19.19%) และการรั่วไหลของสารทำความเย็น R404A (5.38%) ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามแหล่งกำเนิด

Scope	แหล่งกำเนิด	Emission Factor	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	สัดส่วน %
Scope 1	การใช้น้ำมันดีเซลของ Generator	2.7078	4.87	0.22%
	การใช้น้ำมันดีเซลของ Fire Pump	2.7078	0.81	0.04%
	การใช้ LPG	3.1134	421.86	19.19%
	การใช้แก๊สโซลีนขององค์กร	2.2719	3.02	0.14%
	การใช้ดีเซลขององค์กร	2.7078	12.93	0.59%
	การใช้สารทำความเย็นชนิด R134A	1300	13.00	0.59%
	การใช้สารทำความเย็นชนิด R404A	3943	118.28	5.38%

Scope	แหล่งกำเนิด	Emission Factor	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	สัดส่วน %
	Septik Tank	28	28.74	1.31%
Scope 2	การใช้ไฟฟ้าภายในองค์กร	0.4999	1594.56	72.54%
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม			2198.08	100%



รูปที่ 1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากผลการศึกษา โรงแรมตัวอย่างในจังหวัดเชียงรายมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 2,198.08 tCO_2e /ปี โดยมีแหล่งการปล่อยหลักคือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจัดอยู่ใน Scope 2 คิดเป็นสัดส่วน 72.54% ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือการใช้ก๊าซ LPG (19.19%) และการรั่วไหลของสารทำความเย็น R404A (5.38%) ซึ่งจัดอยู่ใน Scope 1 ผลลัพธ์นี้สะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลในภาคธุรกิจโรงแรม ซึ่งยังคงเป็นสาเหตุสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กร

เมื่อเปรียบเทียบกับ งานวิจัยของ Li, P [1] ซึ่งศึกษาการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมระดับ 4 ดาวในเมืองคุนหมิง ประเทศจีน พบว่ามีปริมาณการปล่อยอยู่ในช่วง 2,000–2,300 tCO_2e/ปี โดยมีการใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งปล่อยหลักมากกว่า 70% เช่นเดียวกับผลในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าโรงแรมขนาดใหญ่ในภูมิภาคเอเชียมีลักษณะการใช้พลังงานที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศและแสงสว่างซึ่งเป็นแหล่งใช้พลังงานหลัก และเสนอให้มีการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบผ่าน Energy Management System (EMS) และเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน

ในขณะที่ งานวิจัยของ Oladeji et al [2] ที่ศึกษาธุรกิจโรงแรมและเกสต์เฮาส์ในเมือง Akure ประเทศไนจีเรีย พบว่าแม้จะเป็นโรงแรมขนาดเล็ก–กลาง แต่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมประมาณ 1,000–1,500 tCO_2e /ปี โดยมีแหล่งปล่อยมาจากทั้ง Scope 1 และ Scope 2 ซึ่งรวมถึงการใช้ดีเซล น้ำเสีย และไฟฟ้าเป็นหลัก งานวิจัยดังกล่าวเสนอแนวทางลด GHG ผ่านการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ การบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย และการฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้กับโรงแรมในประเทศไทย โดยเฉพาะในบริบทที่ยังไม่มีระบบพลังงานหมุนเวียนครบวงจร อัตราการปล่อยเฉลี่ยต่อห้องพักในโรงแรมเชียงรายอยู่ที่ 0.053 tCO_2e/ห้อง/คืน หรือ 53.03 $kgCO_2e$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโรงแรมในคุนหมิงและไนจีเรีย ถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง และยังมี ศักยภาพในการลดลง ได้อีก หากมีการดำเนินมาตรการด้าน

พลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง เช่น การลดการใช้ไฟฟ้า การเปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็นที่มี GWP ต่ำ และการสร้างแรงจูงใจในระดับองค์กร

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง

หัวข้อเปรียบเทียบ	ผู้วิจัย	Paper 1: Kunming (จีน)	Paper 2: Akure (ไนจีเรีย)
ประเทศ/พื้นที่ศึกษา	เชียงราย, ประเทศไทย	คุนหมิง, ประเทศจีน	เมือง Akure, ไนจีเรีย
ประเภทโรงแรม	โรงแรมขนาดใหญ่ (8 ชั้น, 271 ห้อง)	โรงแรม 4 ดาว	โรงแรมและเกสต์เฮาส์ ขนาดเล็ก–กลาง
ปริมาณการปล่อยรวม (tCO2e/ปี)	2,198.08	~2,000–2,300	~1,000–1,500
การปล่อยหลัก (Scope)	Scope 2 (ไฟฟ้า)	Scope 2 (ไฟฟ้า)	Scope 1 & 2: ไฟฟ้า, เชื้อเพลิง, น้ำเสีย
Emission หลัก	ไฟฟ้า (72.54%), LPG, R404A	ไฟฟ้า >70%	ไฟฟ้า, ดีเซล, น้ำเสีย
แนวทางลดการปล่อยที่เสนอ	พลังงานสะอาด, เปลี่ยนสารทำความเย็น, EMS	เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน, ฝึกอบรมพนักงาน	โซลาร์เซลล์, ปรับปรุงระบบบำบัด, อบรมพนักงาน

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการใช้พลังงานจากกิจกรรมของโรงแรมขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย โดยใช้แนวทางการคำนวณตาม IPCC Guidelines [3] และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [4] โดยครอบคลุมการปล่อยทั้งทางตรง (Scope 1) และทางอ้อม (Scope 2) ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง น้ำมัน ก๊าซ LPG ไฟฟ้า สารทำความเย็น ตลอดจนแหล่งกำเนิดอื่น ๆ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงแรม

จากผลการเก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2566 พบว่าโรงแรมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 2,198.08 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) โดยมีแหล่งปล่อยหลักคือการใช้พลังงานไฟฟ้า (Scope 2) ซึ่งคิดเป็น 72.54% ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือการใช้ก๊าซ LPG และการรั่วไหลของสารทำความเย็น R404A ซึ่งอยู่ใน Scope 1 ส่วนการปล่อยจากเชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยานพาหนะ และระบบบำบัดน้ำเสียมีสัดส่วนรวมกันค่อนข้างน้อย

เมื่อเทียบกับจำนวนห้องพักที่ขายได้ตลอดปี จำนวน 41,446 ห้อง พบว่าอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยต่อห้องพักอยู่ที่ประมาณ 0.053 tCO_2e/ห้อง หรือ 53.03 $kgCO_2e$/ห้อง ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่สามารถควบคุมและบริหารจัดการได้ หากมีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานหรือปรับเปลี่ยนไปใช้พลังงานสะอาดมากขึ้น ก็จะสามารถลดปริมาณการปล่อยได้อย่างมีนัยสำคัญ และช่วยสนับสนุนเป้าหมายการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคธุรกิจบริการได้อย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากผลการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของโรงแรม และยังมีการปล่อยเพิ่มเติมจากเชื้อเพลิงและสารทำความเย็น จึงเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในบริบทของโรงแรมไทย ดังนี้:

1.ติดตั้งระบบพลังงานหมุนเวียน

การนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV) มาใช้ผลิตไฟฟ้าภายในโรงแรม จะช่วยลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานฟอสซิล และลดปริมาณ Scope 2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือที่มีศักยภาพด้านแสงอาทิตย์

2.จัดการสารทำความเย็นอย่างมีระบบ

ควรเปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็นที่มีค่าศักยภาพการก่อภาวะเรือนกระจก (GWP) ต่ำ เช่น R32 แทน R404A และมีระบบตรวจสอบการรั่วไหล พร้อมอบรมพนักงานด้านการจัดการสารทำความเย็นอย่างถูกต้อง

3.พัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System - EMS)

โรงแรมควรจัดตั้งระบบ EMS เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน และวางแผนลดการใช้ในช่วงเวลาที่ไม่จำเป็น

4.ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของพนักงานและผู้เข้าพัก

จัดกิจกรรมรณรงค์เพื่อส่งเสริมให้พนักงานและผู้เข้าพักมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงาน เช่น การเลือกไม่เปลี่ยนผ้าเช็ดตัวทุกวัน หรือการปิดแอร์เมื่อไม่อยู่ในห้องพัก

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอย่างจริงใจต่อ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการพิจารณางานวิจัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และการสนับสนุนทางวิชาการที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์และเชื่อถือได้

ขอขอบคุณ ผู้บริหารและพนักงานของโรงแรมในจังหวัดเชียงราย ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการให้ข้อมูล ประสานงาน และสนับสนุนการเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการดำเนินการศึกษา

ขอขอบคุณ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ONEP)
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก.
- คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC)

ที่ได้จัดทำเอกสารแนวทางการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เชื่อถือได้ เช่น IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Li, P. (2010). Carbon Footprint Calculation and Analysis of Accommodation Services in Four-star Hotels of Kunming. Tourism Tribune. Retrieved April 22, 2025, from https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-LYXK201003012.htm

[2] Oladeji, S., Ajayi, B., Alabi, O., Agele, S., & Ajigbo, I. (2024). Carbon Emission and Footprints of Hospitality Industries in Akure Metropolis, South Western Nigeria. Retrieved April 22, 2025, from https://doi.org/10.11648/j.ijhtm.20240801.11

[3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Retrieved April 26, 2025, from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

[4] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). (2020). GHG Emission Factor based on IPCC AR5, Version 04 (21 February 2020). Retrieved May 2, 2025, from https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/news_detail.php?g=1&n=164

[5] TGO. (2019). Sectoral Guidelines for Hotel Industry. Retrieved April 26, 2025, from https://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/download/ghg-sectoral-guidelines/hotel

[6] United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). Cooling Emissions and Policy Synthesis Report: Benefits of Cooling Efficiency and the Kigali Amendment. Retrieved May 2, 2025, from https://www.unep.org/resources/report/cooling-emissions-and-policy-synthesis-report

[7] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). (2021). Thailand Energy Report 2021. Ministry of Energy, Thailand. Environment, Thailand. Retrieved from https://www.onep.go.th/thailands-ndc/

[8]United Nations Framework Convention on Climate Change. (2021). *Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat*. https://unfccc.int/documents/268571

20R1-05

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเครื่องสำอางด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

Study of Appropriate Conditions for Treating Wastewater from Cosmetics Factories Using Electrochemical Processes

เปรม เตชะเพียวเลิศ[1*] และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ[2*]
Prem Techapeolers[1*] and Suchat Leungprasert[2*]
[1*]นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]รองศาสตราจารย์; ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
*โทรศัพท์ : 0869792745, E-mail : prem.te@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเครื่องสำอางโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี ซึ่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอางเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกและสิ่งเจือปนสูง เนื่องจากมีการปนเปื้อนของมลสารจำพวกน้ำมัน สารเคมีทั้ง ที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยมีค่า น้ำมันและไขมัน (Oil&Grease) 19-109 มก/ล. และมีค่า COD 1,158-2,408 มก/ล. และมีค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) 160-412 มก/ล. ดังนั้นจึงยากต่อการบำบัดด้วยระบบบำบัดทางทางกายภาพ เคมี และทางชีวภาพโดยทั่วไป โดยทดลองนี้เป็นการทดลองระดับ pilot scale ใช้ถังปฏิกรณ์ทดลองขนาดกว้าง 40 ยาว 50 และลึก 23 เซนติเมตร ชนิดแผ่นขั้วอิเล็กโทรดเป็น อะลูมิเนียม-สแตนเลส โดยศึกษาปัจจัยด้านกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด ที่ 4, 7 และ 10 แอมแปร์; ปัจจัยด้าน ระยะห่างของแผ่นขั้วอิเล็กโทรดที่ 1,2.5,3 และ 4 เซนติเมตร และปัจจัยด้าน ระยะเวลาในการบำบัดที่ 10, 20 และ 30 นาที โดยผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเครื่องสำอางอยู่ที่กระแสไฟ 10 แอมแปร์ ระยะห่างที่ 3 เซนติเมตร และระยะเวลาในการบำบัดที่ 30 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD , Oil&Grease และ TSS อยู่ที่ร้อยละ 33.14, 94.50 และ 50.31 ตามลำดับ

คำสำคัญ : กระบวนการไฟฟ้าเคมี,น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเครื่องสำอาง

Abstract

This research investigates the optimal conditions for wastewater treatment from a cosmetics manufacturing plant using an electrochemical process. The wastewater from the cosmetics production process is highly polluted, containing contaminants such as oils, and both organic and inorganic chemicals. The oil and grease content ranges from 19-109 mg/L, while the Chemical Oxygen Demand (COD) ranges from 1,158-2,408 mg/L and Total Suspended Solid (TSS) ranges from 160-412 mg/L, making it difficult to treat using conventional physical, chemical, or biological methods. In this pilot-scale experiment, a reactor tank with dimensions of 40 cm in width, 50 cm in length, and 23 cm in depth was used, with aluminum-stainless steel electrode plates. The study examined the effects of various parameters, including current (4, 7, and 10 amperes), electrode spacing (1, 2.5, 3, and 4 cm), and treatment time (10, 20, and 30 minutes). The results

revealed that the optimal conditions for treating cosmetics wastewater were a current of 10 amperes, electrode spacing of 3 cm, and a treatment time of 30 minutes. Under these conditions, the treatment efficiencies for COD, oil & grease, and total suspended solids (TSS) were 33.14%, 94.50%, and 50.31%, respectively.

Keywords : Electrochemical process, wastewater from cosmetics production process

บทนำ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเครื่องสำอางเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรม การผลิตและ การบรรจุเครื่องสำอางซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาด เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างกันไปตามประเภทของ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง น้ำเสียที่เกิดจากสถานประกอบกิจการประเภทนี้ มักมีสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องสำอางปนเปื้อนอยู่ บางชนิดมีการ ย่อยสลายยากหรือไม่ย่อยสลาย ทำให้เกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อม และเป็นพิษ ต่อสิ่งมีชีวิตและห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำและดิน[1]

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียรวมจากโรงงานผลิตเครื่องสำอางโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมีเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการเดินระบบที่ต่ำ[2] โดยระบบดังกล่าวจะอาศัยกระแสไฟฟ้าเป็นตัวสร้างสารตะกอนเพื่อให้สารดังกล่าวสามารถจับกับอนุภาคของน้ำมันและสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ภายในน้ำเสียเพื่อเกิดตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเครื่องสำอางตัวอย่าง จากนั้นนำมาทดลองกับถังปฏิกรณ์ขนาดกว้าง 40 ยาว 50 และลึก 23 เซนติเมตร โดยใช้อะลูมิเนียมและแสตนเลสเป็นขั้วไฟฟ้าและทำร่องให้สามารถปรับประยะห่างของแผ่นได้ที่ระยะ 1,2.5,3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ และใช้เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้โดยควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ 4,7 และ 10 แอมแปร์ ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองโดยการใส่น้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ 10,20 และ 30 นาทีตามลำดับ และนำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดมาวิเคราะห์ค่า COD, Oil&Grease และ TSS เพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดและสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดดังรูปที่ 1

วิธีการสรุปผล

วิธีการคำนวณประสิทธิภาพการบำบัด

การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD

นำ (ค่าCODขาเข้าในแต่ละวัน- ค่าCODเฉลี่ย (จากการทดลอง 3 ซ้ำ) ขาออกในแต่ละตัวแปร/CODขาเข้า)*100 = ประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD (%)

การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil & Grease

นำ(ค่า Oil & Grease ขาเข้าในแต่ละวัน- ค่าOil & Grease เฉลี่ย(จากการทดลอง 3 ซ้ำ) ขาออกในแต่ละตัวแปร/ Oil & Grease ขาเข้า)*100 = ประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil & Grease (%)

การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil & Grease

นำ(ค่า TSS ขาเข้าในแต่ละวัน- ค่า TSS เฉลี่ย(จากการทดลอง 3 ซ้ำ)ขาออกในแต่ละตัวแปร/ ค่า TSS ขาเข้า)*100 = ประสิทธิภาพการบำบัดค่า TSS (%)

วิธีการคำนวณค่าไฟฟ้า

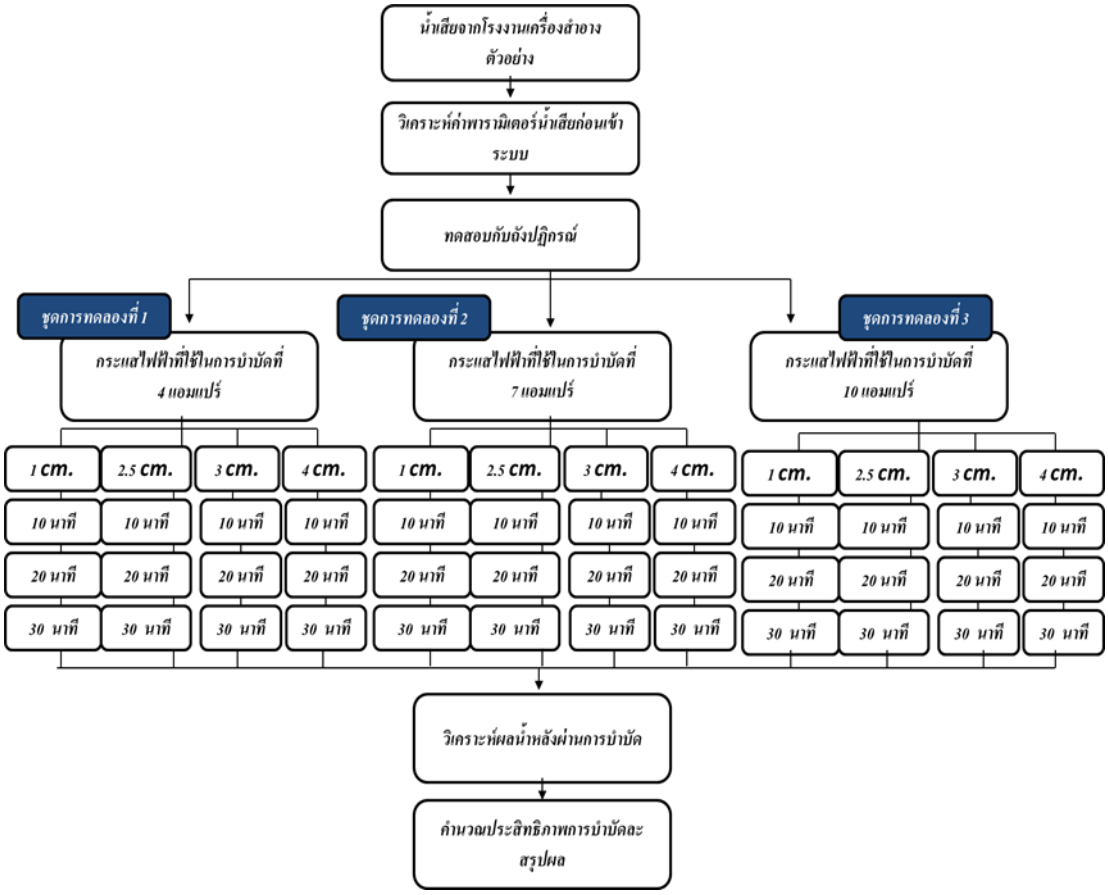
- ช่วงเวลา off peak ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 2.6037 บาทต่อหน่วยช่วงเวลาการใช้ 21.00-9.00 น. และรวมวันเสาร์อาทิตย์
- ช่วงเวลา on peak ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 4.1839 บาทต่อหน่วยช่วงเวลาการใช้ 9.00-21.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงานปกติจันทร์-ศุกร์

จำนวนยูนิต =(Watt*hr)/1,000

ค่าไฟฟ้า(บาท) = จำนวนยูนิต * ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

พารามิเตอร์	วิธีการในการวิเคราะห์
COD (Chemical Oxygen Demand)	Close Reflux
Oil & Grease	Liquid-Liquid. Partition-Gravimetric
TSS (Total Suspended Solids)	Dried at 103-105 C



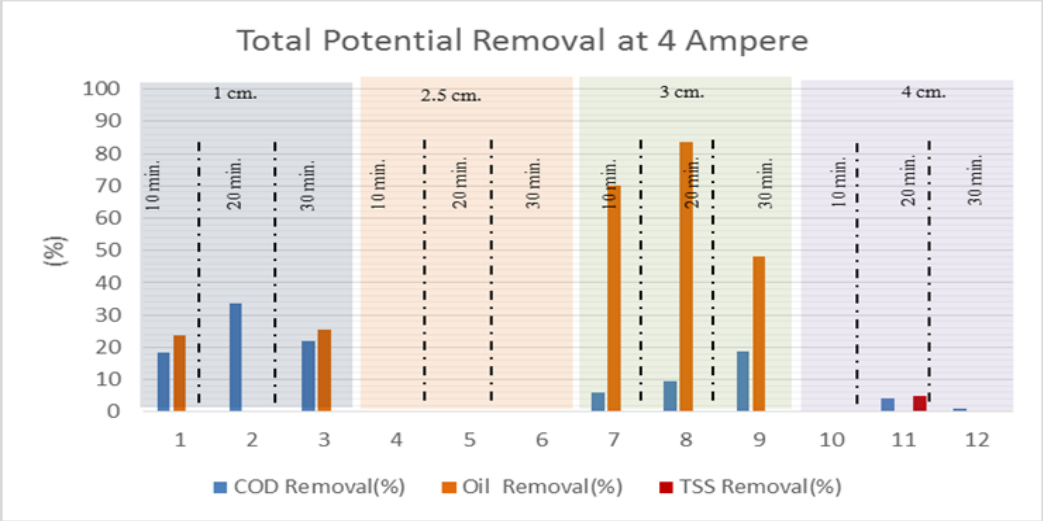
รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองชุดที่ 1 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 4 แอมแปร์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดค่า COD คือ สภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 1 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 20 นาที โดยมีค่า COD ขาเข้าระบบอยู่ที่ 1,892 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า COD คงเหลืออยู่ที่ 1,258.67 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD อยู่ที่ 33.47% ดังภาพที่ 10 ในขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า Oil&Grease คือสภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 20 นาที โดยมีค่า Oil&Grease ขาเข้าอยู่ที่ 109 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า Oil&Grease อยู่ที่ 18 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil&Grease อยู่ที่ 83.49% และ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า TSS คือสภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 4 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 20 นาที โดยในชุดการทดลองที่ 1 มีเพียงสภาวะเดียวที่สามารถบำบัดค่า TSS ได้โดย มีค่า TSS ขาเข้าอยู่ที่ 412 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า TSS อยู่ที่ 391.33 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า TSS อยู่ที่ 7.61%

ตารางที่ 2 ผลการทดลองชุดที่ 1 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 4 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้า (cm.)	เวลา (นาที)	INF.COD (mg/l)	EFF COD(mg/l)	COD Removal(%)	INF.Oil (mg/l)	EFF oil(mg/l)	Oil Removal(%)	INF.TSS (mg/l)	EFF TSS(mg/l)	TSS Removal (%)
4	1	10	1892.00	1541.67±130.47	18.52±6.90	34.00	26.00±7.94	24.51±21.68	258.00	280.00±6.93	0.00
		20	1892.00	1258.67±621.15	33.47±32.83	34.00	45.00±13.08	0.00	258.00	450.00±116.09	0.00
		30	1892.00	1480.33±94.59	21.76±5.00	34.00	25.33±7.57	25.49±22.27	258.00	344.00±0	0.00
	2.5	10	1158.00	1303.00±34.83	0.00	19.00	24.00±1.00	0.00	160.00	185.33±9.24	0.00
		20	1158.00	1486.00±300.60	0.00	19.00	29.67±2.08	0.00	160.00	244.00±4.00	0.00
		30	1158.00	1163.67±82.14	0.00	19.00	39.33±2.08	0.00	160.00	268.00±4.00	0.00
	3	10	1358.00	1275.00±72.38	6.11±5.33	109.00	32.67±3.06	70.03±2.80	216.00	226.67±6.11	0.00
		20	1358.00	1230.67±50.95	9.38±3.75	109.00	18.00±2.65	83.49±2.43	216.00	293.33±6.11	0.00
		30	1358.00	1102.67±42.25	18.80±3.11	109.00	56.33±2.52	48.32±2.31	216.00	241.33±6.11	0.00
	4	10	2408.00	2569.33±34.43	0.00	28.00	30.00±4.58	0.00	412.00	415.00±5.00	0.16±0.28
		20	2408.00	2303.00±78.82	4.36±3.27	28.00	56.67±2.08	0.00	412.00	391.33±48.01	7.61±7.53
		30	2408.00	2380.33±58.18	1.61±1.74	28.00	42.67±2.52	0.00	412.00	453.33±12.22	0.00

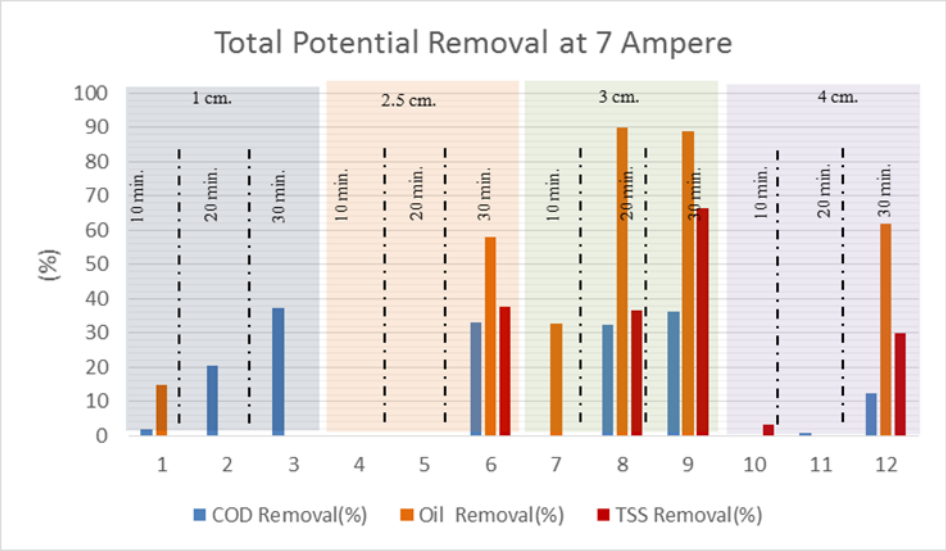


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวม ในแต่ละสภาวะของชุดการทดลองที่ 1 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 4 แอมแปร์

ผลการทดลองชุดที่ 2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 7 แอมแปร์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดค่า COD คือ สภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 1 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 30 นาที โดยมีค่า COD ขาเข้าระบบอยู่ที่ 1,892 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า COD คงเหลืออยู่ที่ 1,186.33 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD อยู่ที่ 37.30% ในขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า Oil&Grease คือสภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 20 นาที โดยมีค่า Oil&Grease ขาเข้าอยู่ที่ 109 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า Oil&Grease อยู่ที่ 11 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil&Grease อยู่ที่ 89.91% และ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า TSS คือสภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 30 นาที โดยมีค่า TSS ขาเข้าอยู่ที่ 216 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า TSS อยู่ที่ 72.67 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า TSS อยู่ที่ 66.36%

ตารางที่ 3 ผลการทดลองชุดที่ 2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 7 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้า (cm.)	เวลา (นาที)	INF.COD (mg/l)	EFF COD(mg/l)	COD Removal(%)	INF.Oil (mg/l)	EFF oil(mg/l)	Oil Removal(%)	INF.TSS (mg/l)	EFF TSS(mg/l)	TSS Removal (%)
7	1	10	1892.00	1858.33±400.03	9.11±9.25	34.00	29.00±6.56	15.69±17.97	258.00	295.33±11.37	0.00
		20	1892.00	1502.67±100.43	20.58±5.31	34.00	34.33±19.22	19.61±26.69	258.00	328.00±8.00	0.00
		30	1892.00	1186.33±58.71	37.30±3.10	34.00	36.00±19.08	17.65±30.57	258.00	276.00±30.20	1.29±2.24
	2.5	10	1158.00	1219.67±94.59	0.46±0.80	19.00	31.67±1.53	0.00	160.00	216.00±4.00	0.00
		20	1158.00	1208.00±0.00	0.00	19.00	38.67±0.58	0.00	160.00	246.67±2.31	0.00
		30	1158.00	775.00±72.38	33.07±6.25	19.00	8.00±1.73	57.89±9.12	160.00	100.00±10.58	37.50±6.61
	3	10	1358.00	1413.67±50.95	0.00	109.00	73.33±3.51	32.72±3.22	216.00	281.33±8.33	0.00
		20	1358.00	919.67±85.71	32.28±6.31	109.00	11.00±1.00	89.91±0.92	216.00	136.67±15.28	36.73±7.07
		30	1358.00	863.67±24.99	36.40±1.84	109.00	12.00±2.00	88.99±1.83	216.00	72.67±3.51	66.36±1.63
	4	10	2408.00	2425.00±50.00	0.46±0.79	28.00	74.67±2.08	0.00	412.00	398.67±6.11	3.34±1.48
		20	2408.00	2386.33±50.95	1.37±1.37	28.00	147.00±5.57	0.00	412.00	416.00±4.00	0.00
		30	2408.00	2108.33±83.50	12.44±3.47	28.00	10.67±0.58	61.90±2.06	412.00	288.00±10.58	30.10±2.57

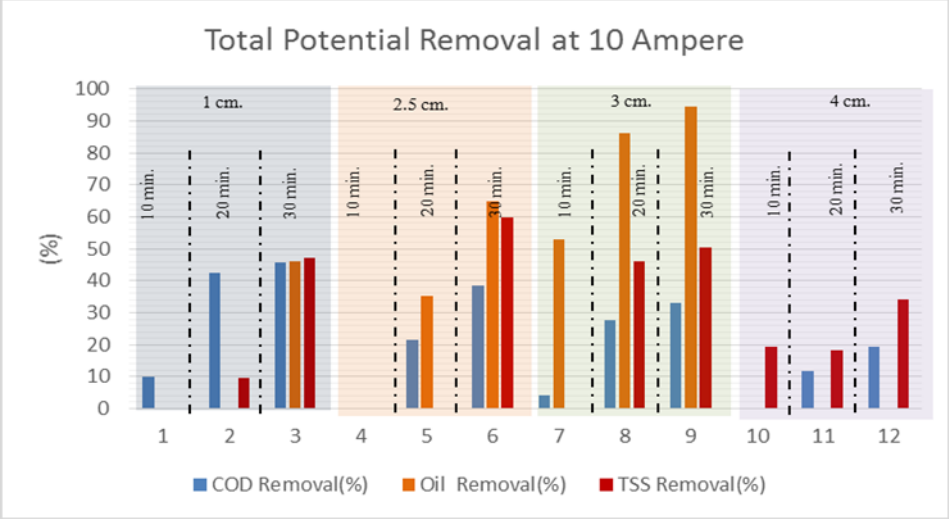


รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวม ในแต่ละสภาวะของชุดการทดลองที่ 2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 7 แอมแปร์

ผลการทดลองชุดที่ 3 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 10 แอมแปร์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดค่า COD คือ สภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 1 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 30 นาที โดยมีค่า COD ขาเข้าระบบอยู่ที่ 1,892 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า COD คงเหลืออยู่ที่ 1,025 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD อยู่ที่ 45.82% ดังภาพที่ 18 ในขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า Oil&Grease คือสภาวะที่ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 30 นาที โดยมีค่า Oil&Grease ขาเข้าอยู่ที่ 109 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า Oil&Grease อยู่ที่ 6 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil&Grease อยู่ที่ 94.50% ดังภาพที่ 19 และ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า TSS คือสภาวะที่ ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 2.5 เซนติเมตร ระยะเวลาการบำบัดที่ 30 นาที โดย มีค่า TSS ขาเข้าอยู่ที่ 160 mg/L และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า TSS อยู่ที่ 64.33 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดค่า TSS อยู่ที่ 59.79%

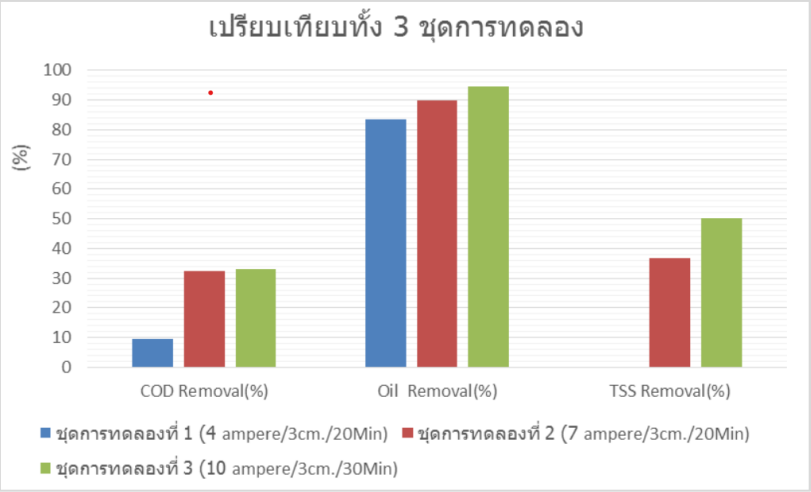
ตารางที่ 4 ผลการทดลองชุดที่ 3 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 10 แอมแปร

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ระยะห่างแผ่นขั้วไฟฟ้า (cm.)	เวลา (นาที)	INF.COD (mg/l)	EFF COD(mg/l)	COD Removal(%)	INF.Oil (mg/l)	EFF oil(mg/l)	Oil Removal(%)	INF.TSS (mg/l)	EFF TSS(mg/l)	TSS Removal (%)
10	1	10	1892.00	1703.00±34.83	9.99±1.84	34.00	110.67±21.22	0.00	258.00	306.67±14.05	0.00
		20	1892.00	1091.33±144.43	42.32±7.63	34.00	66.67±23.69	0.00	258.00	233.33±57.18	14.47±14.34
		30	1892.00	1025.00±361.23	45.82±19.09	34.00	18.33±12.06	46.08±35.46	258.00	136.67±28.02	47.03±10.86
	2.5	10	1158.00	1303.00±198.65	0.46±0.80	19.00	56.67±2.08	0.00	160.00	238.67±8.33	0.00
		20	1158.00	908.33±87.88	21.56±7.59	19.00	12.33±1.53	35.09±8.04	160.00	174.67±63.54	9.17±8.04
		30	1158.00	714.00±118.54	38.34±10.24	19.00	6.67±1.53	64.91±8.04	160.00	64.33±6.66	59.79±4.16
	3	10	1358.00	1302.67±69.26	4.07±5.10	109.00	51.33±1.53	52.91±1.40	216.00	264.00±8.00	0.00
		20	1358.00	980.67±41.79	27.79±3.08	109.00	15.00±3.00	86.24±2.75	216.00	116.67±4.16	45.99±1.93
		30	1358.00	908.00±50.00	33.14±3.68	109.00	6.00±1.73	94.50±1.59	216.00	107.33±5.03	50.31±2.33
	4	10	2408.00	2502.67±25.42	0.00	28.00	150.33±5.86	0.00	412.00	332.00±28.00	19.42±6.80
		20	2408.00	2125.00±67.00	11.75±2.78	28.00	105.33±11.93	0.00	412.00	337.33±22.03	18.12±5.35
		30	2408.00	1943.67±52.52	19.28±2.18	28.00	97.33±14.47	0.00	412.00	272.00±10.58	33.98±2.57



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวม ในแต่ละสภาวะของชุดการทดลองที่ 3 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 10 แอมแปร์

เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเครื่องสำอางด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีของทั้งสามชุดการทดลองมาเปรียบเทียบกันโดยคำนึงถึงค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil & Grease เป็นหลักจะพบว่า ชุดการทดลองที่1 สภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า Oil & Grease ดีที่สุดคือที่สภาวะ การใช้กระแสไฟฟ้าในการบำบัดที่ 4 แอมแปร์ ระยะห่างของแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาในการบำบัดที่ 20 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ 83.49% และชุดการทดลองที่ 2 สภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า Oil & Grease ดีที่สุดคือที่สภาวะ การใช้กระแสไฟฟ้าในการบำบัดที่ 7 แอมแปร์ ระยะห่างของแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาในการบำบัดที่ 20 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ 89.91% และชุดการทดลองที่ 3 สภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า Oil & Grease ดีที่สุดคือที่สภาวะ การใช้กระแสไฟฟ้าในการบำบัดที่ 10 แอมแปร์ ระยะห่างของแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ 3 เซนติเมตร ระยะเวลาในการบำบัดที่ 30 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ 94.50%



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวม ในแต่ละสภาวะของชุดการทดลองที่ 3 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดที่ 10 แอมแปร์

สรุป

การศึกษานี้มุ่งเน้นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานเครื่องสำอางตัวอย่างด้วยหลักการไฟฟ้าเคมี ประกอบด้วยกระบวนการแบบ Electrocoagulation (EC) และ Electro flotation (EF) ในการบำบัดน้ำเสีย โดยวิเคราะห์ผลของตัวแปรสภาวะที่สำคัญในการนำไปใช้งานจริง ได้แก่ ตัวแปรระยะห่างของอิเล็กโทรด (1 cm, 2.5 cm, 3 cm, และ 4 cm) ตัวแปรกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด (4 Amp, 7 Amp, และ 10 Amp) และระยะเวลาในการเกิดปฏิกริยาเพื่อบำบัด (10 นาที, 20 นาที, และ 30 นาที) โดยคำนึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดและกำจัดสารมลพิษ ได้แก่ ค่า COD, Oil & Grease และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

ผลการทดลองพบว่า กระบวนการไฟฟ้าเคมีสามารถกำจัดสารอินทรีย์และน้ำมันในน้ำได้(Mollah,2001)โดยสภาวะที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงสุด อยู่ที่ สภาวะระยะห่างของแผ่นขั้วอิเล็กโทรดที่ 3 cm โดยใช้กระแสไฟฟ้า 10 Amp และระยะเวลาในการบำบัดที่ 30 นาที โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการบำบัดค่า Oil & Grease เป็นหลัก ซึ่งสามารถกำจัดค่า Oil & Grease ได้ดีกว่าในสภาวะตัวแปรอื่นๆ และการใช้กระแสไฟในการบำบัดที่ต่ำเกินไป หรือระยะเวลาที่น้อยเกินไป ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากระดับกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกริยา ที่ขั้วไฟฟ้าให้เกิดการแตกตัวของ OH^- ที่ขั้วแคโทด และเกิด H^+ที่ขั้วแอโนด เพื่อบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย(จุฑามาศ,2553)ในขณะที่ระยะห่างของอิเล็กโทรดที่ 1 cm และ 4 cm มีประสิทธิภาพต่ำกว่า อันเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านการสร้างฟองอากาศรวมถึงการเคลื่อนที่ของอิออนในการจับตัวของตะกอนหรือฟล็อคที่เร็วเกินไปหรือช้าเกินไปก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารมลพิษต่างๆที่ปนเปื้อนในน้ำเสียลดลงด้วย

จากการศึกษาครั้งนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด และ ระยะเวลาในการบำบัด มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิจัยชุดทดลองนี้ คือที่สภาวะระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด(อะลูมิเนียม และ สแตนเลส) ที่ 3 cm, กระแสไฟที่ใช้ในการบำบัดที่ 10 Amp, และระยะเวลาปฏิกิริยาเพื่อบำบัดที่ 30 นาที สำหรับการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าระยะห่างของแผ่นขั้วและระยะเวลาในการบำบัดมีผลต่อค่าใช้จ่ายทางด้านการใช้พลังงานโดยเมื่อมีระยะห่างมากขึ้นและระยะเวลาในการบำบัดที่นานขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการบำบัดเพิ่มขึ้นด้วย โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการบำบัดอยู่ที่ 10.77 บาท/ลบ.ม.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่าน รศ.ดร สุชาติ เหลืองประเสริฐ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำจนงานวิจัยผลงานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วง และ ขอขอบคุณ บริษัท เอลเมอร์ อินทริเกชั่น จำกัดที่ช่วยอนุเคราะห์สร้างปฏิกรณ์ทดลอง เพื่อใช้สำหรับการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือวิชาการ เรื่อง แนวทางการประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ประเภท การผลิต การบรรจุเครื่องสำอาง, สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม ,กระทรวงสาธารณสุข

[2] ชัชชฎาภรณ์ , นิจวรรณ 2554 การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าเคมีเพื่อการบำบัดน้ำเสีย

[3] จุฑามาศ 2553 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี

[4] M. Yousuf A. Mollah1, Robert Schennach, Jose R. Parga2, David L. Cocke(2001) Electrocoagulation (EC) — science and applications. Journal of Hazardous Materials B84 (2001) 29–41

20R1-06

การประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล วิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน 2025, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

Assessment of Greenhouse Gas Emissions and Carbon Neutral Event Implementation: Chula Engineering Mini Marathon 2025 in Bangkok, Thailand

พิเชษฐ์ ดีไพรัฐนันท์[1] ภาวินี พงศ์พันธ์พฤทธิ์[1] รัชนัน ชำนาญหมอ[1] ชัญญานุช เมฆาวัชร์[1] กวีมาศ รักษาสังข์[2] ภวิล สิริสิงห์[2] ภูวนัตถ์ หอมผกา[2] สพล ช่วยแก้ว[2] ภัทรดนัย คงมาก[2] ชัยภัทร จานุกิจ[3] ปฏิพล ศักดิ์ธนวัฒน์[4] พัชรียา รุ่งกิจวัฒนานุกูล[4] และพิสุทธิ์ เพียรมนกุล[5,6*]

Pichet Deeprairatanan[1] Pavinee Pongpunpurt[1] Ratchanan Chamnanmor[1] Chanyanuch Mekawat[1] Kaweemas Raksasang[2] Pawin Sirisinha[2] Puwanat hompaka[2] Sapon Chauykaew[2] Pattaradanai kongmak[2] Chaiyapat Janukit[3] Patipon Saktanawat[4] Phatchariya Rungkitwatananukul[4] and Pisut Painmanakul[5,6*]

[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน; [2]นิสิตปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[3]ภารกิจบริหารระบบกายภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[4]สถาบันคาร์บอนเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[5]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[6]ผู้อำนวยการสถาบันคาร์บอนเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[*]โทรศัพท์ : 089 413 1392, E-mail : pisut.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปัจจุบันการจัดกิจกรรมในประเทศไทย โดยเฉพาะกิจกรรมงานวิ่ง เป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมของผู้เข้าร่วมงาน งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติสำหรับกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล โดยประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมงานวิ่ง ซึ่งปรับใช้แนวทางจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในการคำนวณและจัดหาคาร์บอนเครดิตจากตลาดคาร์บอน ร่วมกับแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ โดยผลการศึกษาพบว่า การจัดกิจกรรมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (ขอบเขตที่ 3) ปริมาณ 74.81 tCO_2e (50.59%) รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (ขอบเขตที่ 1) ปริมาณ 72.20 tCO_2e (48.82%) โดยปัจจัยหลักเกิดจากอุปกรณ์สำหรับการจัดกิจกรรม การเดินทางของผู้เข้าร่วมงาน และการบริโภคอาหาร ตามลำดับ โดยกิจกรรมนี้ได้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมที่ต้นทางให้ได้มากที่สุด ด้วยการทดแทนปิโตรเลียมพลาสติก การลดการเกิดขยะ และการจัดพื้นที่สำหรับการคัดแยกขยะที่ต้นทาง จากนั้นชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมที่เหลือ ด้วยการชดเชยคาร์บอนเครดิต โดยทำให้ก๊าซเรือนกระจกสุทธิลดลงเท่ากับศูนย์ ส่งผลให้กิจกรรมดังกล่าวบรรลุเป้าหมายการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล นอกจากนี้กิจกรรมดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมแรงจูงใจและขับเคลื่อนการเติบโตของตลาดคาร์บอนเครดิตภาคสมัครใจในประเทศไทยให้เพิ่มมากขึ้น และเป็นแนวทางอ้างอิงในการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัลในประเทศไทย

คำสำคัญ : การปล่อยก๊าซเรือนกระจก; กิจกรรมงานวิ่ง; คาร์บอนนิวทรัล

Abstract

The increasing release of greenhouse gases (GHGs) into the atmosphere is a key factor contributing to climate change. In Thailand, event organization, particularly running events, has become one of the sources of GHG emissions, mainly due to participant related activities. This study applied a practical framework for organizing carbon neutral events by assessing GHG emissions from a running event. The evaluation followed the methodology of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO) for calculating emissions and acquiring carbon credits from the carbon market, together with other GHG reduction measures. The results showed that the highest emissions came from Scope 3 (other indirect emissions), totaling 74.81 tCO_2e (50.59 %), followed by Scope 1 (direct emissions) at 72.20 tCO_2e (48.82%). The main sources were event related equipment, participant transportation, and food consumption, respectively. To minimize emissions at the source, the event implemented measures such as replacing petroleum-based plastics, reducing waste generation, and providing waste separation zones. Remaining emissions were offset by purchasing carbon credits, resulting in net zero emissions and achieving the goal of a carbon neutral event. Moreover, this event contributed to motivating voluntary action and promoting the growth of Thailand's voluntary carbon market. It also serves as a practical model for organizing future carbon neutral events in the country.

Keywords : greenhouse gas emissions; running events; carbon neutral

บทนำ

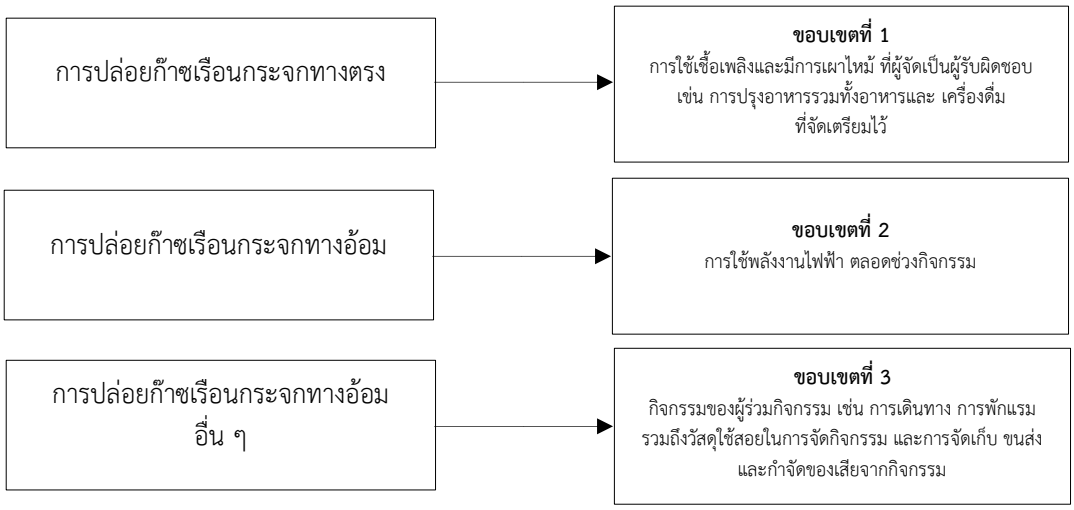
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นความท้าทายที่สำคัญในศตวรรษที่ 21 [1] การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเกิดจากความต้องการพลังงานทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้นในการพัฒนาพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ ภายใต้บริบทของทรัพยากรที่มีจำกัดและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ปัจจุบันการจัดกิจกรรมในประเทศไทย โดยเฉพาะกิจกรรมงานวิ่ง เป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [2] โดยมีสาเหตุจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเดินทางของผู้เข้าร่วมงาน การพักค้างแรม การใช้ไฟฟ้า อาหาร และปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ซึ่งจากสถานการณ์โควิด 19 ที่ผ่านมาส่งผลให้ปี 2020 ถึง 2021 ประเทศไทยมีการจัดกิจกรรมงานวิ่งเฉลี่ย 1,200 งานต่อปี เนื่องจากข้อจำกัดการล็อกดาวน์ และการปิดสวนสาธารณะ ซึ่งหลังจากสถานการณ์ โควิด 19 ในปี 2022 และปี 2023 การจัดกิจกรรมงานวิ่งเริ่มฟื้นตัวกลับมาเมื่อเทียบกับช่วงก่อนเกิดโควิด 19 โดยมีงานวิ่งเฉลี่ย 1,400-1,600 งานต่อปี [3] จากกรณีศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการจัดกิจกรรมงาน CHULA INTANIA RUN 2024 พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึง 82.07 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การปรุงอาหาร พลังงานไฟฟ้า การเดินทาง การพักแรม ของแจกในงาน และของเสียหลังการจัดงาน จากสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้น ประเทศไทยได้กำหนดการมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด (Nationally Determined Contributions; NDC) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงร้อยละ 30-40 จากระดับปกติ ภายในปี 2030 นอกจากนี้ ประเทศไทยตั้งเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนหรือคาร์บอนนิวทรัลภายในปี 2050 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี 2065 [4] เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานให้บรรลุตามเป้าหมายดังกล่าว ประเทศไทยได้พัฒนาตลาดคาร์บอน โดยใช้แรงจูงใจจากมาตรการทางการตลาด เพื่อเป็นแรงจูงใจให้กับภาคส่วนต่าง ๆ สำหรับลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศ ซึ่งหนึ่งในแนวทางที่ผลักดันตลาดคาร์บอน คือ การจัดกิจกรรมในรูปแบบคาร์บอนนิวทรัล (Carbon Neutral Event) โดยการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมตามแนวทางจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานสากลของแนวทางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) โดยเป็นการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นจริง และดำเนินการจัดหาคาร์บอนเครดิตจากตลาดคาร์บอน เพื่อทำกิจกรรมชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ กิจกรรมชดเชยคาร์บอน (Carbon Offsetting) เพื่อให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเท่ากับศูนย์ หรือที่เรียกว่า Carbon Neutral นอกจากนี้ การมีส่วนร่วมของภาคธุรกิจ หรือภาคส่วนต่าง ๆ ในการซื้อคาร์บอนเครดิตจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกผ่านความรับผิดชอบต่อสังคมขององค์กร (Corporate Social Responsibility; CSR) ซึ่งเป็นแรงจูงใจ

เชิงเศรษฐกิจที่สำคัญในการขับเคลื่อนกลไกตลาดคาร์บอน และส่งผลต่อการเสริมสร้างศักยภาพของประเทศไทยในการบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [5] ทั้งนี้ งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติสำหรับกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล โดยประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมงานวิ่ง ซึ่งปรับใช้แนวทางจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในการคำนวณและจัดหาคาร์บอนเครดิตจากตลาดคาร์บอน ร่วมกับแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลและการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลพื้นที่ศึกษา และการดำเนินกิจกรรมวิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน 2025 ถูกรวบรวมโดยผู้วิจัย เพื่อคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรม ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก โดยแบ่งขอบเขตการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมออกเป็น 3 ขอบเขต (แสดงดังรูปที่ 1) ได้แก่ (1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางโดยตรง จากบริการเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ผู้จัดงานเป็นเจ้าของและรับผิดชอบค่าใช้จ่าย (2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ไอน้ำหรือความร้อน และ (3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ นอกเหนือจากขอบเขตที่ 2 [6]



รูปที่ 1 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรม

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถูกคำนวณโดยใช้สมการที่ (1) [7] โดยใช้หลักการคูณกันระหว่าง ข้อมูลกิจกรรม และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

$$E_{GHG} = \text{Activity data} \times \text{Emission factors} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ E_{GHG} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

Activity data = ข้อมูลกิจกรรม (หน่วย)

Emission factors = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/หน่วย)

2. การประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติเพื่อขับเคลื่อนการดำเนินกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล

กรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติสำหรับกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล (รูปที่ 2) กำหนดขึ้นโดยมีเป้าหมายเพื่อให้กิจกรรมวิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน บรรลุเป้าหมายการเป็นกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัลผ่านการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างยั่งยืน โดยกรอบแนวคิดนี้เกิดจากการบูรณาการของปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย ได้แก่ วัฒนธรรม (Culture) ในการสร้างวัฒนธรรมของการจัดกิจกรรมที่มุ่งเน้นเป้าหมายเพื่อความยั่งยืน ภาวะผู้นำ (Leadership) โดยผู้นำมีบทบาทเป็นแบบอย่างในการผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ซึ่งต้องอาศัยการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อผลักดันให้เป้าหมายการลดการปล่อยคาร์บอนสำหรับการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัลสำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ แนวคิดดังกล่าวได้ถูก

ผสมผสานร่วมกับวงจรที่ครอบคลุมการวางแผน การประเมิน การดำเนินการ และการติดตามผล โดยมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถปรับปรุงได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน โดยมี 6 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การทำงานร่วมกันและทัศนคติที่เหมาะสม (Team work and mindset) กำหนดทิศทางการจัดกิจกรรมเพื่อมุ่งสู่การเป็นกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัลอย่างยั่งยืน โดยมีการปรับทัศนคติของทุกฝ่ายให้สอดคล้องกับแนวทางดังกล่าว ซึ่งอาศัยความร่วมมือจากคณะวิศวกรรมศาสตร์และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วน (Stakeholder)

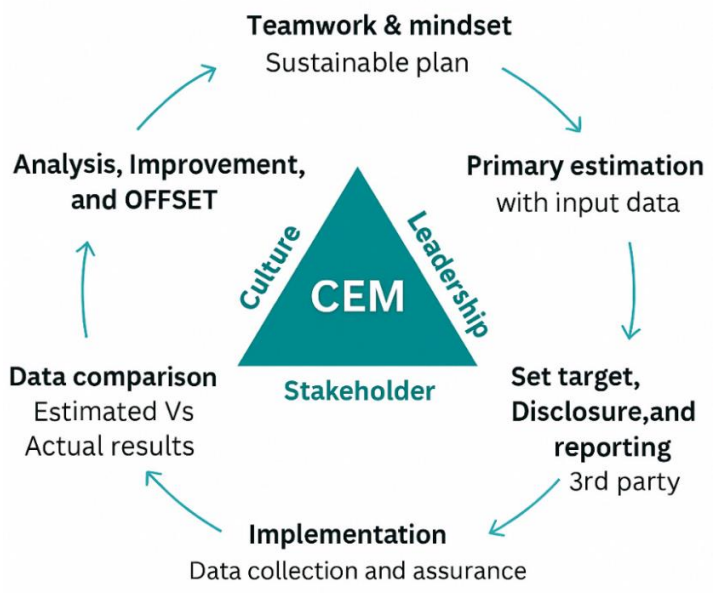
(2) การประมาณการเบื้องต้น (Primary Estimation) ด้วยการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการคาดการณ์ (Estimated Results) กิจกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในงาน ได้แก่ อาหาร การใช้พลังงานไฟฟ้า ของที่ระลึก การเดินทางของผู้เข้าร่วม และของเสียหลังการจัดงาน

(3) การกำหนดเป้าหมาย การเปิดเผย และการรายงาน (Set Target, Disclosure, and Reporting) โดยกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยคาร์บอน และจัดทำรายงานการดำเนินงาน โดยบุคคลที่สาม (3rd Party) เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและเปิดเผยข้อมูลให้โปร่งใสต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกฝ่าย

(4) การดำเนินการ (Implementation) ด้วยกลยุทธ์การลดการปล่อยคาร์บอนจากจัดกิจกรรม เก็บรวบรวมข้อมูล และตรวจสอบ (Data Collection and Assurance) เพื่อให้การดำเนินการสอดคล้องกับเป้าหมายการลดการปล่อยคาร์บอน

(5) การเปรียบเทียบข้อมูล (Data Comparison) โดยการเปรียบเทียบข้อมูลจากการคาดการณ์และการดำเนินงานจริง (Actual Results) ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมทั้งหมด โดยวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเพื่อปรับปรุงกระบวนการในอนาคต

(6) การวิเคราะห์ ปรับปรุง และชดเชยคาร์บอน (Analysis, Improvement, and Offset) โดยวิเคราะห์เพื่อวางแผนปรับปรุงแนวทางลดการปล่อยคาร์บอนสำหรับการจัดกิจกรรมในอนาคต รวมทั้งใช้มาตรการชดเชยคาร์บอน (Carbon Offset) โดยการซื้อคาร์บอนเครดิตเพื่อชดเชยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการจัดกิจกรรมตามกลไกของตลาดคาร์บอนภายในประเทศไทย ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมนับได้เท่ากับศูนย์ หรือกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติสำหรับกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

กิจกรรมวิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน 2025 มีผู้เข้าร่วมงาน 5,967 คน พื้นที่จัดงาน 1.91 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 4) เส้นทางวิ่งระยะทาง 3.5 และ 10 กิโลเมตร บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและพื้นที่โดยรอบ



รูปที่ 4 พื้นที่จัดงาน

2. ผลการดำเนินกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัลภายใต้กรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติ

ผู้จัดกิจกรรมและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วนได้กำหนดให้กิจกรรมงานวิ่งมุ่งสู่การเป็นกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล โดยจัดตั้งคณะทำงานจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อดำเนินการตามกรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติและปรับทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องให้สอดคล้องกับเป้าหมายดังกล่าว โดยการประมาณค่าคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเบื้องต้นจากการคาดการณ์กิจกรรมต่าง ๆ ของผู้เข้าร่วมงาน มีค่าเท่ากับ 147.34 tCO_2e โดยผู้วิจัยร่วมกับทุกภาคส่วนได้เสนอแนวทางการจัดงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนที่ควบคุมได้ที่ได้รับการสนับสนุนจากองค์กรภายนอก และชดเชยคาร์บอนเครดิตด้วยกลไกของตลาดคาร์บอนในประเทศไทยเพื่อให้นับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับศูนย์หรือคาร์บอนนิวทรัล โดยแนวทางการจัดงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่

(1) การทดแทนปิโตรเลียมพลาสติก: ใช้แก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชีวภาพ (BioPBS) ที่สามารถย่อยสลายได้ 100% และไม่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติก

(2) การลดการเกิดขยะ: ปรับเปลี่ยนรูปแบบการแลกอาหารจากการใช้คูปองกระดาษเป็นชิปแลกอาหาร ซึ่งสามารถใช้ซ้ำในการจัดงานครั้งถัดไปได้ และหากไม่ถูกใช้งานสามารถส่งคืนได้ที่ตู้ปันชิป เพื่อให้คนอื่นใช้ต่อได้

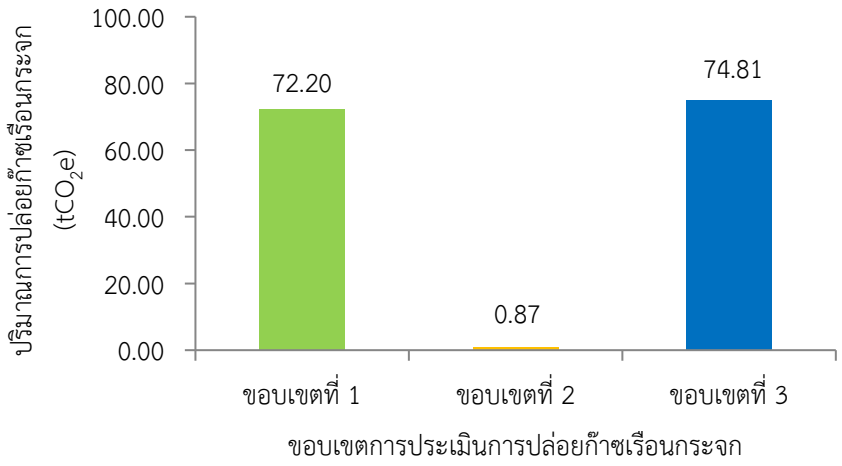
(3) การจัดพื้นที่สำหรับการคัดแยกขยะที่ต้นทาง: ตั้งถังสำหรับการคัดแยกขยะที่ถูกทิ้งภายในงาน โดยส่งเสริมให้เกิดการหมุนเวียนขยะเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ซึ่งเป็นการลดปริมาณขยะที่ถูกส่งไปจัดการด้วยวิธีฝังกลบซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ [8] ซึ่งขยะเปียก ทั่วไป และรีไซเคิลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมงานวิ่งจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อทั้งหมด

แนวทางการจัดงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมถูกดำเนินการร่วมกับการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากกิจกรรมจริงของผู้เข้าร่วม เพื่อคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม ซึ่งผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างค่าคาดการณ์และค่าจริง พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทุกขอบเขต (147.87 tCO_2e) มีค่ามากกว่าการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (147.34 tCO_2e) จากการจัดกิจกรรมอยู่เท่ากับ 0.530 tCO_2e ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.36% โดยแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของวิธีการประมาณค่าที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่านี้อาจส่งผลต่อการใช้ข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อสาธารณะ จึงมีความจำเป็นในการตรวจวัดและติดตามผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจริงจากกิจกรรมตามกรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติเพื่อขับเคลื่อนการดำเนินกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล

ตารางที่ 1 บัญชีรายการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขต	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ที่มาของข้อมูล	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$)
1	อาหาร	ชุด	29,550	บันทึกการสั่งซื้อ	72,197
2	การใช้ไฟฟ้าในงาน	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	1,736	มิเตอร์ไฟฟ้า	868
	ยานพาหนะส่วนบุคคล	กิโลเมตร	53,171	แบบสอบถาม	8,942
	แท็กซี่	กิโลเมตร	1,068	แบบสอบถาม	203
	รถโดยสารประจำทาง	กิโลเมตร	13,600	แบบสอบถาม	409
	จักรยานยนต์	กิโลเมตร	2,093	แบบสอบถาม	121
	ถ้วยและเหรียญรางวัล	กิโลกรัม	434	การชั่งน้ำหนัก	803
3	กระเป๋าผ้า	ใบ	5,800	บันทึกการสั่งซื้อ	12,992
	เบอร์วิ่งติดเสื้อ	กิโลกรัม	17	การชั่งน้ำหนัก	36
	เสื้อสำหรับการวิ่งผ้าฝ้าย	ตัว	5,500	บันทึกการสั่งซื้อ	47,850
	เหรียญแลกอาหาร	กิโลกรัม	36	การชั่งน้ำหนัก	68
	เสื้อผู้พิชิตมาราธอน	กิโลกรัม	212	การชั่งน้ำหนัก	2,745
	ขยะเปียก ทั่วไป และรีไซเคิล	กิโลกรัม	1,273	การชั่งน้ำหนัก	1,273
	รถบรรทุกขนส่ง	ตันกิโลเมตร	6,914	บันทึกการขนส่ง	642

จากการบันทึกข้อมูลเพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรม (ตารางที่ 1) พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทุกขอบเขตเท่ากับ 147.87 tCO_2e (รูปที่ 5) โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยต่อผู้เข้าร่วมกิจกรรมเท่ากับ 0.025 tCO_2e เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมงานวิ่งนี้กับกรณีศึกษาการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการด้านพลังงานระหว่างประเทศ ERC Forum 2024 ที่จัดขึ้นในประเทศไทย พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมงานวิ่งต่อบุคคล น้อยกว่าการจัดกิจกรรม ERC Forum 2024 (0.078 tCO_2e ต่อคน) ซึ่งเป็นกิจกรรมการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการด้านพลังงานระดับนานาชาติที่จัดขึ้น ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ โดยมีปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักจากกิจกรรมการเดินทางของผู้เข้าร่วม (92.82%) [9] โดยการจัดกิจกรรม ERC Forum 2024 มีรูปแบบการจัดกิจกรรมเป็นพื้นที่ปิด ซึ่งแตกต่างกับกิจกรรมงานวิ่งที่งานวิจัยนี้ศึกษา อย่างไรก็ตาม พบว่ากิจกรรมงานวิ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดจากขอบเขตที่ 3 ปริมาณ 74.81 tCO_2e (50.59%) โดยปัจจัยหลักเกิดจากอุปกรณ์สำหรับการจัดกิจกรรมและการเดินทางของผู้เข้าร่วมงานเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ การจัดกิจกรรมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดจากขอบเขตที่ 1 ปริมาณ 72.20 tCO_2e (48.82%) โดยปัจจัยเกิดจากการบริโภคอาหารภายในกิจกรรม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ MacCullough และคณะ [10] ที่พบว่าขอบเขตที่ 3 เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักสำหรับการจัดกิจกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการควบคุมกิจกรรมของผู้เข้าร่วม จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอให้มีปรับเปลี่ยนรูปแบบของการจัดกิจกรรมงานวิ่งในอนาคตสำหรับรายการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 1 และ 2 ที่ผู้จัดงานสามารถควบคุมกิจกรรมได้ ดังนี้ (1) การปรับลดจำนวนของชุดอาหารให้เหมาะสมต่อจำนวนคนที่มาเข้าร่วมงาน เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการประกอบอาหาร (2) ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็น (3) ลดการใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นและใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอุปกรณ์การจัดกิจกรรม และ (4) ส่งเสริมการเดินทางโดยขนส่งสาธารณะ นอกจากนี้ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการจัดกิจกรรมงานวิ่งนี้จะถูกชดเชยคาร์บอนเครดิตจากโครงการผลิตพลังงานชีวมวลมิตรผล (ด่านช้าง) ส่วนที่ 2 ตามกลไกตลาดคาร์บอนของประเทศไทย ส่งผลให้กิจกรรม วิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน 2025 บรรลุเป้าหมายการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล



รูปที่ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละขอบเขต

สรุป

วิศวะ จุฬาฯ มินิมาราธอน 2025 ประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดกรอบแนวคิดเชิงปฏิบัติ เพื่อขับเคลื่อนการดำเนินกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล โดยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมที่ต้นทางให้ได้มากที่สุด ด้วยการทดแทนปิโตรเลียมพลาสติก การลดการเกิดขยะ และการจัดพื้นที่สำหรับการคัดแยกขยะที่ต้นทาง จากนั้นชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดกิจกรรมด้วยการชดเชยคาร์บอนเครดิตตามกลไกของตลาดคาร์บอนของประเทศไทย โดยทำให้ก๊าซเรือนกระจกสุทธิลดลงเท่ากับศูนย์ ส่งผลให้กิจกรรมดังกล่าวบรรลุเป้าหมายกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัล นอกจากนี้กิจกรรมดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมแรงจูงใจและขับเคลื่อนการเติบโตของตลาดคาร์บอนเครดิตภาคสมัครใจในประเทศไทยให้เพิ่มมากขึ้น และเป็นแนวทางอ้างอิงในการจัดกิจกรรมคาร์บอนนิวทรัลในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

[1] Du, L., et al., *System dynamic modeling of urban carbon emissions based on the regional National Economy and Social Development Plan: A case study of Shanghai city.* Journal of Cleaner Production, 2018. 172: p. 1501-1513.

[2] Limited, T.B.C. *TBC at WE CAN RUN | FUND FOR LEGS Charity Walk-Run Event*. 2024 [15 March 2025]; Available from: https://thaibeveragecan.com/tbc-at-we-can-run-fund-for-legs-charity-walk-run-event/.

[3] การเงินธนาคาร. อีเวนต์วิ่งไทย ติดท็อป *15* ของโลก จุดพลุท่องเที่ยวเชิงกีฬา ดึงเงินต่างชาติเข้าประเทศ. 2023 [เข้าถึงเมื่อ 22 มี.ค. 2025]; Available from: https://moneyandbanking.co.th/2023/51419/.

[4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, การดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. 2023.

[5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. กิจกรรมชดเชยคาร์บอนคืออะไร. 2023 [เข้าถึงเมื่อ 19 มี.ค. 2025]; Available from: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=WTI5dVkyVndkRjl2Wm1aelpYUjBhVzVu.

[6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, คู่มือการทำกิจกรรมชดเชยคาร์บอนสำหรับการจัดงานอีเว้นท์. 2015.

[7] Kiehle, J., et al., *Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu.* J Environ Manage, 2023. 329: p. 117056.

[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. *Emission Factor (CFP).* 2021 [เข้าถึงเมื่อ 25 มี.ค. 2025]; Available from: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9.

[9] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. สรุปประเด็นสำคัญจากงานสัมมนาเชิงวิชาการ *ERC Forum 2024*. 2024 [เข้าถึงเมื่อ 25 ก.พ. 2025]; Available from: https://www.erc.or.th/th/energy-articles/3086?utm_source=chatgpt.com.

[10] McCullough, B.P., et al., *Sport Events and Emissions Reporting: An Analysis of the Council for Responsible Sport Standard in Running Events.* Sustainability, 2023. 15(19).

20R1-07

การประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญเร่งด่วนของแผนโครงการลดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่จังหวัดพะเยา

Assessment to Determine Urgent Plan Priorities Project to Reduce Greenhouse Gases in Phayao Province

ปริญญา โศภิตภิญโญ[1] สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[2*] ชลลดา กำใจ[3] ทรงกรด มูลเทพ[4] และ วิมลรัตน์ ศีติสาร[5]
Parinya Sopitpinyo[1] Sukthai Pongpattanasiri[2*] Chonlada Kajai[3] Songkrod Moontep[4] and Wimonrat Sitisara[5]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา; [2]อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
[34] สมาคมพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียวแห่งชุมชนอาเซียน
[5]นักวิจัย คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
*โทรศัพท์ : 086-4291548, E-mail : sukthai_p@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา เพื่อประเมินคาร์บอนระดับจังหวัดของจังหวัดพะเยา จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดพะเยาในปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีการประเมินใน 2 ระดับ ได้แก่ ระดับ Basic และระดับ Basic+ โดยระดับ Basic พบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 667,981 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือประมาณ 1 ตันต่อประชากรหนึ่งคน ขณะที่ระดับ Basic+ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลละเอียดและครอบคลุมมากกว่า พบว่ามีการปล่อยก๊าซสูงถึง 5,093,153 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือเฉลี่ย 10.78 ตันต่อคน หากคำนวณจากทะเบียนราษฎร์ และ 8.28 ตันต่อคน หากคิดจากประชากรรวมทั้งหมด ในภาพรวม จังหวัดพะเยามีแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักมาจากภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือ AFOLU ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 86.82% ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือ ภาคการจัดการของเสีย ภาคพลังงาน และภาคการขนส่ง ส่วนภาคอุตสาหกรรมไม่พบการปล่อยในปีนั้น

การปล่อยก๊าซในจังหวัดพะเยาส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมการใช้ที่ดินและภาคเกษตรกรรม ดังนั้น การบริหารจัดการพื้นที่และกิจกรรมการเกษตรอย่างยั่งยืนจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดในระยะยาว

คำสำคัญ : คาร์บอนเมือง; จังหวัดพะเยา

Abstract

This study aimed to assess the provincial-level carbon emissions of Phayao Province. According to the greenhouse gas emissions assessment in 2019, two levels of evaluation were conducted: Basic and Basic+. The Basic level revealed approximately 667,981 tons of carbon dioxide equivalent emissions, or around 1 ton per person. In contrast, the more detailed and comprehensive Basic+ assessment reported emissions as high as 5,093,153 tons of carbon dioxide equivalent, averaging 10.78 tons per person based on registered population data, and 8.28 tons per person when calculated using the total population.

Overall, the primary source of greenhouse gas emissions in Phayao Province came from the agriculture, forestry, and other land use (AFOLU) sector, accounting for 86.82% of total emissions. This was followed by the waste management sector, the energy sector, and the transportation sector. Notably, there were no emissions reported from the industrial sector for that year.

Most emissions in Phayao Province were generated from land use activities and agricultural practices. Therefore, sustainable land management and agricultural practices are key factors in reducing long-term greenhouse gas emissions in the province.

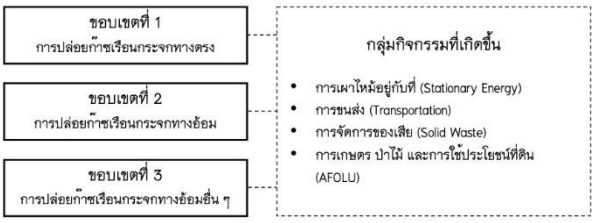
Keywords : Urban Carbon; Phayao Province

บทนำ

ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 20 ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 2000 (พ.ศ. 2543) มาตรการและพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) ของประเทศไทย ภายใต้การดำเนินงานตามยุทธศาสตร์การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อให้จังหวัดและกลุ่มจังหวัดสามารถบริหารงาน แก้ไขปัญหา พัฒนาพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับศักยภาพของจังหวัด นำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนและสร้างโอกาสการเป็นเมืองคาร์บอนต่ำภายในจังหวัดพะเยา โดยความร่วมมือของภาคธุรกิจ ภาครัฐ ชุมชน ภูมิรัฐศาสตร์ ความพร้อมและความร่วมในมิติต่างๆ สร้างกลไกและการขับเคลื่อน Carbon offset และ สร้าง Base line Emissions สู่การมีกลยุทธ์เศรษฐกิจสีเขียว ตลาดคาร์บอนเครดิต การท่องเที่ยวและคุณภาพชีวิต โดยมีองค์กรร่วมมือในการดำเนินกิจกรรม ประกอบกับในแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 13 มุ่งสร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนบนสังคมเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) และรักษาและเพิ่มพื้นที่สีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมเศรษฐกิจและ สร้างกลยุทธ์ Green supply chain สร้างกลยุทธ์เศรษฐกิจสีเขียวองค์กร และสิทธิประโยชน์การลงทุน เพื่อการส่งเสริมกิจกรรมลดการปลดปล่อยคาร์บอนและเชื่อมโยงพื้นที่กักเก็บคาร์บอนและการชดเชยคาร์บอน อย่างมีส่วนร่วมและCarbon Co-benefit ภายในจังหวัดพะเยา เพื่อสร้างนิเวศเศรษฐกิจใหม่ของจังหวัดเป็นจังหวัดคาร์บอนต่ำที่น่าอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทยและรองรับการพัฒนาแผนงานด้านการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศระดับจังหวัดของจังหวัดพะเยาและการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Carbon neutrality) จาก COP26 ของประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจก



ภาพที่ 1

1.1 ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง

1) กลุ่มกิจกรรมการเผาไหม้แบบอยู่กับที่ (Stationary Energy)

1.1) การใช้พลังงานไฟฟ้าทุกภาคส่วน จัดเก็บข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การใช้เชื้อเพลิงในส่วนที่พักอาศัย ไม่รวมการใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ

-ปริมาณการใช้ก๊าซLPG

-การใช้เชื้อเพลิงจากฟืน

-การใช้เชื้อเพลิงจากถ่านไม้

3) การเชื้อเพลิงในหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ประกอบไปด้วยการใช้น้ำมันและเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ จัดเก็บข้อมูลจากจังหวัด

- ปริมาณการใช้น้ำมันประเภทต่าง เช่น ดีเซล เบนซิน LPG NGV
- จำนวนพาหนะในองค์กรภาครัฐละเอกชน ในจังหวัดพะเยา
- จำนวนเที่ยว/วัน
- เส้นทาง (ต้นทาง-ปลายทาง)

2.) กลุ่มกิจกรรมการจัดการของเสีย (Solid Waste)

2.1) การจัดการของเสียด้วยวิธีการฝังกลบ/เทกอง จัดเก็บข้อมูลจากจังหวัด

- ปริมาณขยะ
-องค์ประกอบขยะ(ร้อยละโดยน้ำหนัก)

2.2) ตัวอย่างการจัดการน้ำเสีย จัดเก็บข้อมูลจากการบำบัดน้ำเสียของทางจังหวัด

-ระบบบำบัดน้ำเสีย
-ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ
-ค่าBOD ของน้ำเสีย

4) กลุ่มกิจกรรมการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (AFOLU)

4.1) การเพาะปลูกข้าวภายในเขตจังหวัด จัดเก็บข้อมูลจากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

-พื้นที่เพาะปลูกข้าว
-ประเภทของนาข้าว
-จำนวนครั้งที่ปลูก
-ระยะเวลาการเพาะปลูก

2.การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเมืองสามารถประเมินได้จากการตรวจวัดโดยตรงการคำนวณข้อมูลที่มีอยู่และการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณ ซึ่งวิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกทั่วไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1[1]

$$GHG\ Emission = Activity\ Data\,(AD) \times Emission\ Factor\,(EF) \quad (1)$$

โดยที่

GHG Emission	คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
AD	คือ ปริมาณการใช้พลังงานหรือกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก
EF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการทดลองและวิจารณ์

จังหวัดพะเยามีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2 ระดับ คือ Basic และ Basic+ โดยระดับ Basic มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 667,981 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็น 1 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหัวประชากรตามทะเบียนราษฎร์ และ 1.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหัวประชากรทั้งหมด

ส่วนการรายงานระดับ Basic+ จังหวัดพะเยามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 5,093,153 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็น 10.78 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหัวประชากรตามทะเบียนราษฎร์ และ 8.28 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหัวประชากรทั้งหมด

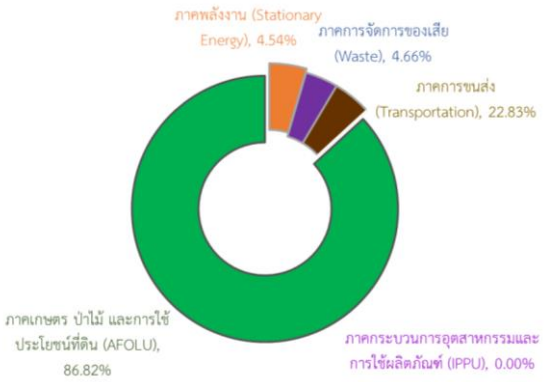
จากการพิจารณาข้อมูลที่มี จังหวัดพะเยามีข้อมูลเพียงพอสำหรับการรายงานในระดับ Basic+ ซึ่งมีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า จึงมีการเสนอให้จังหวัดพะเยารายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยพิจารณาเฉพาะแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 3 ทั้งในระดับ Basic และ Basic+

เมื่อวิเคราะห์ผลการรายงานระดับ Basic+ พบว่าภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (AFOLU) มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 86.82 (4,421,651 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) รองลงมาคือ ภาคการจัดการของเสีย (ร้อยละ 4.66 หรือ 237,121 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ภาคพลังงาน (ร้อยละ 5 หรือ 230,997 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) และภาคการขนส่ง (ร้อยละ 3.99 หรือ 203,384 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

ตารางที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดพะเยา พ.ศ. 2562

กลุ่มของกิจกรรม	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (t CO_2e)				
	ขอบเขตที่ 1	ขอบเขตที่ 2	ขอบเขตที่ 3	BASIC	BASIC+
ภาคพลังงาน (Stationary Energy)	35,098	195,899	0	230,997	230,997
ภาคการขนส่ง (Transportation)	199,863	0	3,521	199,863	203,384
ภาคการจัดการของเสีย (Waste)	237,121		0	237,121	237,121
ภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (IPPU)	0				0
ภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (AFOLU)	4,421,651				4,421,651

สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดพะเยา พ.ศ.2562 พบว่า ภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด อยู่ที่ 86.82% รองลงมาคือ ภาคการขนส่ง เท่ากับ 22.83% ภาคการจัดการของเสีย เท่ากับ 4.66% ภาคพลังงาน เท่ากับ 4.54% และภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (IPPU) เท่ากับ 0.00% ตามลำดับสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดพะเยา



รูปที่ 1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดพะเยา พ.ศ. 2562

1.ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคพลังงาน (Stationary Energy)

ในปี พ.ศ. 2562 ภาคพลังงานของจังหวัดพะเยามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1.พลังงานในที่พักอาศัย มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 89,923 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.93 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือร้อยละ 1.77 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด โดยมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซหุงต้ม (LPG) ในครัวเรือน

2.พลังงานในธุรกิจการค้าและหน่วยงานรัฐ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 75,480 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 32.68 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือร้อยละ 1.48 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด โดยมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซหุงต้ม (LPG) น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน ในอาคารพาณิชย์ ธุรกิจเอกชน และหน่วยงานรัฐ

3.พลังงานในอุตสาหกรรมและการก่อสร้าง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 62,885 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 27.22 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือร้อยละ 1.23 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด ซึ่งเป็นการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และก๊าซหุงต้ม (LPG) ในกระบวนการผลิต (ไม่รวมการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าและความร้อน)

4.พลังงานในการเกษตร ป่าไม้ และประมง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,217 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 0.53 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือร้อยละ 0.02 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด ซึ่งมาจากการใช้พลังงานในกิจกรรมทางการเกษตร ป่าไม้ และการประมง

5.พลังงานในแหล่งที่ไม่สามารถระบุได้ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,493 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 0.65 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน หรือร้อยละ 0.03 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานของกิจกรรมที่ไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มอื่น ๆ ได้ เช่น หน่วยงานทหาร และไฟถนน/สาธารณะ

2.ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการขนส่ง (Transportation)

ภาคการขนส่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และตามระเบียบวิธี GPC สามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มย่อย ได้แก่ (1) การขนส่งทางถนน (2) การขนส่งทางราง (3) การขนส่งทางน้ำ (4) การขนส่งทางอากาศ และ (5) การขนส่งทางบกที่ไม่ใช่ถนน

ในปี พ.ศ. 2562 การขนส่งทางถนนในจังหวัดพะเยาปล่อยก๊าซเรือนกระจก 203,385 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น น้ำมันดีเซลหมุน น้ำมันเบนซิน ก๊าซ LPG และแก๊สโซฮอล์ชนิดต่าง ๆ โดยคิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในภาคการขนส่ง (ร้อยละ 100) และคิดเป็นร้อยละ 3.99 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัดพะเยา

3.ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการจัดการของเสีย (Waste)

ของเสียในเขตเมือง ทั้งจากชุมชนและอุตสาหกรรม (ทั้งขยะมูลฝอยและน้ำเสีย) เมื่อถูกจัดการหรือทิ้งไว้ จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ตามระเบียบวิธีการรายงาน GPC ภาคการจัดการของเสียแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ (1) การจัดการด้วยวิธีฝังกลบ (2) การจัดการด้วยวิธีทางชีวภาพ (3) การจัดการด้วยวิธีการเผาไหม้ และ (4) การบำบัดน้ำเสียและการปล่อยทิ้ง ในปี พ.ศ. 2562 การจัดการของเสียในจังหวัดพะเยาปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก ๆ 2 วิธี ได้แก่

1.การจัดการของเสียด้วยวิธีฝังกลบ ปล่อยก๊าซมีเทน (CH4) คิดเป็น 176,962 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 74.68 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการจัดการของเสีย และร้อยละ 3.47 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด การประเมินใช้วิธี First Order Decay (FOD) โดยพิจารณาปริมาณขยะฝังกลบต่อปี ซึ่งจะเริ่มปล่อยก๊าซในปีที่สอง

2.การจัดการน้ำเสียด้วยการบำบัดในพื้นที่ ปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) คิดเป็น 60,158 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25.37 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการจัดการของเสีย และร้อยละ 1.18 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของจังหวัด การพิจารณารวมถึงบ่อเกรอะ น้ำเสียที่ไม่เข้าระบบบำบัด ระบบบำบัดน้ำเสีย และถังย่อยกากตะกอนสลัดจ์

4. ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (IPPU)

ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกลุ่มกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์จะมาจากกระบวนการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานหรือการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งตามระเบียบวิธีรายงานของ GPC แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ประกอบด้วย (1) กระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial Process) และ (2) การใช้ผลิตภัณฑ์ (Product Use) จากการลงพื้นที่สำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลและขอคำแนะนำเกี่ยวกับโรงงานอุตสาหกรรมที่ดำเนินการภายในจังหวัดกับสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพบว่า ในปี พ.ศ 2562 จังหวัดไม่มีกิจกรรมในภาคกระบวนการอุตสาหกรรมการผลิต จึงไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมนี้

5.ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (AFOLU)

กิจกรรมในภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (AFOLU) ในจังหวัดพะเยาปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก 3 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N2O) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย

1.การจัดการปศุสัตว์ (Livestock) ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 68,314 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (1.54% ของภาค AFOLU, 1.34% ของทั้งหมด) จากการหมักในลำไส้และการจัดการปุ๋ยคอก

2.การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land) ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2,849,611 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (64.45% ของภาค AFOLU, 55.95% ของทั้งหมด) โดยพิจารณาจากพื้นที่ป่า พื้นที่เกษตร ทุ่งหญ้า พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่อื่น ๆ

3.รวมแหล่งการปล่อยอื่น ๆ และการปล่อยที่ไม่ใช่ CO2 จากพื้นดิน (Aggregate sources and non-CO2 emissions sources on land) ในปี 2562 จังหวัดพะเยามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก

1.การจัดการเพาะปลูกข้าว 1,503,726 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (34.01% ของภาค AFOLU, 29.52% ของทั้งหมด)

2.การเผาไหม้ชีวมวล (พื้นที่เสียหายจากไฟป่าและการเผาพื้นที่เกษตร) 434,550 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (9.83% ของภาค AFOLU, 8.53% ของทั้งหมด

เมื่อพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกลุ่มย่อยของจังหวัดพะเยาในปี พ.ศ. 2562 พบว่า

1.การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด คิดเป็นร้อยละ55.95 ของทั้งหมด

2.การปลูกข้าว มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองลงมา คิดเป็นร้อยละ 13.55

3.การเผาไหม้ชีวมวล มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในลำดับถัดมา คิดเป็นร้อยละ 8.53

ส่วนลำดับที่ 4 ถึง 15 ได้แก่ ดินที่มีการจัดการ การขนส่งทางถนน การจัดการของเสียด้วยวิธีฝังกลบ พลังงานในที่พักอาศัย พลังงานในธุรกิจการค้าและการก่อสร้าง การจัดการน้ำเสียด้วยการบำบัด การใช้ปุ๋ยยูเรีย พลังงานในแหล่งที่ไม่สามารถระบุได้ พลังงานในการเกษตร ป่าไม้ และประมง และการใช้ปูน โดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ร้อยละ 7.35 ถึง 0.01 ตามลำดับ

สรุป

จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของจังหวัดพะเยาในปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีการประเมินใน 2 ระดับ ได้แก่ ระดับ Basic และระดับ Basic+ โดยระดับ Basic พบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 667,981 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือประมาณ 1 ตันต่อประชากรหนึ่งคน ขณะที่ระดับ Basic+ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลละเอียดและครอบคลุมมากกว่า พบว่ามีการปล่อยก๊าซสูงถึง 5,093,153 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือเฉลี่ย 10.78 ตันต่อคน หากคำนวณจากทะเบียนราษฎร์ และ 8.28 ตันต่อคน หากคิดจากประชากรรวมทั้งหมด ในภาพรวม จังหวัดพะเยามีแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักมาจากภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือ AFOLU ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 86.82% ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือ ภาคการจัดการของเสีย ภาคพลังงาน และภาคการขนส่ง ส่วนภาคอุตสาหกรรมไม่พบการปล่อยในปีนั้น

ในรายละเอียดของแต่ละภาค ภาคพลังงานพบว่าการใช้พลังงานในครัวเรือนและหน่วยงานรัฐมีสัดส่วนสูงสุด ขณะที่ภาคขนส่งทั้งหมดมาจากการขนส่งทางถนน ส่วนภาคของเสียพบว่าการฝังกลบขยะเป็นแหล่งปล่อยหลัก และในภาค AFOLU พบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการปลูกข้าวมีการปล่อยก๊าซสูงที่สุด เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จังหวัดพะเยาได้กำหนด 26 มาตรการลดก๊าซเรือนกระจก ครอบคลุมภาคพลังงาน ขนส่ง การเกษตร และป่าไม้ โดยตั้งเป้าลดการปล่อยก๊าซให้ได้ 422,380 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภายในปี พ.ศ. 2573 นอกจากนี้ ยังมีแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเน้นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เกษตรกรรม การท่องเที่ยว และสุขภาพของประชาชน

เพื่อให้แผนการดำเนินงานมีประสิทธิภาพ จังหวัดพะเยาจะมีการติดตามผลเป็นระยะ และปรับปรุงแผนให้สอดคล้องกับสถานการณ์ รวมถึงเลือกมาตรการที่มีผลกระทบเชิงบวกและสามารถดำเนินการได้จริง เช่น การเปลี่ยนไฟส่องสว่างเป็น LED และการส่งเสริมเกษตรปลอดภัย ซึ่งจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสร้างความยั่งยืนให้กับจังหวัดในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณหน่วยงานและบุคคลหลายฝ่ายที่มีส่วนสำคัญในการทำให้การวิจัยเรื่อง “การประเมินคาร์บอนระดับจังหวัด: กรณีศึกษาจังหวัดพะเยา” สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 และสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพะเยา ที่ให้ข้อมูลและสนับสนุนด้านวิชาการ รวมถึงให้คำแนะนำอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย ขอแสดงความขอบคุณต่อคณะอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถพัฒนาผลงานวิจัยนี้ให้มีคุณภาพและความถูกต้องตามหลักวิชาการ

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก.2565.ข้อกำหนดในการคำนวณรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

20R1-08

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อวางแผนการส่งเสริมมูลค่าเพิ่มในอุตสาหกรรมไม้ยางพาราและกักเก็บคาร์บอนในจังหวัดพะเยา

Spatial Analysis for Enhancing Value in the Rubberwood Industry and Carbon Sequestration in Phayao Province

ณัฐพงษ์ ฟองมณี[1], วิมลรัตน์ ศีติสาร[1],ทรงกรด มูลเทพ[2] และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[1]*

Nutthapong Fongmani[1], Wimonrat Sitisara[1], Sonkrod Moonthep[2] and Sukthai Pongpattanasiri[1*]

[1]คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ต.แม่กา อ.เมืองพะเยา จ.พะเยา 56000

[2]สมาคมพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียวแห่งชุมชนอาเซียน. 304 ต.แม่กา อ.เมืองพะเยา จ.พะเยา 56000

*โทรศัพท์ :0 5446 6666, โทรสาร : 0 5446 6704, E-mail : sukthai_p@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการวางแผนส่งเสริมมูลค่าเพิ่มของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราและการกักเก็บคาร์บอนในจังหวัดพะเยา ผลการวิจัยพบว่า ในปี 2566 จังหวัดพะเยามีพื้นที่เพาะปลูกยางพารารวม 125,285.26 ไร่ โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ถึง 23,908.12 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 59.54) อำเภอเชียงคำมีพื้นที่ปลูกมาก ที่สุด ส่วนอำเภอภูซางมีพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มากที่สุดปริมาตรไม้ยางพาราทั้งจังหวัดอยู่ที่ 2,921,652.26 ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่มีเอกสารสิทธิ์มีปริมาตรไม้ยางพารามากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสาร 557,537.36 ลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 19.08) โดยเฉพาะในช่วงอายุ 7–13 ปี ซึ่งคิดเป็น 1,573,286.13 ลูกบาศก์เมตร อำเภอภูซางมีปริมาตรไม้ยางพารามากที่สุด ขณะที่อำเภอภูกามยาวมีปริมาตรไม้ยางพาราน้อยที่สุด สำหรับการกักเก็บคาร์บอนพบว่าทั้งจังหวัดพะเยาสามารถกักเก็บได้รวม 3,661,516.08 tonCO2eq โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์สามารถกักเก็บได้มากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ถึง 695,133.51 tonCO2eq ยางพารางอายุ 16–23 ปีมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนสูงที่สุด โดยอำเภอภูซางมีการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด ขณะที่อำเภอภูกามยาวมีการกักเก็บน้อยที่สุด ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจชีวภาพควบคู่กับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ไม้ยางพารา; กักเก็บคาร์บอน; จังหวัดพะเยา; ข้อมูลเชิงพื้นที่

Abstract

This research aims to analyze spatial data for planning the value-added promotion of the rubberwood industry and carbon sequestration in Phayao Province. The results reveal that in 2023, Phayao had a total rubber plantation area of 125,285.26 rai. The area with land ownership documents exceeded that without documents by 23,908.12 rai (accounting for 59.54%). Chiang Kham District had the largest rubber plantation area, while Phu Sang District had the most land with ownership documentation. The total rubberwood volume in the province was 2,921,652.26 cubic meters, with areas holding land documents containing 557,537.36 cubic meters more than undocumented areas (19.08%), especially in plantations aged 7–13 years, which accounted for 1,573,286.13 cubic meters. Phu Sang District had the highest volume of rubberwood, while Phu Kam Yao District had the lowest. Regarding carbon sequestration, the total capacity across Phayao Province was 3,661,516.08 tonCO_2eq, with areas holding land documents sequestering

695,133.51 tonCO_2eq more than undocumented areas. Rubber trees aged 16–23 years showed the highest carbon sequestration potential. Phu Sang District sequestered the most carbon, while Phu Kam Yao District sequestered the least. These findings can be used for spatial planning to support the bioeconomy alongside sustainable natural resource management.

Keywords : Rubberwood; Carbon Sequestration; Phayao Province; Spatial Analysis

บทนำ

ปัจจุบันกระแส Green จาก Trend การบริโภคและผลิตสินค้าที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม พฤติกรรมการบริโภคสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยผู้บริโภคยุคใหม่นิยมใช้สินค้าที่ผลิตจากธรรมชาติ เนื่องจากคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้ยางพาราถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าทดแทนวัสดุสังเคราะห์ และสารเคมีต่าง ๆ มากขึ้น ประกอบกับมาตรฐานสินค้าที่ปลอดจากการตัดไม้ทำลายป่าเช่น EU Forestation-free Regulation (EUDR) และ Forest Stewardship Council (FSC) โดยสินค้ายางเป็นหนึ่งสินค้าที่โดนตรวจสอบว่าต้องไม่ได้มาจากสวนที่บุกรุกพื้นที่ป่า เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การจัดการทรัพยากรเหล่านี้ยังขาดแนวทางที่ครอบคลุมซึ่งคำนึงถึงทั้งมูลค่าทางเศรษฐกิจและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้อุตสาหกรรมไม้ยางพาราเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือซึ่งมีแนวโน้มการขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกยางพาราและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น

โดยจังหวัดพะเยาเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีการปลูกยางพาราในลักษณะพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ราบสูง และบริเวณต้นน้ำโดยเกษตรกรเริ่มมีการนำยางพารามาปลูกในพื้นที่อำเภอเมือง ปี พ.ศ.2533-2534 และมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปในพื้นที่อำเภอภูซาง โดยมีเกษตรกรจำนวน 4,345 ราย [1] ประกอบกับข้อมูล จังหวัดพะเยา ปี 2566 มีเนื้อที่ยืนต้น 153,801 ไร่ เนื้อที่กรีดได้ 146,875ไร่ ผลผลิต 34,188 ตัน และผลผลิตต่อเนื้อที่กรีดได้ 233 กิโลกรัมต่อไร่ของยางพารา [2] แต่ขณะเดียวกันก็เผชิญกับความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญระดับโลก จากรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจังหวัดพะเยา [3] พบว่า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 5,093,153 TonCO_2eq แหล่งปล่อยหลักมาจากภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (AFOLU) ร้อยละ 86.82 ของการปล่อยทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่มาจาก การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (64.45%) การปลูกข้าว (34.01%) และการเผาไหม้ชีวมวล (9.83%)

ดังนั้น การพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ยางพาราในจังหวัดพะเยา ควรคำนึงถึงแนวทางที่ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจแต่ยังต้องส่งเสริม การกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sequestration) และลดผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากผลการศึกษา [4] ต้นยางพาราที่มีอายุ 25 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ 8,719 KgCO_2eq/ไร่ และลดก๊าซเรือนกระจก 4,529 - 5,357 KgCO_2eq/ไร่ ทั้งนี้พื้นที่เพาะปลูกยางพาราจึงมีศักยภาพเป็น Carbon Sink หากมีการจัดการที่เหมาะสมและยังเป็นแหล่งชดเชยก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Analysis) จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ จากเหตุผลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อวางแผนการส่งเสริมมูลค่าเพิ่มในอุตสาหกรรมไม้ยางพาราและการกักเก็บคาร์บอนในจังหวัดพะเยา เพื่อสร้างแนวทางการพัฒนาที่สมดุลระหว่างเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1) รวบรวมข้อมูลด้านภูมิศาสตร์ ภูมิประเทศ รูปแบบการปลูก การจัดการพื้นที่สวนยางพารา จำนวนแปลง จำนวนพื้นที่ และข้อมูลพื้นฐาน ในพื้นที่ 9 อำเภอ ของจังหวัดพะเยา

2) คำนวณปริมาตรไม้ โดยวิธีการ Smalian Formula (Philip, 1994)

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตต้นยางพารา ได้แก่ ความสูงต้นด้วย hypsometer เส้นรอบวงลำต้น ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.30 ม. (diameter breast height; DBH) ด้วยตลับเมตรและคำนวณปริมาตรไม้ ดังนี้

2.1) คำนวณปริมาตรไม้ท่อนด้วยวิธี Smalian Formula [5]

เมื่อ ปริมาตรไม้ = $(\pi/4)[\frac{(D1)2+(Ds)2}{2}](H)$

โดยที่

Dl= เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัดด้านกว้าง (ม.)

Ds= เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัดด้านแคบ (ม.)

H= ความยาวของท่อนไม้ (ม.)

2.2) คำนวณปริมาตร ไม้ทั้งต้นด้วยสมการ $V= a+bD^2H$

โดยที่

V= ปริมาตร ไม้ (ลบ.ม.)

D= เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (ซม.)

H= ความสูง (ม.)

3) คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จากข้อมูลภาคสนามใช้ สมการแอลโลเมตรีของ Ogino et al. (1967) อ้างใน (Saengruksawong. C et al., 2012) [6]

ประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: AGB)

$WS = 0.0396\ D^2H^{0.9326}$

$WB = 0.003487D^2H^{1.0270}$

$WL = (28.0/W_{tc} + 0.025)^1$

$GB = (W_S + W_B + W_L)$

เมื่อ $W_{TC} = W_S + W_B$

หมายเหตุ

WS = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

WB = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)

WL = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

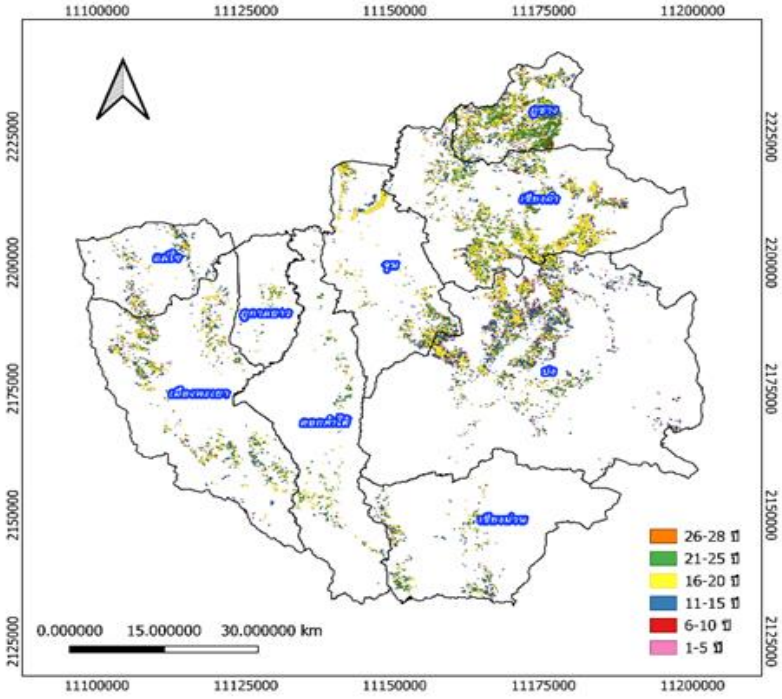
ผลการทดลองและวิจารณ์

1) ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดพะเยา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลปี พ.ศ. 2566 จังหวัดพะเยามีพื้นที่เพาะปลูกยางพารารวมทั้งสิ้น 125,285.26 ไร่ โดยอำเภอที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดคือ อำเภอเชียงคำ จำนวน 32,111.35 ไร่ รองลงมาคือ อำเภอปง 31,457.96 ไร่ อำเภอภูซาง 31,038.91 ไร่ อำเภอเมืองพะเยา 10,881.84 ไร่ และอำเภอจุน 8,297.29 ไร่ ตามลำดับ ส่วนอำเภอที่มีพื้นที่เพาะปลูกยางพาราน้อยที่สุดคือ อำเภอภูกามยาว มีจำนวนเพียง 562.54 ไร่ (ดังแสดงในรูปที่ 1)

เมื่อพิจารณาข้อมูลการถือครองเอกสารสิทธิ์ในพื้นที่เพาะปลูกยางพาราพบว่า พื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มีจำนวน 74,596.69 ไร่ ขณะที่พื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์มีจำนวน 50,688.57 ไร่ อำเภอที่มีพื้นที่ยางพาราที่มีเอกสารสิทธิ์มากที่สุดคือ อำเภอภูซาง จำนวน 25,140.51 ไร่ รองลงมาคือ อำเภอเชียงคำ 16,584.29 ไร่ อำเภอปง 10,173.54 ไร่ อำเภอเมืองพะเยา 9,030.57 ไร่ และอำเภอจุน 4,760.17 ไร่ ตามลำดับ ในทางกลับกัน อำเภอปงมีพื้นที่ยางพาราที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์มากที่สุด คือ 21,284.42 ไร่ รองลงมาคือ อำเภอเชียงคำ 15,527.06 ไร่ อำเภอภูซาง 5,898.40 ไร่ อำเภอจุน 3,537.12 ไร่ และอำเภอเมืองพะเยา 1,851.27 ไร่

โดยสรุป พื้นที่เพาะปลูกยางพาราที่มีเอกสารสิทธิ์มีมากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ถึง 23,908.12 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 59.54 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ขณะที่พื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์คิดเป็นร้อยละ 40.46 อำเภอปงเป็นอำเภอเดียวที่มีพื้นที่เพาะปลูกยางพาราที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์มากกว่าพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์ โดยมีความแตกต่างถึง 11,110.88 ไร่



รูปที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกยางพาราจังหวัดพะเยา

2) ข้อมูลปริมาตรไม้ยางพาราในพื้นที่จังหวัดพะเยา

จังหวัดพะเยามีปริมาตรไม้ยางพารารวมทั้งสิ้น 2,921,652.26 ลูกบาศก์เมตร โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์จำนวน 1,739,594.81 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 59.54 ของปริมาตรรวม และพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์จำนวน 1,182,057.45 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 40.46 ซึ่งปริมาตรไม้ยางพาราจากพื้นที่มีเอกสารสิทธิ์มีมากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ถึง 557,537.36 ลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 19.08 ของปริมาตรรวมทั้งหมด

จากข้อมูลการเพาะปลูกยางพาราในจังหวัดพะเยาพบว่า ต้นยางพาราจะถูกตัดฟันเมื่อมีอายุตั้งแต่ 25 ปีขึ้นไป เนื่องจากไม่สามารถให้น้ำยางได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [7], [8] ระบุว่าการให้ผลผลิตน้ำยางพาราจะลดลงเมื่อยางพารามีอายุ 26 ปี ดังนั้น จึงแบ่งช่วงอายุยางพาราสำหรับการคำนวณปริมาตรไม้เป็นช่วงละ 7 ปี เพื่อให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์การคิดคาร์บอนเครดิตในภาคการเกษตร ซึ่งกำหนดระยะเวลาคำนวณไว้ที่ 7 ปีเช่นกัน [7] ในช่วงอายุยางพาราระหว่าง 7–13 ปี พบว่ามีปริมาตรไม้ยางพารารวม 1,573,286.13 ลูกบาศก์เมตร แยกเป็นพื้นที่มีเอกสารสิทธิ์จำนวน 1,050,055.29 ลูกบาศก์เมตร และพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์จำนวน 523,230.84 ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มีปริมาตรมากกว่าถึง 526,824.45 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 18.03 ของปริมาตรไม้ยางพารารวมทั้งหมด

เมื่อพิจารณารายอำเภอ พบว่าอำเภอภูซางมีปริมาตรไม้ยางพาราสูงสุดอยู่ที่ 357,569.29 ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคืออำเภอเชียงคำ 241,942.67 ลูกบาศก์เมตร อำเภอปง 137,718.59 ลูกบาศก์เมตร อำเภอเมืองพะเยา 114,379.24 ลูกบาศก์เมตร และอำเภอจุน 82,089.66 ลูกบาศก์เมตร ส่วนอำเภอภูกามยาวมีปริมาตรน้อยที่สุด คือ 11,056.94 ลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้ แม้ยางพาราในแต่ละพื้นที่จะมีอายุเท่ากัน แต่ปริมาตรไม้ที่ได้อาจแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ การจัดการแปลงปลูก ธาตุอาหารในดิน และพันธุ์ยางที่ใช้ [9] โดยในจังหวัดพะเยา เกษตรกรนิยมปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM600 และ RRIT251

ตาราง 1 ข้อมูลปริมาตรไม้ยางพาราในพื้นที่จังหวัดพะเยา

	พื้นที่มีเอกสารสิทธิ์ (ลูกบาศก์เมตร)				พื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ (ลูกบาศก์เมตร)			
อำเภอ	ปีที่ 0-6	ปีที่ 7-13	ปีที่ 14-20	ปีที่ 21-26	ปีที่ 0-6	ปีที่ 7-13	ปีที่ 14-20	ปีที่ 21-26
เมืองพะเยา	9,217.00	114,379.24	75,737.06	11,259.60	778.19	15,653.08	17,459.45	9,280.89
จุน	5,299.47	82,089.66	19,792.38	3,825.65	5,332.35	40,257.32	29,436.37	7,459.60
เชียงคำ	31,934.64	241,942.67	89,995.61	22,872.72	15,216.07	199,560.20	103,375.93	43,938.84
เชียงม่วน	4,457.38	27,566.57	16,378.57	2,585.72	1,434.18	6,149.02	9,599.68	4,193.17
ดอกคำใต้	4,878.08	40,954.12	8,805.40	242.06	1,660.62	11,111.51	5,885.50	395.27
ปง	11,402.55	137,718.59	70,084.76	18,041.05	16,753.55	172,890.75	187,221.59	119,486.78
แม่ใจ	4,657.70	36,778.21	35,833.05	11,524.28	262.35	6,256.06	11,257.96	2,146.37
ภูซาง	75,710.25	357,569.29	103,704.74	49,292.42	18,857.25	71,352.90	30,109.85	17,230.68
ภูกามยาว	139.92	11,056.94	1,815.00	52.47	0.00	0.00	54.10	0.00
รวม	**147,696.99**	**1,050,055.29**	**422,146.57**	**119,695.96**	**60,294.56**	**523,230.84**	**394,400.43**	**204,131.62**

3) ข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนยางพาราในพื้นที่จังหวัดพะเยา

จากการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นยางพาราในพื้นที่จังหวัดพะเยา พบว่ามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 3,661,516.08 tonCO_2eq โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์จำนวน 2,178,324.80 tonCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 59.49 ของปริมาณทั้งหมด และพื้นที่ที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์จำนวน 1,483,191.29 tonCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 40.51 โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์สามารถกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ 695,133.51 tonCO_2eq

การคำนวณปริมาณคาร์บอนอ้างอิงจากเครื่องมือ T-VER-S-TOOL-01-01 เวอร์ชัน 1 [10] ซึ่งกำหนดระยะเวลาการคิดคาร์บอนเครดิตสำหรับภาคการเกษตรไว้ที่ 7 ปี ต่อรอบ ดังนั้น ในการประเมินครั้งนี้จึงแบ่งช่วงอายุของต้นยางพาราออกเป็นช่วงละ 7 ปี เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละช่วงอายุ

ผลการวิเคราะห์พบว่า ต้นยางพาราในช่วงอายุ 16–23 ปี มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด โดยสามารถกักเก็บได้ 1,645,194.56 tonCO_2eq ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [11] ที่ระบุว่าในช่วงอายุ 15–27 ปี ลำต้นของยางพารามีอัตราการเจริญเติบโตสูงถึงร้อยละ 30 และมีค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ (Relative Growth Rate: RGR) ของส่วนเหนือดินสูงกว่าค่าทั้งต้นโดยรวมประมาณ 30% ในช่วงอายุ 9–27 ปี

เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงอายุ 16–23 ปี พบว่า พื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ 1,136,504.24 tonCO_2eq ขณะที่พื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์กักเก็บได้เพียง 508,690.32 tonCO_2eq ซึ่งพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์กักเก็บได้มากกว่าถึง 627,813.92 tonCO_2eq หรือคิดเป็นร้อยละ 17.15 ของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในช่วงดังกล่าว ในระดับพื้นที่ย่อย อำเภอภูซาง มีการกักเก็บคาร์บอนจากต้นยางพารามากที่สุดคือ 419,260.33 tonCO_2eq รองลงมาคือ อำเภอเชียงคำ 279,160.09 tonCO_2eq อำเภอเมืองพะเยา 108,848.70 tonCO_2eq อำเภอจุน 66,688.32 tonCO_2eq และ อำเภอดอกคำใต้ 51,624.10 tonCO_2eq ตามลำดับ ขณะที่ อำเภอภูกามยาว มีการกักเก็บคาร์บอนน้อยที่สุด คือ 12,939.11 tonCO_2eq

ตาราง 2 ข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนยางพาราในพื้นที่จังหวัดพะเยา

	พื้นที่มีเอกสารสิทธิ์ ($tonCO_2eq$)			พื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ ($tonCO_2eq$)		
อำเภอ	0-7 ปี	8-15 ปี	16-23ปี	0-7 ปี	8-15 ปี	16-23ปี
เมืองพะเยา	15,753.09	140,175.57	108,848.70	12,964.22	28,076.29	13,498.30
จุน	5,198.15	67,814.68	66,688.32	10,700.57	40,468.32	51,712.13
เชียงคำ	30,057.25	177,643.22	279,160.09	64,798.94	194,820.44	194,222.84
เชียงม่วน	3,275.40	28,418.37	32,894.27	5,508.62	14,999.23	6,334.85
ดอกคำใต้	306.63	17,586.64	51,624.10	500.70	11,742.15	11,814.23
ปง	25,380.18	139,125.13	134,325.77	163,282.94	327,655.61	134,427.97
แม่ใจ	15,049.15	65,990.88	30,763.55	2,819.30	17,768.61	4,316.38
ภูซาง	63,686.76	242,749.68	419,260.33	23,251.23	55,075.26	92,363.60
ภูกามยาว	66.47	3,543.32	12,939.11	0.00	68.53	0.00
รวม	**158,773.07**	**883,047.49**	**1,136,504.24**	**283,826.52**	**690,674.44**	**508,690.32**

สรุป

ในปี 2566 จังหวัดพะเยามีพื้นที่เพาะปลูกยางพาราทั้งหมด 125,285.26 ไร่ โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มีจำนวนมากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ 23,908.12 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 59.54 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด อำเภอที่มีพื้นที่เพาะปลูกยางพารามากที่สุดคือ อำเภอเชียงคำ จำนวน 32,111.35 ไร่ ส่วนอำเภอที่มีพื้นที่เพาะปลูกยางพาราที่มีเอกสารสิทธิ์มากที่สุดคือ อำเภอภูซาง จำนวน 25,140.51 ไร่

ปริมาตรไม้ยางพาราทั้งหมดในจังหวัดพะเยาอยู่ที่ 2,921,652.26 ลูกบาศก์เมตร โดยปริมาตรไม้จากพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ถึง 557,537.36 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 19.08 ของปริมาตรไม้ทั้งหมด ยางพาราในช่วงอายุ 7–13 ปี มีปริมาตรไม้รวม 1,573,286.13 ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์มีปริมาตรมากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ 526,824.45 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 18.03 อำเภอที่มีปริมาตรไม้ยางพารามากที่สุดคือ อำเภอภูซาง จำนวน 357,569.29 ลูกบาศก์เมตร ขณะที่อำเภอภูกามยาวมีปริมาตรไม้ยางพาราน้อยที่สุด คือ 11,056.94 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากยางพารา พบว่าจังหวัดพะเยาสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งหมด 3,661,516.08 $tonCO_2eq$ โดยพื้นที่ที่มีเอกสารสิทธิ์สามารถกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ 695,133.51 $tonCO_2eq$ ยางพาราอายุ 16–23 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ 1,645,194.56 $tonCO_2eq$ โดยพื้นที่มีเอกสารสิทธิ์มีอัตราการกักเก็บมากกว่าพื้นที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ คิดเป็นร้อยละ 17.15 ทั้งนี้ อำเภอภูซางมีกักเก็บคาร์บอนจากยางพารามากที่สุดที่ 419,260.33 $tonCO_2eq$ ขณะที่อำเภอภูกามยาวมีปริมาณการกักเก็บน้อยที่สุดคือ 12,939.11 $tonCO_2eq$

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนข้อมูลจากการยางแห่งประเทศไทย จังหวัดพะเยา สหกรณ์นิคมเชียงคำ จำกัด และได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากการยางแห่งประเทศไทยภายใต้โครงการกยท2050-BCG Model” การสร้างแนวทางการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ยางพาราเพื่อการบริโภคผลิตภัณฑ์สีเขียวอย่างมีส่วนร่วมที่มุ่งสู่ NET-O; ปีงบประมาณ 2567

เอกสารอ้างอิง

[1] Rubber Authority of Thailand, Phayao Province. 2005. *Basic information of the rubber planting project for income enhancement in the northern region*. (in Thai)

[2] Office of Agricultural Economics. 2023. *Agricultural economic data: Rubber production details*. (in Thai)

[3] Office of Natural Resources and Environment, Phayao Province. 2023. *Development project report to enhance the capacity of the Provincial Office of Natural Resources and Environment for climate change planning*. (in Thai)

[4] Masakawong, J., Saengsuk, C., Suttipun, W., and Suksomboon, S. 2015. *Project on carbon credit policy, carbon footprint, and water footprint for rubber plantations in new planting areas of the southern region*. National Research Council of Thailand (NRCT) and Thailand Research Fund (TRF). (in Thai)

[5] Philip, M.S. 1994. *Measuring Trees and Forests*. CAB International, Wallingford, Oxford. 310 p.

[6] Saengruksawong, C., Khamyong, S., Anongrak, N., and Pinthong, J. 2012. Growths and carbon stocks of para rubber plantations on Phonpisai soil series in Northeastern Thailand. *Rubber Thai Journal*. 1: 1–18.

[7] Saosee, P., Sajjakulnukit, B., and Gheewala, S.H. 2022. Environmental externalities of wood pellets from fast-growing and para-rubber trees for sustainable energy production: A case in Thailand. *Energy Conversion and Management*. 1: 1–11.

[8] Payapanon, A., Tantyaporn, S., and Vuthicumpre, P. 1989. Diameter of old para-rubber wood log for ear mushroom cultivation. In: *Proceedings of the 27th Kasetsart University Annual Conference, January 30 – February 1, 1989*. Research Report on Plant Section. Bangkok. pp. 423–429. (in Thai)

[9] Yang, X., Blagodatsky, S., Liu, F., Beckschäfer, P., Xu, J., and Cadisch, G. 2017. Rubber tree allometry, biomass partitioning and carbon stocks in mountainous landscapes of sub-tropical China. *Forest Ecology and Management*. 404: 84–99.

[10] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). 2023. *T-VER-S-TOOL-01-01: Tree Carbon Stock Calculation Methodology, Version 1, Effective March 1, 2023 – September 21, 2025*. (in Thai)

[11] Templeton, J.K. 1968. Growth studies in *Hevea brasiliensis* L: Growth analysis up to seven years after budgrafting. *Journal of the Rubber Research Institute of Malaya*. 20(3): 136–146.

20R1-09

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของโรงงานผสมสีย้อมผ้า: กรณีศึกษาในประเทศไทย

Assessing Organizational Carbon Footprint of a Fabric dye mixing Factory: A Case Study in Thailand

สุพิชฌาย์ ศรีสังข์[1*] และ ทักษิณา โพธิ์ใหญ่[2]
Supitcha Srisang[1*] and Thaksina Poyai[2]
[1*]นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
*โทรศัพท์ : 08 3233 4233, E-mail : supitcha.srisan@ku.th, thaksina.p@ku.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) ของโรงงานผสมสีย้อมผ้าในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลกิจกรรมขององค์กรในปี พ.ศ. 2567 (มกราคม-ธันวาคม) เป็นกรณีศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรโดยตรง และขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม ตามแนวทางข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ผลการศึกษาพบว่า โรงงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดคือการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งคิดเป็น 36.63% ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือการใช้ไฟฟ้าคิดเป็น 30.84% ของการปล่อยทั้งหมด การดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซ เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน และการใช้พลังงานหมุนเวียน จึงมีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรภาคอุตสาหกรรม และสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระดับองค์กร

คำสำคัญ : คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร; ก๊าซเรือนกระจก; พลังงานหมุนเวียน

Abstract

This study aims to assess the organizational carbon footprint (CFO) at a fabric dye mixing factory in Thailand, using organizational activity data from January to December 2024 as a case study. The data collection covers greenhouse gas (GHG) emissions in Scope 1 (direct greenhouse gas emissions) and Scope 2 (energy indirect greenhouse gas emissions), based on the guidelines for calculating and reporting organizational carbon footprints issued by the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization :TGO) The results show that the factory's GHG emissions primarily stem from energy use in the production process. The major source of emissions is biomass combustion, accounting for 36.63% of total emissions, followed by electricity consumption at 30.84%. Implementing mitigation measures such as improving energy efficiency and adopting renewable energy sources has the potential to significantly reduce environmental impacts. This study can serve as a guideline for environmental planning and decision-making in the industrial sector and support sustainable development at the organizational level. renewable energy

Keywords : organizational carbon footprint; greenhouse gas; renewable energy

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นวิกฤตระดับโลกที่เกิดจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจก (GHGs) ในบรรยากาศ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อควบคุมปัญหาดังกล่าวประชาคมโลกได้จัดทำอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิโลกให้อยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัย [1] ในบริบทของประเทศไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามกรอบขององค์การสหประชาชาติ หรือ Sustainable Development Goals (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 13: การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Action) และ เป้าหมายที่ 12: การผลิตและบริโภคอย่างยั่งยืน (Responsible Consumption and Production) ที่มุ่งเน้นให้ภาคอุตสาหกรรมมีส่วนร่วมในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม [2] และถ่ายทอดนโยบายในกรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ด้านการสร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนบนสังคมที่เป็นมิตรต่อสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีเป้าหมายในการมุ่งเน้นลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสร้างสังคมคาร์บอนต่ำ จากรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงาน 6 เดือนแรกของปี 2567 ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน กล่าวว่า การใช้พลังงานรายสาขาเศรษฐกิจคิดตามสัดส่วนการปล่อย CO_2 ภาคการผลิตไฟฟ้าที่ระดับ 48.1 ล้านตัน CO_2 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีที่ผ่านมา 5.8% จากความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยก๊าซธรรมชาติยังคงเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ภาคการขนส่งมีการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ระดับ 41.5 ล้านตัน CO_2 จากการใช้น้ำมันและก๊าซสำหรับรถยนต์ และภาคอุตสาหกรรมมีการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ระดับ 25.6 ล้านตัน CO_2 ลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน 16.8% เนื่องจากการผลิตสินค้าส่งออกหดตัวในไตรมาสแรกของปี 2567 [3]

อุตสาหกรรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญจากการเติบโตของ Fast Fashion คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งพบว่า มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เนื่องจากมีการใช้พลังงาน น้ำ และสารเคมี รวมถึงมีการสร้างขยะและการปนเปื้อนของเส้นใยไมโครไฟเบอร์เข้าสู่สิ่งแวดล้อม การผลิตสิ่งทอมีห่วงโซ่อุปทานที่ซับซ้อน เกี่ยวข้องกับการเกษตรกร แปรรูปเส้นใยดิบ เส้นด้ายและผ้า ผู้ทอผ้า ผู้ย้อมผ้า และผู้ผลิตรวมไปถึงผู้จำหน่ายสินค้า [4] จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของการผลิตกางเกงยีนส์จากเยื่ออ้อย (bagasse washi jeans) พบว่า กระบวนการย้อม ฟอก และฟินิชชิ่ง หรือที่เรียกรวมกันว่า กระบวนการเปียก (wet process) เป็นแหล่งการปล่อย GHG ที่สูงที่สุดในกระบวนการผลิตทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการย้อมผ้าไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการผลิตในระยะยาวแต่ยังมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมสิ่งทอสู่ความยั่งยืน และบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กรและอุตสาหกรรม (Semba et al., 2024) [5]

การศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำรายงานปริมาณก๊าซเรือนกระจกองค์กรของโรงงานผสมสีย้อมผ้าในประเทศไทย ซึ่งเป็นห่วงโซ่อุปทานหนึ่งของอุตสาหกรรมสิ่งทอและส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยใช้แนวทางข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยระบุแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักขององค์กร และเสนอแนวทางเชิงเทคนิคและการจัดการเพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพช่วยให้โรงงานสามารถบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างเป็นระบบ สร้างต้นแบบแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรเพื่อสนับสนุนการดำเนินนโยบายคาร์บอนต่ำของประเทศ และตอบสนองต่อเป้าหมาย SDGs และ Paris Agreement อย่างเป็นรูปธรรม

อุปกรณ์และวิธีการ

เขียนการศึกษานี้ดำเนินการตามข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) [6] ซึ่งสอดคล้องกับแนวทาง ISO 14064-1 [7], IPCC Guidelines [8] และ GHG Protocol โดยมีขั้นตอนหลักดังนี้

1. กำหนดขอบเขตขององค์กรตามหลัก Operational Control
2. เก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ตามแนวทาง อบก. ดังนี้

ตารางที่ 1 รายการกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามขอบเขตที่ 1

Category	Activity DATA
Stationary combustion	การเผาไหม้น้ำมันดีเซลใน Generator
	การเผาไหม้ชีวมวลใน Boiler
	การใช้น้ำมันเตาเกรด A ใน Boiler
	การใช้แก๊ส LPG
	การเผาไหม้น้ำมันเบนซินในเครื่องตัดหญ้า
Mobile combustion	การเผาไหม้น้ำมันดีเซลของรถองค์กร
	การเผาไหม้น้ำมันเบนซินของรถองค์กร
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลในรถ Folklift
	การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG ของรถองค์กร
Fugitive emissions	สารทำความเย็นชนิด R-32
	ระบบบำบัดน้ำเสีย
	ระบบสุขาภิบาล (Septic)
	สารดับเพลิง CO2

ตารางที่ 2 รายการกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามขอบเขตที่ 2

Category	Activity DATA
Energy indirect	การใช้พลังงานไฟฟ้า

3. การเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลของ อบก. ซึ่งหากกิจกรรมใดที่ไม่มี Emission Factor ให้ใช้ข้อมูลจาก IPCC หรือ Ecoinvent

ตารางที่ 3 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกของโรงงานผสมสีย้อมผ้า

Category	รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
Stationary combustion	น้ำมันดีเซล	Litre	2.7078	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
	ชีวมวล	Kg	0.0304	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
	ชีวมวล (คำนวณ CO2)	Kg	1.7909	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
	น้ำมันเตาเกรด A	Litre	3.2200	IPCC Vol.2 table 2.2, PTT
	แก๊ส LPG	Kg	3.1134	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE LPG 1 litre = 0.54 kg
	น้ำมันเบนซิน	Litre	2.1894	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
Mobile combustion (on road)	น้ำมันดีเซล	Litre	2.7406	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
	น้ำมันเบนซิน	Litre	2.2394	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
	แก๊ส LPG	Litre	1.7306	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
Mobile Combustion (Off road)	น้ำมันดีเซล	Litre	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE

Category	รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
Fugitive	สารทำความเย็นชนิด R-32	Kg	677.0000	IPCC 2013, AR5
	ระบบสุขาภิบาล (Septic)	Kg	28.0000	2019 Refinement to the 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Volume 5 Chapter 6
	สารดับเพลิง CO2	Kg	1.0000	IPCC 2013, AR5
Energy indirect	การใช้พลังงานไฟฟ้า	kwh	0.4999	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018)

4. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสมการพื้นฐาน ดังนี้

$$\text{GHG Emission} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor (EF)} \quad (1)$$

5. นำเสนอผลการศึกษาและข้อเสนอแนะให้กับโรงงานเพื่อ สนับสนุนการพัฒนาสู่ Net Zero

ผลการทดลองและวิจารณ์

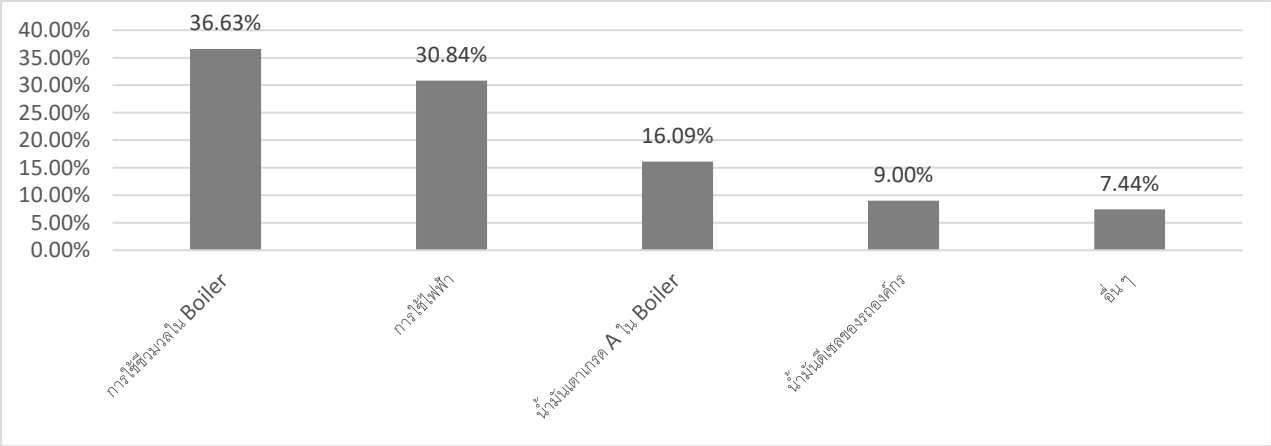
จากการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 ของกิจกรรมในโรงงานผสมสีย้อมผ้าพบว่า มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ดังนี้

ตารางที่ 4 สัดส่วนปริมาณก๊าซเรือนกระจกองค์กรของโรงงานผสมสีย้อมผ้า

ขอบเขต	Category	Activity DATA	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ขอบเขตที่ 1	Stationary combustion	การเผาไหม้น้ำมันดีเซลใน Generator	0.08%
		การเผาไหม้ชีวมวลใน Boiler	36.63%
		การใช้น้ำมันเตาเกรด A ใน Boiler	16.09%
		การใช้แก๊ส LPG	0.72%
		การเผาไหม้น้ำมันเบนซินในเครื่องตัดหญ้า	0.08%
	Mobile combustion	การเผาไหม้น้ำมันดีเซลของรถองค์กร	9.00%
		การเผาไหม้น้ำมันเบนซินของรถองค์กร	0.29%
		การเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลในรถ Folklift	2.96%
		การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG ของรถองค์กร	0.17%
	Fugitive emissions	สารทำความเย็นชนิด R-32	2.00%
		ระบบบำบัดน้ำเสีย	0%
		ระบบสุขาภิบาล (Septic)	1.13%
		สารดับเพลิง CO2	0%
ขอบเขตที่ 2	Energy indirect	การใช้พลังงานไฟฟ้า	30.84%

จากการวิเคราะห์พบว่า ขอบเขตที่ 1 การเผาไหม้ทางตรงขององค์กรมีจากเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเป็นสัดส่วน 37.63% รองลงมาคือขอบเขตที่ 2 การเผาไหม้ทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า 30.84% ดังรูปที่ 1 เนื่องจากโรงงานดังกล่าวใช้เครื่องจักรในการให้ความร้อนเพื่อผสมวัตถุดิบเป็นผลิตภัณฑ์สีย้อมผ้า

รูปที่ 1 กราฟแสดงแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่มีสัดส่วนมากที่สุด



สรุป

จากการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของโรงงานผสมสีย้อมผ้า จากข้อมูลกิจกรรม มกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2567 โดยบันทึกข้อมูลกิจกรรมในขอบเขตที่ 1 การเผาไหม้โดยตรง และขอบเขตที่ 2 การเผาไหม้ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน พบว่า การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเพื่อในกระบวนการผลิตและพลังงานจากไฟฟ้ามีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงมากที่สุด ซึ่งแม้ว่าจะมีการนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องจักรในกระบวนการของโรงงานแล้ว นั้น ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีศักยภาพในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงอื่น แต่เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงจำนวนมาก การเผาไหม้จากการใช้ชีวมวลจึงเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากที่สุด ซึ่งหากมีการใช้เครื่องจักรที่ใช้เชื้อเพลิงอื่น เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันสำเร็จรูป คาดการณ์ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะสูงมากกว่านี้ และการใช้ไฟฟ้าในโรงงานนับว่าเป็นอีกหนึ่งแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่ควรพิจารณาการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรให้เป็นระบบที่ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพสูงจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผสมสีย้อมผ้า ที่ให้ข้อมูลในการศึกษาประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก ขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับคำแนะนำ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] UNFCCC. (2024). About the secretariat. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved March 21, 2025, from https://unfccc.int/about-us/about-the-secretariat.

[2] UN Thailand. (2022). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและ SDGs. วันที่สืบค้น 21 มีนาคม 2568, สืบค้นจาก https://thailand.un.org/th/173511-การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

[3] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2567). การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงาน 6 เดือนแรกของปี 2567. วันที่สืบค้น 8 เมษายน 2568. สืบค้นจาก https://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy

[4] กชวรรณ ศรีมณฑา ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2567). Fast Fashion เรื่องใกล้ตัว มหันตภัยต่อสิ่งแวดล้อม. วันที่สืบค้น 8 เมษายน 2568. สืบค้นจาก https://policywatch.thaipbs.or.th/article/environment-39

[5] Semba, T., Furukawa, R., & Itsubo, N. (2024). Carbon footprint for jeans' circular economy model using bagasse. Sustainability, 16(14), 6044.

[6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565, กรกฎาคม). ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. วันที่สืบค้น 21 มีนาคม 2568, สืบค้นจาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/

[7] International Organization for Standardization. (2018). ISO 14064-1:2018(en), Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Retrieved March 21, 2025, from https://www.iso.org/standard/66453.html

[8] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Retrieved March 21, 2025, from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html

20R1-10

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี

Carbon Footprint Assessment of Organization : A Case Study of Phetchaburi Provincial Industrial Office

พชรพงศ์ พระศุกร์[1] เสรีย์ ตู้ประกาย[2*] ชลีพรณ์ ธรรมพรรัมย์[3] และ พงศกร พรมสวัสดิ์[4]
Pacharapong Prasook[1] Seree Tuprakay [2*] Chaliporn Thamponram[3] and Pongsakon Promsawat [4]
[1]นิสิตมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม) มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[2*]รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง; [3]อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[4]อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
*โทรศัพท์ : ...0621982641....., โทรสาร : ....., E-mail : ...pprasook@gmail.com.

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี โดยใช้การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กร หรือ ที่เรียกว่า “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร” ตามแนวทางการประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [1] โดยแบ่งประเภทกิจกรรมที่เกี่ยวข้องออก 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การประเมินจากกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ประเภทที่ 2 การประเมินจากกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และประเภทที่ 3 การประเมินจากกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในองค์กรและเปรียบเทียบข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ภายในองค์กรได้

คำสำคัญ : ภาวะโลกร้อนและก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตพริ้นท์,การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

Abstract

This study aims to assess the organizational carbon footprint of the Ratchaburi Provincial Industry Office. The evaluation is based on the calculation of greenhouse gas (GHG) emissions and removals resulting from the organization's activities, in accordance with the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). The assessment categorizes emissions into three scopes: (1) direct GHG emissions and removals from organizational activities, (2) indirect GHG emissions from energy consumption, and (3) other indirect GHG emissions. The study also proposes strategies for improving GHG emission management within the organization and provides a comparative analysis of data to support carbon footprint reduction efforts

Keywords : Global warming and greenhouse gases, carbon footprint, organizational carbon footprint assessment, emission factor

บทนำ

ในยุคที่ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทวีความรุนแรง [2] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี โดยใช้แนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [3] ซึ่งแบ่งประเภทการประเมินออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การปล่อยและดูดกลับก๊าซทางตรง ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และทางอ้อมจากกิจกรรมอื่น ๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลและเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในองค์กร เพื่อเสริมสร้างการดำเนินงานที่ยั่งยืนและตอบสนองต่อนโยบายสิ่งแวดล้อมในระดับประเทศและนานาชาติ

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณเพื่อการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จาก กระบวนการที่ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรีแบบย้อนหลัง โดยวิธีการเก็บข้อมูลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่ละขั้นตอน ตามตารางที่ 1 แล้วนำค่าที่ได้มาคูณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกรจก (Emission Factor) [1] ตามตารางที่ 2 และประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูลตามตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พร้อมทั้งหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงในปริมาณที่เหมาะสมจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการที่ผ่านมาจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	แหล่งเก็บข้อมูล	หน่วย
ประเภทที่ 1	การใช้ยานพาหนะขององค์กรเพื่อออกตรวจ	ปริมาณน้ำมันที่ใช้	-บันทึกปริมาณการใช้น้ำมันและ	liter
	การปล่อยก๊าซมีเทนจาก Septic tank	คำนวณการปล่อยก๊าซมีเทน	จำนวนเจ้าหน้าที่ และผู้ใช้บริการ	kg
	การซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศ	ปริมาณสารทำความเย็นที่มีการเติมเข้าระบบ	- บันทึกการซ่อมบำรุงที่มีการเติมน้ำยาทำความเย็น	kg
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	-ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า -กำลังการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าและชั่วโมงการใช้งาน	kWh
ประเภทที่ 3	การใช้วัสดุสำนักงาน	ปริมาณการใช้กระดาษ	-รายการเอกสาร หลักฐานประกอบคำขอ -เอกสารภายในดำเนินการตามระเบียบราชการ	kg
	การใช้น้ำประปา	ปริมาณการใช้น้ำประปา	-ใบแจ้งหนี้ค่าน้ำประปา	m^3
	ปริมาณขยะในสำนักงาน	ปริมาณการก่อกำเนิดขยะ	-บันทึกการปริมาณขยะในสำนักงาน	kg
	การเดินทางไป-กลับของพนักงาน	ปริมาณน้ำมันที่ใช้	-แบบสำรวจข้อมูลการเดินทางพนักงาน	liter

ขอบเขตการดำเนินการ	รายการกิจกรรม	การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2$)
ประเภทที่ 1	การใช้ยานพาหนะขององค์กร เพื่อออกตรวจสถานที่ขออนุญาต	1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ × ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง 2) ระยะทาง × น้ำหนักบรรทุก × ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของพาหนะที่ใช้ 3) (ระยะทาง ÷ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) × ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
	การปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบ Septic Tank	การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก($KgCO_2$) สมการที่ 1 : $CH_4 Emissions = \sum_i[(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$ S = 0 (No organic sludge removed) R = 0 (No recovered methane) สมการที่ 2 : $EF_i = B_0 * MCF_j$ B_0 =0.6 (Kg CH4/Kg BOD) MCF_j = 0.5 (septic system) สมการที่ 3 : $TOW = P * BOD * 0.001 * I$ * วันทำการ P = People, BOD 40 (Asia in unit/g/person/day), I =1 (for uncollected the default)
	การใช้สารทำความเย็น	ปริมาณสารทำความเย็น (kg)× ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2$/kWh)
ประเภทที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)× ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2$/kWh)
ประเภทที่ 3	การใช้น้ำประปา	ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ (m^3) x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2$/ m^3)
	การใช้กระดาษ	ปริมาณกระดาษที่ใช้ (kg) x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2/Kg)
	การใช้ยานพาหนะเดินทางไป-กลับที่พัก	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ (liter) × ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง($KgCO_2$/liter)
	ขยะมูลฝอยทั่วไป	**ปริมาณขยะมูลฝอยทั่วไป (kg)** × **ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก** ตามการจัดการมูลฝอยชุมชน($kgCO_2$/kg)

ตารางที่ 2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [1] สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ประเภทที่ 1	รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 0% Loading	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน; ใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	Liter	2.7406 (Update เม.ย. 2565)	IPCC Vol.2 table 3.2.1,3.2.2,DEDE
	รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งแบบปกติ 0% Loading	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน; ใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	Liter	2.7406 (Update เม.ย. 2565)	IPCC Vol.2 table 3.2.1,3.2.2,DEDE
	Chlorodifluoromethane, R22	Chlorodifluoromethane, at plant (R22)	kg	75.7860 (Update ก.ค. 2565)	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
ประเภทที่ 2	Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)	ไฟฟ้าแบบ grid mix ปี 2016-2018;LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.0	kWh	0.5986 (Update ก.ค. 2565)	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)
ประเภทที่ 3	น้ำประปา - การประปาส่วนภูมิภาค	ผลิตโดยใช้น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำทะเล;ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการสูบน้ำดิบ การผลิตน้ำประปา จนถึงการส่งน้ำประปาผ่านระบบท่อ กปภ. สู่ผู้ใช้น้ำ ; ข้อมูลการผลิตปีงบประมาณ 2561; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.0	m^3	0.5410 (Update ก.ค. 2565)	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2561) [3]

ตารางที่ 2 (ต่อ) ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [1] สำหรับการประเมินรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ประเภทที่ 3	กระดาษ	การใช้กระดาษของสำนักงาน	kg	2.93 (Update ก.ค. 2565)	2006 IPCC Volume 5 : Waste
	การจัดเก็บรวบรวมและขนถ่ายขยะมูลฝอยชุมชน	การจัดเก็บและรวบรวมขยะมูลฝอยครอบคลุมรูปแบบการจัดเก็บและรวบรวม 2 แบบ คือ 1.การเก็บขนจากบ้านเรือนจุดพักขยะ และถังขยะริมทางเท้าไปยังสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอย และขนส่งไปยังแหล่งกาจัดขยะมูลฝอย และ 2.การเก็บขยะจากบ้านเรือนและและขนไปกาจัด ณ แหล่งกาจัดขยะมูลฝอยโดยตรง; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	0.0143 (Update ก.ค. 2565)	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)
	Gas/Diesel oil Motor Gasoline	น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงในการเดินทางไป-กลับที่พักของเจ้าหน้าที่; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	Liter	2.7406 2.2394 (Update เม.ย. 2565)	IPCC Vol.2 table 3.2.1,3.2.2,DEDE

ตารางที่ 3 แสดงระดับคะแนนอ้างอิงของคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา การประเมินความไม่แน่นอน

รายการ	คำถาม			
ข้อมูลกิจกรรม	X = 6 Points เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	Y = 3 Points เก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ	Z = 1 Points เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า	
Emission Factors	C = 4 Points EF จากการวัดที่มีคุณภาพ	D = 3 Points EF จากผู้ผลิตหรือ EF ระดับประเทศ	E = 2 Points EF ระดับภูมิภาค	F = 1 Points EF ระดับสากล

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2561) [3]

ตารางที่ 4 แสดงระดับคะแนนอ้างอิงของคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา การประเมินความไม่แน่นอน

ระดับ	ระดับคะแนนโดยรวมของข้อมูล	คำอธิบาย
1	1-6	มีความไม่แน่นอนสูง คุณภาพของข้อมูลไม่ดี
2	7-12	มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพของข้อมูลปานกลาง
3	13-18	มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดี
4	19-24	มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดีเยี่ยม

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2561) [3]

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการประเมินปีงบประมาณ 2567 (ระหว่าง 1 ตุลาคม 2566 ถึง 30 กันยายน 2567) พบว่า ขอบเขตการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดมาจากประเภทที่ 2 (การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน) ที่มีสัดส่วน 45.71% รองลงมาคือประเภทที่ 1 (การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง) ที่มีสัดส่วน 42.90% และประเภทที่ 3 (กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ) ซึ่งรวมถึงการใช้น้ำประปา การใช้กระดาษ การใช้ยานพาหนะเดินทางไปกลับที่พัก และปริมาณขยะมูลฝอย โดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึง 11.38% ตามตารางที่ 5 และ ภาพที่ 1

ตารางที่ 5 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.

ประเภทกิจกรรมการประเมิณ	รายการกิจกรรม	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก)kgCO_2e)	สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (%)
ประเภทกิจกรรมที่ 1	การใช้ยานพาหนะ	12,070	29.87
	การปล่อยก๊าซมีเทนจาก Septic tank	3,000	7.42
	การใช้สารทำความเย็น	2,270	5.62
ประเภทกิจกรรมที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	18,470	45.71
ประเภทกิจกรรมที่ 3	การใช้น้ำประปา	250	0.62
	การใช้กระดาษ	1,180	2.92
	การกำจัดขยะ	1,800	4.45
	การเดินทางไปกลับของ-เจ้าหน้าที่	1,370	3.39
รวม		**40,410**	**100**



รูปภาพที่ 1 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรื่อนกระจก จากการดำเนินการของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรีประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567

ตารางที่ 6 ข้อมูลการประเมินและการจัดการความไม่แน่นอน

ขอบเขตการดำเนินการ	รายการกิจกรรม	คะแนนการ เก็บข้อมูล (A)	คะแนน EF (B)	ผลการ ประเมิน (A x B)	ระดับ คุณภาพ
ประเภทกิจกรรมที่ 1	การใช้ยานพาหนะ	3	3	9	2
ประเภทกิจกรรมที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	3	3	9	2
ประเภทกิจกรรมที่ 3	การใช้น้ำประปา	3	3	9	2
	การใช้กระดาษ	3	2	6	1
	การบำบัดน้ำเสีย	1	3	2	1
	การกำจัดขยะ	1	3	3	1
	การเดินทางไป-กลับของเจ้าหน้าที่	1	2	2	1

สำหรับข้อเสนอแนะแนวทางปรับปรุงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี ได้มีการสำรวจความเห็นต่อท่านอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี ถึงนโยบายเกี่ยวกับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในองค์กร แนวทางการปรับเปลี่ยนวิธีการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยนำเสนอมาตรการลดการใช้ไฟฟ้าของสำนักงานฯ เช่น เปิด-ปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนด และแนวทางการลดการใช้วัสดุสำนักงาน จำพวกกระดาษ พลาสติก และเครื่องใช้สำนักงาน

สรุป

ขอบเขตการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [3] แบ่งกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กรไว้ 3 ประเภท นั้น ที่สำคัญที่สุดมาจากประเภทที่ 2 (การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน) ที่มีสัดส่วน 45.71% รองลงมาคือประเภทที่ 1 (การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง) ที่มีสัดส่วน 42.90% และประเภทที่ 3 (กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ) ที่มีสัดส่วน 11.38% กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าของเจ้าหน้าที่สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี เนื่องจากต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้แสงสว่าง และเพื่อการทำงานของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เครื่องปรับอากาศ การประเมินผลการดำเนินงานในครั้งนี้มีความสำคัญในการนำไปสู่การวางแผนในอนาคตเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจก เช่น ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อประหยัดค่าไฟ

ผลการศึกษาในครั้งนี้มีผลการศึกษาเช่นเดียวกับหลายองค์กร กล่าวคือ กิจกรรมประเภทที่ 3 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด ต่อมากิจกรรมประเภทที่ 1 และกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือกิจกรรมประเภทที่ 2 ได้แก่ โรงงานผลิตเครื่องดื่ม (วารุณี ดือเระ (2564)) [4] , คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ผไทมาศ เปรื่องปรีชาศักดิ์, ฤทธิรงค์ จังโกฏิ, พฤกษ์ ตัญตรัยรัตน์ และ เทพภมร คำสอง (2563)) [5]

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ขอขอบคุณท่านอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี ที่ให้แนวทางในการทำวิจัยในเล่มนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำการศึกษา รวมถึงเป็นสถานที่ทำวิจัย สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อน ที่ปรึกษาที่คอยช่วยจัดทำรายงานและ พี่นักศึกษาจากภาควิชาสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรรมที่มีส่วนร่วมที่ได้ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นกำลังใจให้คณะผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). Emission Factor.[online].เข้าถึงได้จาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ. 2565

[2] ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทย.ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect).ค้นเมื่อ 5 มกราคม 2566 จาก http://climate.tmd.go.th/content/article/10

[3] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2561). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. กรุงเทพฯ: พีทู ดีไซน์ แอนด์ พริ้นท์

[4] วารุณี ดือเระ (2564).การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานผลิตเครื่องดื่ม

[5] ผไทมาศ เปรื่องปรีชาศักดิ์,ฤทธิรงค์ จังโกฏิ,พฤกษ์ ตัญตรัยรัตน์ และเทพภมร คำสอง (2563).การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

20R1-11

การศึกษาคุณสมบัติและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของมอร์ตาร์ที่มีองค์ประกอบของเศษหินจากการขุดเจาะปิโตรเลียม

Studying Properties and Environmental Impacts of Mortar Composed of Petroleum Drill Cuttings

ณัฏฐภูมิ กัลวงษ์[1*] วันชัย ยอดสุดใจ[2] และ ทักษิณา โพธิ์ใหญ่[3*]
Natthapoom Kanlawong[1*] Wanchai Yodsudjai[2] and Thaksina Poyai[3]
[1]นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[3]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์: 09 7059 4682, โทรสาร: 025 790730, * E-mail: natthapoom.kan@ku.th, thaksina.p@ku.th

บทคัดย่อ

เศษหินจากกระบวนการขุดเจาะปิโตรเลียม (Drill Cuttings, DC) เป็นของเสียอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตและมอร์ตาร์ อย่างไรก็ตาม DC ที่ได้จากแหล่งผลิตโดยตรงมักมีการปนเปื้อนน้ำมันและสารอินทรีย์ตกค้าง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพวัสดุก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของ DC ที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไพโรไลซิสในการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง โดยมุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกล ลักษณะโครงสร้างจุลภาค และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่ง DC ที่ผ่านการบำบัดที่อุณหภูมิ 700 °C ถูกนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0% (DC0), 10% (DC10), 30% (DC30) และ 50% (DC50) โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า DC มีองค์ประกอบทางเคมี เช่น ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสามารถแสดงสมบัติพอซโซลานได้ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน กำลังอัดสูงสุดของมอร์ตาร์ DC0, DC10, DC30 และ DC50 มีค่าเท่ากับ 58.0, 47.7, 29.1 และ 23.6 เมกะปาสคาล ตามลำดับ การเพิ่มอัตราส่วนของ DC ส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลง ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำและการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้ DC ทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตมอร์ตาร์สามารถลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูงสุดถึงร้อยละ 49.9 เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (DC0) สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของ DC ในฐานะวัสดุทดแทนเพื่อการผลิตมอร์ตาร์คาร์บอนต่ำ

คำสำคัญ: เศษหินจากการขุดเจาะ; มอร์ตาร์; วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์; สารอินทรีย์ระเหยง่าย; คาร์บอนฟุตพริ้นท์

Abstract

Drill cuttings (DC), a byproduct of petroleum drilling operations, are an industrial waste material with potential for beneficial reuse, particularly as a partial substitute for cement in concrete and mortar applications. However, DC obtained directly from drilling sites often contains residual oil contaminants, which may negatively impact construction material quality and pose environmental risks. This study aims to evaluate the potential of DC treated via pyrolysis for use as a cement replacement in self-compacting mortar. The investigation focuses on mechanical properties, microstructural characteristics, and environmental impacts. Pyrolyzed DC at 700 °C was used to replace cement at rates of 0% (DC0), 10% (DC10), 30% (DC30), and 50% (DC50) by weight. Experimental results showed that DC contains key chemical components, e.g., silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), and calcium oxide (CaO), that contribute to pozzolanic activity. After 28 days of curing, the compressive strengths of DC0, DC10, DC30, and DC50 mortars were 58.0, 47.7, 29.1, and 23.6 MPa,

respectively. Increasing the DC content resulted in decreased compressive strength, while water absorption and volatile organic compound emissions tended to increase. Nonetheless, incorporating DC as a cement substitute can reduce carbon footprint by up to 49.9% compared to the control mix (DC0), highlighting its potential as a sustainable alternative for low-carbon mortar production.

Keywords: Drill cuttings; Mortar; Cement-replacement material; Volatile organic compounds; Carbon footprint

1. บทนำ

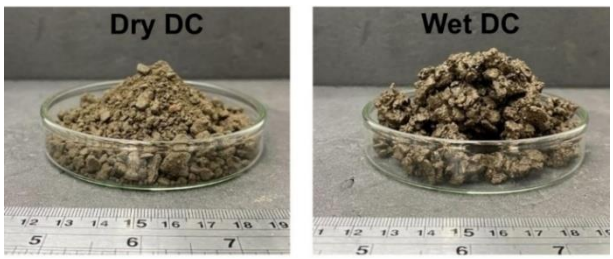
อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นหนึ่งในแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักของโลก โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 7 ของการปล่อยทั้งหมด [1] ความพยายามลดผลกระทบดังกล่าวนำไปสู่การศึกษาวัสดุทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดการพึ่งพาการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Ordinary Portland Cement, OPC) เศษหินจากการขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ (Drill Cutting, DC) เป็นของเสียอุตสาหกรรมที่มีองค์ประกอบทางเคมี เช่น ซิลิกา (SiO_2), อะลูมินา (Al_2O_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสามารถแสดงสมบัติพอซโซลานบางส่วนได้ จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้แทนวัสดุประสานในมอร์ตาร์หรือคอนกรีต [2] อย่างไรก็ตาม DC มักมีการปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่นและสารอินทรีย์ตกค้าง ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพวัสดุก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม การบำบัด DC ด้วยกระบวนการทางความร้อน เช่น การไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 600–800 °C เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ตกค้าง และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุให้เหมาะสมกับงานวิศวกรรมโยธา [3] โดยงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า DC ที่ผ่านการบำบัดสามารถนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนได้โดยไม่กระทบต่อสมบัติเชิงกล และยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและการปล่อย CO_2 จากการผลิตปูนซีเมนต์ [2] ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ข้อที่ 12 และ 13 การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของ DC ที่ผ่านการไพโรไลซิสในการใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในมอร์ตาร์ โดยเน้นการศึกษาสมบัติเชิงกล โครงสร้างจุลภาค และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 คุณสมบัติของเศษหินจากการขุดเจาะน้ำมัน

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

ตัวอย่างเศษหินแบบแห้ง (Dry-DC) และแบบเปียก (Wet-DC) ได้รับจากแหล่งขุดเจาะน้ำมันบนบก (Onshore Drilling Platform) ตัวอย่างทั้งหมดมีลักษณะเป็นอนุภาคสีน้ำตาลแสดงดังรูปที่ 1 โดยตัวอย่างเปียกยังคงมีความชื้นอยู่ในระดับสูง ก่อนการวิเคราะห์ ตัวอย่างถูกทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C จนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 เมช เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 1 ตัวอย่างเศษหินแบบแห้ง (Dry-DC) และแบบเปียก (Wet-DC)

2.1.2 องค์ประกอบพื้นฐานและองค์ประกอบทางธาตุ

การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน (Proximate analysis) ประเมินค่าความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงเหลือ และเถ้าตามมาตรฐาน ASTM เพื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างแบบแห้งและแบบเปียกร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%) สำหรับองค์ประกอบทางเคมี (Elemental analysis) ใช้เครื่อง LECO รุ่น 628 ตรวจวัดธาตุ C, H, N และ S ส่วนออกซิเจน (O)

2.1.3 สมบัติด้านความร้อน

ค่าความร้อนสูงสุด (HHV) วัดด้วยเครื่อง bomb calorimeter (LECO AC500) ตาม ASTM D240 [4] โดยใช้ตัวอย่างแห้งประมาณ 1 กรัม และการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน (Thermal degradation) ใช้เครื่อง TGA2 (Mettler Toledo) ให้ความร้อนกับตัวอย่าง 10–15 มก. ในช่วง 50–900 °C ที่อัตรา 10 °C/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างระดับจุลภาค

องค์ประกอบทางเคมีวิเคราะห์ด้วย X-ray Fluorescence (XRF; Bruker S2 PUMA) เพื่อระบุธาตุหลัก เช่น Si, Al, Fe และ Ca ส่วนโครงสร้างผลึกแร่ใช้ X-ray Diffraction (XRD; Empyrean) โดยใช้รังสี CuKα (45 kV, 40 mA) สแกนในช่วงมุม 2θ ที่ 10–70° ด้วยอัตรา 0.0124°/นาที

2.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 วัสดุผสมหลักมอร์ตาร์

วัสดุสำหรับส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement Type 1) ตราทีพีไอ ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 หรือมาตรฐาน ASTM C150 [5] ดังรูปที่ 2 (ก) ทรายที่ผ่านทำความสะอาดและมีการกระจายตัวขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33-18 [6] ดังรูปที่ 2 (ค) และน้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระหว่าง 6-7

2.2.2 วัสดุทดแทน

วัสดุทดแทนปูนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้แก่ เศษหินที่ได้จากการขุดเจาะน้ำมัน (DC) ที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิ 700 °C และบดละเอียดเป็นผง แสดงดังรูปที่ 2ข



รูปที่ 2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา (ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ข) เศษหินจากการขุดเจาะน้ำมัน (ค) ทรายละเอียด

2.2.3 อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ครั้งนี้ได้กำหนดอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อน้ำ คือ 1:2:0.5 คงที่ทุกส่วนผสม ทั้งนี้ในการออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์อัดแน่นได้ด้วยตนเองได้นำเอา DC มาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 30 และ 50 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง

ตัวอย่าง	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	DC (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (กรัม)
DC0	300	0.0	600	150
DC10	270	30.0	600	150
DC30	210	90.0	600	150
DC50	150	150.0	600	150

2.3 คุณสมบัติของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเองในสภาวะแข็งตัว

2.3.1 การหล่อตัวอย่างทดสอบและการบ่ม

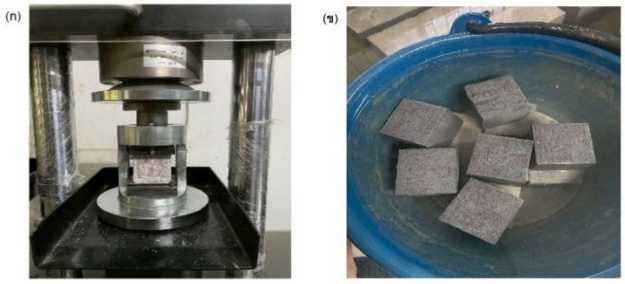
ชั่งวัสดุแต่ละชนิดตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผสม โดยใช้เครื่องผสมมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C305 [7] เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ เมื่อผสมเสร็จแล้ว เทส่วนผสมลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยภายในแบบหล่อจะต้องทาด้วยน้ำมันเพื่อป้องกันไม่ให้มอร์ตาร์ยึดติดแน่นเกินไป ซึ่งอาจทำให้การถอดแบบทำได้ยาก หลังจากเทมอร์ตาร์ลงแบบหล่อแล้ว ให้ทำการกระทุ้งเพื่อช่วยให้วัสดุแน่นตัวดีขึ้น ตัวอย่างที่ขึ้นรูปเสร็จจะถูกคลุมด้วยพลาสติกโพลิเอทิลีนเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการตั้งตัว ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการถอดแบบและนำตัวอย่างไปแช่บ่มในน้ำจนครบระยะเวลาทดสอบที่กำหนดไว้ คือ 7, 14 และ 28 วัน

2.3.2 การทดสอบกำลังอัด

ทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์โดยใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร จำนวน 3 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดในแต่ละช่วงอายุการบ่ม ได้แก่ 7, 14 และ 28 วัน การทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-20 [8] ดังแสดงในรูปที่ 3

2.3.3 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดกลืนน้ำของมอร์ตาร์ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C1403-15 [9] โดยเริ่มจากการนำตัวอย่างมอร์ตาร์เข้าอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงในอากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้ง ภายหลัง นำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นจากน้ำ เช็ดผิวให้แห้ง และชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักเปียกของมอร์ตาร์



รูปที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง (ก) การทดสอบกำลังอัด (ข) การทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.4 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

2.4.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย

การประเมินการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จากตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดชนิด Photoionization Detector (PID) ซึ่งสามารถวัดค่า VOCs ได้แบบเรียลไทม์ (Real-time) ภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุม ตัวอย่างมอร์ตาร์ถูกจัดเตรียมตามสูตร และบ่มในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ก่อนนำไปวางในห้องทดสอบ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 25 ± 2°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ 50% เพื่อความสม่ำเสมอของสภาวะการทดสอบ โดยจะดำเนินการซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้

2.4.2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมอร์ตาร์สามารถดำเนินการได้โดยอาศัยการรวบรวมข้อมูลปริมาณวัสดุที่ใช้ในการผสมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และนำมาคำนวณร่วมกับค่าความเข้มของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของวัสดุแต่ละประเภท ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นข้อมูลมาตรฐานที่ได้รับการรับรองจากฐานข้อมูลสากล เช่น ฐานข้อมูล Inventory of Carbon and Energy (ICE) [10] หรือฐานข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประเทศไทย (TGO) [11]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติของเศษหินจากการขุดเจาะน้ำมัน

3.1.1 องค์ประกอบพื้นฐานและองค์ประกอบทางธาตุ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ DCตาม ASTM D240 [4] พบว่า องค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ไนโตรเจน (N), กำมะถัน (S) และออกซิเจน (O) ตัวอย่าง Wet-DC มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าDry-DC อย่างชัดเจน คือ 10.02% และ 5.67% ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนออกซิเจนมีสัดส่วนสูงที่สุดในทั้งสองตัวอย่าง (มากกว่า 86%) ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบที่มีลักษณะอนินทรีย์เป็นหลัก

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Proximate Analysis) ซึ่งได้วัดค่าความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงเหลือ และเถ้า พบว่าWet-DC มีปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงเหลือสูงกว่า Dry-DC อย่างชัดเจน โดยมีสารระเหย 26.39% และคาร์บอนคงเหลือ 16.05% ในขณะที่ DC-Dry มีเถ้าสูงถึง 85.67% (ตารางที่ 3) สะท้อนถึงเนื้อวัสดุที่มีปริมาณแร่ธาตุอนินทรีย์จำนวนมาก ค่าความร้อนสูงสุด (Higher Heating Value; HHV) ของตัวอย่าง DC-Wet อยู่ที่ 4.42 MJ/kg ซึ่งแม้จะสูงกว่า DC-Dry เล็กน้อย (3.95 MJ/kg)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของ DC (Elemental Analysis)

ตัวอย่าง	คาร์บอน (C) (%)	ไฮโดรเจน (H) (%)	ไนโตรเจน (N) (%)	กำมะถัน (S) (%)	ออกซิเจน* (O) (%)
DC-Dry	5.67	1.73	0.21	0.83	91.57
DC-Wet	10.02	2.46	0.16	0.37	86.98

*ออกซิเจนคำนวณจากผลต่างของ 100 - (C + H + N + S)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณและค่าความร้อนของ DC (Proximate Analysis & Heating Value)

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงเหลือ (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน HHV (MJ/kg)
DC-Dry	2.93	11.04	0.36	85.67	3.95
DC-Wet	3.95	26.39	16.05	53.61	4.42

3.1.2 สมบัติด้านความร้อน

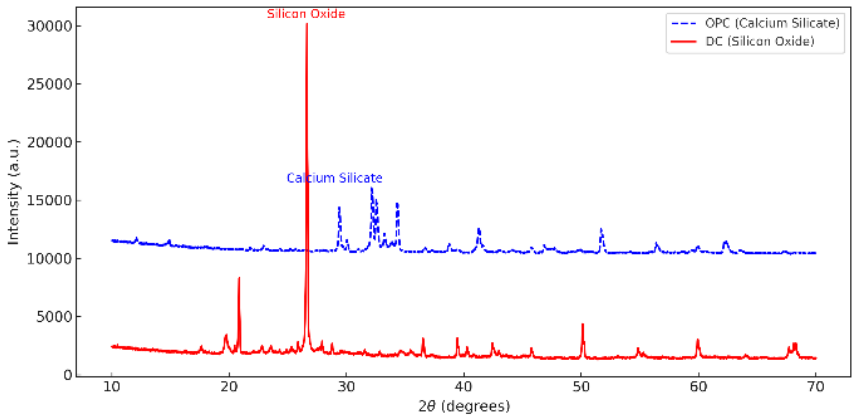
สำหรับการศึกษาสมบัติความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่าทั้งสองตัวอย่างมีลักษณะการสลายตัวคล้ายกัน โดยมีสองช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงแรกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 320°C เกิดจากการสูญเสียน้ำและสารระเหยขนาดเล็ก ส่งผลให้น้ำหนักลดลง 4.68% ใน Dry-DC และ 9.82% ใน Wet-DC และช่วงที่สองที่อุณหภูมิระหว่าง 320–700°C เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้น้ำหนักลดลงรวม 7.80–16.71% โดยรวมแล้ว องค์ประกอบอินทรีย์และน้ำมันที่ปนเปื้อนสามารถสลายตัวได้หมดเมื่อได้รับความร้อนต่ำกว่า 800°C

3.1.3 องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างระดับจุลภาค

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ DC ด้วยเทคนิค XRF (ตารางที่ 4) และ XRD (รูปที่ 4) พบว่า DC มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ SiO_2, CaO และ Al_2O_3 คิดเป็นร้อยละ 60.01, 2.15 และ 19.81 ตามลำดับ ซึ่งธาตุดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ โดย SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบปอซโซลานที่ช่วยเสริมความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุผ่านการเกิดปฏิกิริยา pozzolanic กับ $Ca(OH)_2$ ขณะที่ CaO แม้มีปริมาณน้อยแต่มีส่วนช่วยในกระบวนการเซตตัวของมอร์ตาร์และสนับสนุนการเกิดสารประกอบ C-S-H ซึ่งมีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ [12] แสดงให้เห็นว่า DC มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์เพื่อการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) และเศษหินจากการขุดเจาะ (DC)

ตัวอย่าง	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
OPC	0.99	3.84	18.58	3.65	0.25	69.00	0.10	0.03	3.45
DC	1.76	19.81	60.01	1.57	2.31	2.15	1.08	0.06	9.00

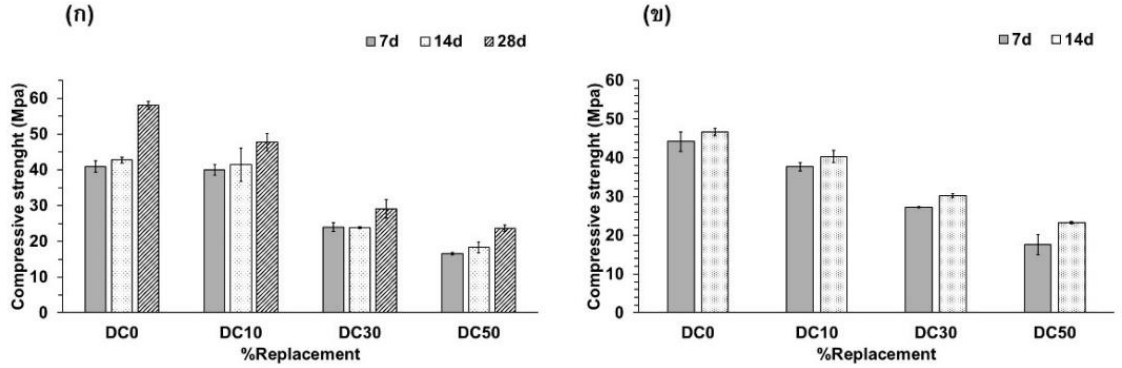


รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางผลึกของ OPC และ DC ด้วยเทคนิค XRD

3.2 คุณสมบัติของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเองในสภาวะแข็งตัว

3.2.1 กำลังอัด

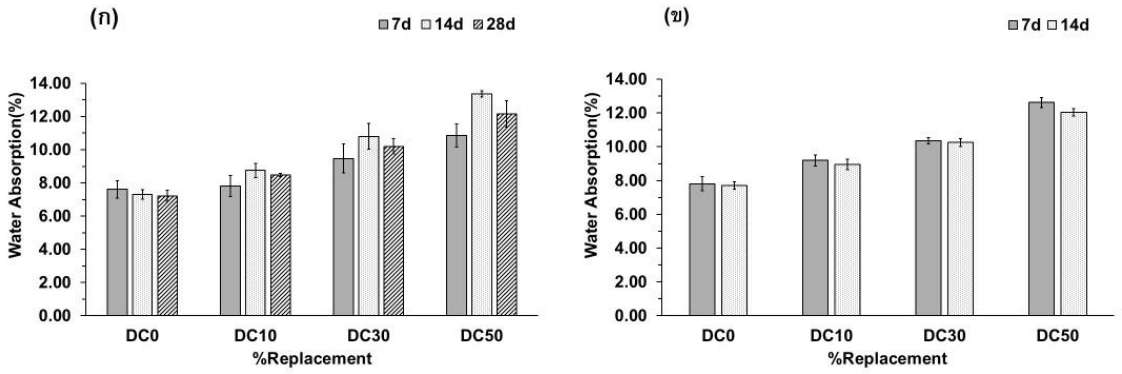
ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-20 [8] ที่ระยะเวลาในการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดสูงสุดของมอร์ตาร์มีค่าเท่ากับ 58.00, 47.71, 29.06 และ 23.63 เมกะปาสคาล (Mpa) สำหรับส่วนผสม DC0, DC10, DC30 และ DC50 ตามลำดับ กำลังอัดของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเองมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ DC ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่า DC แบบ Wet ให้กำลังอัดสูงกว่า DC แบบ Dry อย่างชัดเจน โดยเฉพาะที่ 14 วัน ซึ่งสูตร DC30 ให้ค่ากำลังอัดเพิ่มจาก 23.75 MPa (Dry) เป็น 30.27 MPa (Wet) และ DC50 เพิ่มจาก 18.28 MPa (Dry) เป็น 23.29 MPa (Wet) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของวัสดุ DC ที่มีความแข็งแรงต่ำและความพรุนสูง ส่งผลให้กระบวนการก่อตัวของสารประกอบ C-S-H ไม่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ ส่งผลให้โครงสร้างของมอร์ตาร์มีความหนาแน่นลดลงและไม่สามารถรับกำลังอัดได้ดีเท่ากับสูตรควบคุม



รูปที่ 5 กำลังอัดของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง ก) วัสดุผสมแบบ Dry-DC ข) วัสดุผสมแบบ Wet-DC

3.2.2 ร้อยละการดูดซึมน้ำ

จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C1403-15 [9] (รูปที่ 6) พบว่า ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น โดยในอายุ 7 วัน มอร์ตาร์ที่ผสมด้วย Dry-DC ที่อัตราส่วน 0%, 10%, 30% และ 50% มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 7.61%, 7.81%, 9.46% และ 10.85% ตามลำดับ ขณะที่กลุ่ม Wet-DC มีค่าเท่ากับ 7.82%, 9.19%, 10.35% และ 12.62% แสดงให้เห็นว่าทั้งสภาพความชื้นและปริมาณ DC มีผลต่อระดับการดูดซึมน้ำ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเป็น 14 และ 28 วัน ค่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างชัดเจนในทุกสูตร อันเนื่องมาจากการเกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน เช่น C-S-H ซึ่งช่วยเติมเต็มช่องว่าง ทำให้รูพรุนลดลงและโครงสร้างหนาแน่นขึ้น อย่างไรก็ตาม มอร์ตาร์ที่มี DC ในอัตราส่วน 30% และ 50% ยังคงแสดงค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าสูตรควบคุม แม้ในช่วงบ่ม 28 วัน โดยเฉพาะสูตร Wet-DC50 ที่ยังคงมีค่า 12.62% ซึ่งอาจเกิดจากความพรุนของ DC และการกระจายตัวของวัสดุที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในมากขึ้นและลดประสิทธิภาพของการเกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน ดังนั้น แม้การบ่มจะช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้ แต่การใช้ DC ในอัตราส่วนที่สูงเกินไปอาจส่งผลกระทบเชิงลบต่อความหนาแน่นและความทนทานของมอร์ตาร์ในระยะยาว

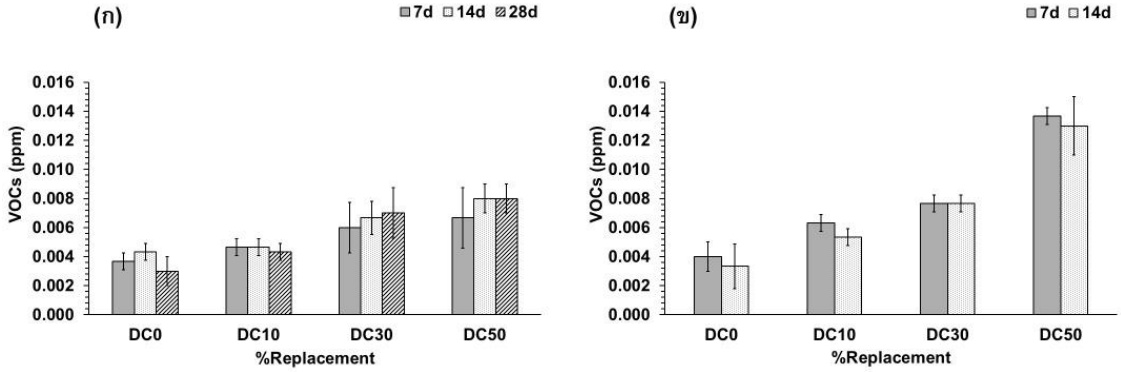


รูปที่ 6 ร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง ก) วัสดุผสมแบบ Dry-DC ข) วัสดุผสมแบบ Wet-DC

3.3 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์การปลดปล่อยสารระเหยอินทรีย์ง่าย (VOCs) จากมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง มอร์ตาร์สูตรควบคุม (DC0) ที่อายุ 7 วัน มีค่า VOCs เท่ากับ 0.00367 ppm (Dry-DC) และ 0.00400 ppm (Wet-DC) ในขณะที่สูตร DC50 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.00667 ppm (Dry-DC) และ 0.01367 ppm (Wet-DC) แสดงให้เห็นว่าทั้งปริมาณและสภาพของ DC ส่งผลต่อระดับการปลดปล่อย VOCs อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มเป็น 14 และ 28 วัน ค่า VOCs มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะสูตร DC50 (Wet-DC) ที่ลดจาก 0.01367 ppm เหลือ 0.01200 ppm ที่อายุ 28 วัน สะท้อนผลของการเกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน เช่น C-S-H ซึ่งช่วยลดการระเหยของสารอินทรีย์ สูตรที่มี DC ในอัตรา 30–50% ยังคงมีค่าการปลดปล่อย VOCs สูงกว่าสูตรควบคุม โดยเฉพาะในกลุ่ม Wet-DC แสดงถึงข้อจำกัดในการใช้ DC ในอัตราส่วนสูง และพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10% เพื่อควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ สูตรควบคุม (DC0) มีค่าการปล่อย CO_2 สูงสุดที่ 0.0731 kg CO_2-eq ต่อก้อนมอร์ตาร์ขนาด 5×5×5 ซม. (ค่าการปล่อยของปูนซีเมนต์ = 0.9 kgCO_2-eq/กก.) [10-11] ขณะที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย DC ที่ระดับ 10%, 30% และ 50% ช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลงเหลือ 0.0658, 0.0512 และ 0.0366 kgCO_2-eq ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นการลดลงสูงสุดถึง 49.9% เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ DC ในการช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตมอร์ตาร์ไหลอัดแน่นด้วยตนเอง



รูปที่ 7 การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายของ (ก) วัสดุผสมแบบ Dry-DC (ข) วัสดุผสมแบบ Wet-DC

4.สรุป

4.1 DC มีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2, Al_2O_3 และ CaO ซึ่งแสดงสมบัติพอซโซลานบางส่วน โดย DC-Wet มีคาร์บอนและค่าความร้อนสูงกว่า DC-Dry แต่ยังอยู่ในระดับต่ำ (<5 MJ/kg) เหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้างมากกว่าพลังงาน

4.2 การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย DC ทำให้กำลังอัดลดลง โดย DC0–DC50 ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดลดลงจาก 58.00 เหลือ 23.63 MPa ส่วน Wet-DC ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าในอัตราส่วนที่มาก

4.3 ด้านการดูดซึมน้ำพบว่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ DC โดยสูตร DC50 (Wet) มีค่าสูงสุดที่ 12.62% อย่างไรก็ตาม ค่าดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่ม

4.4 ค่าการปล่อย VOCs เพิ่มตามปริมาณ DC โดย DC50 (Wet) มีค่า 0.01367 ppm ที่ 7 วัน และลดลงเล็กน้อยเมื่อบ่มนานขึ้น ส่วนการปล่อย CO_2 ลดลงจาก 0.0731 kgCO_2-eq ในสูตรควบคุม เหลือ 0.0366 kgCO_2-eq ในสูตร DC50 คิดเป็นการลดลงสูงสุด 49.9%

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ทำการทดลองตลอดระยะเวลาของการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] International Energy Agency. (2023). *Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050*. https://www.iea.org/reports/cement

[2] Emmanuel, D., Oyelakin, M. A., Efeovbokhan, V. E., & Odetoye, T. E. (2023). Characterization of pre-treated drill cutting waste and its use as fine aggregate in concrete. *Journal of Cleaner Production, 407*, 137234. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137234

[3] Ying, Z., Wu, Y., Li, Z., & Li, Q. (2020). Utilizing shale gas drilling cuttings as admixture in cement mortars. *Journal of Environmental Management, 275*, 111249. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111249

[4] ASTM International. (2019). *ASTM D240-19: Standard test method for heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by bomb calorimeter*. ASTM International. https://www.astm.org/d0240-19.html

[5] ASTM International. (2020). *ASTM C150/C150M-20: Standard specification for Portland cement*. ASTM International. https://www.astm.org/c0150_c0150m-20.html

[6] ASTM International. (2018). *ASTM C33/C33M-18: Standard specification for concrete aggregates*. ASTM International. https://www.astm.org/c0033_c0033m-18.html

[7] ASTM International. (2020). *ASTM C305-20: Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency*. ASTM International. https://www.astm.org/c0305-20.html

[8] ASTM International. (2020). *ASTM C109/C109M-20: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens)*. ASTM International. https://www.astm.org/c0109_c0109m-20.html

[9] ASTM International. (2015). *ASTM C1403-15: Standard test method for rate of water absorption of masonry mortars*. ASTM International. https://www.astm.org/c1403-15.html

[10] Hammond, G., & Jones, C. (2011). *Inventory of carbon & energy (ICE), version 2.0*. University of Bath. https://circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html

[11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). *ฐานข้อมูลปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเทศไทย*. สืบค้นจาก https://www.tgo.or.th

[12] Wang, C., Liu, K., & Huang, D. (2022). Property of concrete made of recycled shale gas drilling cuttings. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(2), 2098–2106. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15817-y

20R1-12

การประยุกต์ใช้หนอนแมลงวันลายเพื่อลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและการตกค้างของขยะอาหารตามหลักการ BCG ต้นแบบมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Application of Black Soldier fly larvae to reduce the production of greenhouse gases and residues of food waste according to BCG principles, a model of Ubon Rathani Rajabhat University

กุลวรรณ โสรัจจ์[1*] อนุวัฒน์ ยินดีสุข[1] และ ธีรวรรณ บุญโทแสง[1]
Kunlawan Sorach[1*], Anuwat Yindeesuk[1] and Teerewan Boonthosaeng[1]
[1]อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000
โทรศัพท์ : 045-352000 ต่อ 1415 โทรสาร : 045-252070, E-mail : sorach.k@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและการตกค้างของขยะอาหารเพื่อเป็นแนวทางการจัดการขยะอาหารในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี โดยทำการศึกษาวิจัยนำหนอนแมลงวันลายอายุ 10 วัน (น้ำหนักรวม 10 กิโลกรัม) นำไปทดลองกำจัดอาหารปริมาณเฉลี่ย 100 กิโลกรัม/วัน เป็นระยะเวลา 18 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่ถูกกำจัดโดยหนอนแมลงวันลายและปริมาณขยะอาหารที่เหลือ ประเมินค่าการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการทดลองพบว่าหนอนแมลงวัน สามารถกำจัดขยะอาหารวันละ 40-100 กิโลกรัม ที่อัตราหนอนแมลงวัน 1 กิโลกรัมต่อขยะอาหาร 4-10 กิโลกรัม โดยเฉลี่ยวันละ 77 กิโลกรัม ในระยะเวลา 18 วัน สามารถกำจัดขยะอาหารได้ดีที่สุดในวันที่ 4-11 เทียบได้ในระยะ 3-4 instar larvae เมื่อประเมินการคำนวณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก 2 ส่วน คือ 1) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการกำจัดขยะอาหารด้วยหนอนแมลงวันลายมีค่าระหว่าง 20.4-51 $KgCO_2eq$ ต่อวัน เฉลี่ย 39.38 $KgCO_2eq$ และ 2) การลดลงของก๊าซเรือนกระจกจากขยะอาหารที่เหลือที่ถูกนำไปหมักเป็นปุ๋ย มีค่าระหว่าง 0-74.38 $KgCO_2eq$ ต่อวัน เฉลี่ย 26.73 $KgCO_2eq$ สรุปได้ว่าการจัดการขยะอาหารตามหลักการ BCG ทั้ง 2 แบบ สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากฝังกลบขยะอาหารเท่ากับ 2934.92 $KgCO_2eq$

คำสำคัญ : ขยะอาหาร; หนอนแมลงวันลาย; ก๊าซเรือนกระจก; หลักการ BCG

Abstract

This is experimental research, which objectives were to study the reduction of greenhouse gas emissions and food waste residues as a guideline for food waste management at Ubon Ratchathani Rajabhat University. The study was conducted by using 10-day black soldier fly larvae (BSFL, total 10 kilograms) to dispose an average of 100 kilograms of food waste per day for 18 days. The amount of food disposed by the black soldier fly larvae and the amount of food waste remaining were recorded, the greenhouse gas emission reduction was assessed. The experimental results found that the BSFL can dispose of 40-100 kilograms of food waste per day at a ratio of 1 kilogram of BSFL: 4-10 kilograms of food waste, an average of 77 kilograms/day. In 18 days, the best effective disposing on days 4-11, comparable to the stage of 3-4 instar larvae. When evaluating the calculation of greenhouse gas emission reduction from 2 parts: 1) the reduction of greenhouse gas emissions by disposing of food waste with black soldier fly larvae has a value between 20.4-51 $KgCO_2eq$/day, an average of 39.38 $KgCO_2eq$/day, and 2) the reduction of greenhouse gases from the remaining food waste that is composted, has a value between 0-74.38 $KgCO_2eq$/day, an average of 26.73 $KgCO_2eq$/day. In conclusion, managing food waste according to the BCG principles in both methods can reduce greenhouse gas emissions from food waste instead of landfills by 2934.92 $KgCO_2eq$.

Keywords: food waste; black soldier fly larvae; greenhouse gas emissions; BCG principles

บทนำ

“ขยะอาหาร” (Food Waste) ที่มีตัวการมาจาก “เศษอาหาร” ซึ่งสถานการณ์ของประเทศไทย พบร้อยละ 64 ของขยะมูลฝอยคือ “ขยะอาหาร” โดยคนไทย 1 คน สร้างขยะอาหารสูงถึง 254 กิโลกรมต่อปี ทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากการหมักและย่อยสลายกลายเป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่มีความรุนแรงกว่า แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 27-30 เท่า เมื่อปี [1] พ.ศ.2561 ทีมวิจัยจากประเทศสวิตเซอร์แลนด์พบว่า การย่อยสลายขยะของหนอนแมลงวันลาย (Black soldier fly larvae, BSFL) นั้นปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการทำปุ๋ยหมักชีวภาพถึง 47 เท่า [2] โดยเลี้ยงเพียง 2 สัปดาห์ จะมีขนาดใหญ่ได้ถึง 5,000 เท่า ไม่เป็นพาหะนำโรคให้กับมนุษย์ ไม่เป็นศัตรูพืช รวมถึงเป็นผู้ย่อยสลายตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันจึงเกิดแนวคิดในการนำ BSF มาปรับประยุกต์ใช้ในการกำจัดขยะอาหารเพิ่มขึ้น [3,4,5]

การนำเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ภายใต้หลักการ Bio-Circular-Green model (BCG model) มาปรับประยุกต์กับการจัดการขยะอาหาร จึงการวางแผนให้ทรัพยากรในระบบสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมและ/หรือนำกลับมาใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุด คือกระบวนการใช้ประโยชน์มากกว่าที่จะมุ่งเน้นการกำจัดโดยการฝังกลบซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการในปัจจุบันและเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการใช้ประโยชน์จากขยะอาหารโดยทั่วไป คือ การนำไปทำอาหารสัตว์ การหมักทำปุ๋ยและการทำน้ำหมัก ทั้งนี้ปัญหาปัจจุบันพบว่ายังขาดการจัดการขยะที่ต้นทาง การขาดแรงจูงใจ ความตระหนัก การประสานและเชื่อมโยงรวมถึงการนำขยะอาหารไปใช้ประโยชน์อย่างครบวงจร

ทั้งนี้มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีเป็นสถานศึกษาขนาดใหญ่ในจังหวัดอุบลราชธานี มีจำนวนนักศึกษารวมกับบุคลากรมากกว่า 18,000 คน เป็นผลทำให้เกิดขยะในพื้นที่สถานศึกษาโดยเฉพาะขยะอาหารมากกว่า 1,500 กิโลกรัมต่อวัน แม้ว่าปัจจุบันมีการจัดการขยะอาหารด้วยการหมัก แต่ใช้ระยะเวลานาน และใช้พื้นที่มาก อาจไม่สามารถกำจัดขยะอาหารได้อย่างพอเพียง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการจัดการขยะอาหารภายใต้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน รวมถึงศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกของการจัดการขยะอาหารด้วยหนอนแมลงวันลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและการตกค้างของขยะอาหารเพื่อเป็นแนวทางการจัดการขยะอาหารในมหาวิทยาลัย และนำผลการศึกษาไปใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการจัดการขยะอาหารด้วยหนอนแมลงวันลายเพื่อนำไปขยายผลในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง พื้นที่ในการวิจัยคือมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยทำการศึกษาวิจัย ระหว่างเดือน ตุลาคม พ.ศ.2566 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 โดยมีขอบเขตของกิจกรรม ได้แก่ 1) การนำขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหารไปใช้เป็นอาหารสัตว์ และ 2) การผลิตปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ ดังต่อไปนี้

1) การนำขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหารไปใช้เป็นอาหารสัตว์

1. มีการคัดแยก และรวบรวมเศษอาหารไปใช้ประโยชน์แทนการนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบ
2. มีการนำเศษอาหารไปใช้เลี้ยงสัตว์ ในกรณีนี้คือ หนอนแมลงวันลาย
3. สามารถตรวจวัดน้ำหนักเศษอาหารได้ โดยน้ำหนักของเศษอาหารต้องเป็นน้ำหนักแห้ง (ไม่รวมน้ำ)

2) การผลิตปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์

1. มีการคัดแยกขยะอินทรีย์ ได้แก่ กิ่งไม้ใบไม้ และ/หรือเศษอาหาร เพื่อรวบรวมนำมาหมักให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ เพื่อให้ได้สารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการบำรุงดิน
2. สามารถตรวจวัดน้ำหนักขยะอินทรีย์แต่ละประเภทได้

วิธีการดำเนินงาน

1. เตรียมหนอนแมลงวันลายอายุ 10 วัน (น้ำหนักรวม10 กิโลกรัม) นำไปทดลองกำจัดอาหารปริมาณเฉลี่ย 100 กิโลกรัม/วัน โดยแบ่งเลี้ยงในบ่อปูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร จำนวน 2 บ่อ ปริมาณอาหารที่เหลือจากการกินของหนอนแมลงวันลายนำไปทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง

2. บันทึกการตกค้างของขยะอาหารและคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยสมการคำนวณ

2.1 การนำขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหารไปใช้เป็นอาหารสัตว์

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq) = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (kgCO2eq)
- ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (kgCO2eq)

ก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (kgCO2eq) = (Wfood*EF_swd food) + (Wfood *0.5 *EF feed_animal)

2.2 การผลิตปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq) = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (kgCO2eq)
- ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (kgCO2eq)

ก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (kgCO2eq) = = (W food*EF_swd food) + (Wgarden*EF_swd garden

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (kgCO2eq

= ((Wfood+Wgarden)*(EFch4_compost+EFn2o_compost)) + (Elec * EF elec)

ตารางที่ 1 ค่าอ้างอิงในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [6]

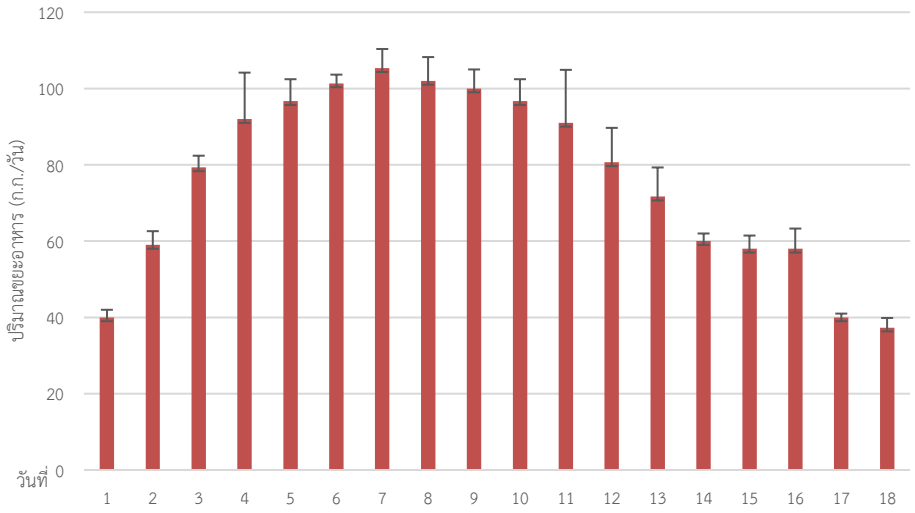
ลำดับ	ตัวแปร	รายละเอียด	แหล่งที่มาข้อมูล	หน่วย	ค่า
1	W_{food}	น้ำหนักเศษอาหาร	ชั่งน้ำหนัก	กิโลกรัม	บันทึก
2	EF_swd food	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการจัดการขยะประเภทเศษอาหารด้วยวิธีการฝังกลบ (ประเภทของหลุมฝังกลบไม่มีระบบจัดการ ลึกมากกว่า 5 เมตร)	T-VER-TOOL-WASTE-01 Version 7 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน	$kgCO_2eq/kg$ อาหาร	0.5739
3	EF_swd garden	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการจัดการขยะประเภทกิ่งไม้ ใบไม้ด้วยวิธีการฝังกลบ (ประเภทของหลุมฝังกลบไม่มีระบบจัดการ ลึกมากกว่า 5 เมตร)	T-VER-TOOL-WASTE-01 Version 7 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน	$kgCO_2eq/kg$ กิ่งไม้/ใบไม้	0.9633
4	EFch4_compost	ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากการหมักขยะอินทรีย์	T-VER-METH-WM-03 Version 08 การผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์, GWP IPCC Fifth Assessment. Report	$kgCO_2eq/kg$ ขยะอินทรีย์	0.0560
5	EFn2o_compost	ค่าการปล่อยก๊าซไนตรัสออไซด์จากการหมักขยะอินทรีย์	T-VER-METH-WM-03 Version 08 การผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์, GWP IPCC Fifth Assessment. Report	$kgCO_2eq/kg$ ขยะอินทรีย์	0.0530
6	EF_{elec}	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบสายส่งสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า	รายงานผลการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยฉบับล่าสุด โดย อบก.	$kgCO_2eq/kWh$	0.4857
	หมายเหตุ: 1) $kgCO_2eq$ คือ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า				
	2) ค่าศักยภาพทำให้โลกร้อน (GWP) ของก๊าซมีเทน เท่ากับ 28 และก๊าซไนตรัสออกไซด์ เท่ากับ 265 (อ้างอิง IPCC Fifth Assessment. Report (AR5))				
	3) ไม่พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไส้เดือนและหนอนแมลงวันลาย				

3. ศึกษาเปรียบเทียบเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการจัดการขยะอาหารด้วยหนอนแมลงวันลายเพื่อเป็นแนวทางการจัดการขยะอาหารในมหาวิทยาลัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาณการกำจัดขยะอาหารของหนอนแมลงวันลาย

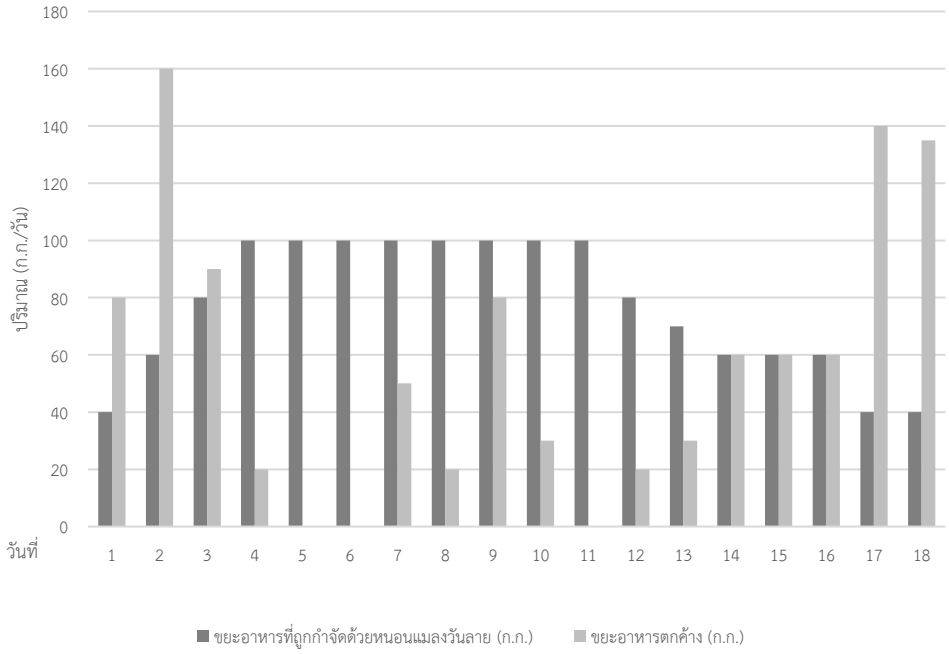
จากการทดลองพบว่าหนอนแมลงวันลาย 10 กิโลกรัม สามารถกำจัดขยะอาหารวันละ 40-100 กิโลกรัม ที่อัตรา หนอนแมลงวัน 1 กิโลกรัมต่อขยะอาหาร 4-10 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเฉลี่ยวันละ 77 กิโลกรัม ในระยะเวลา 18 วัน สามารถกำจัดขยะอาหารได้ดีที่สุดในวันที่ 4-11 เทียบได้ในระยะ 3-4 instar larvae



ภาพที่ 1 ปริมาณการกำจัดขยะอาหารของหนอนแมลงวันลาย (กิโลกรัม/วัน)

2. การตกค้างของขยะอาหาร

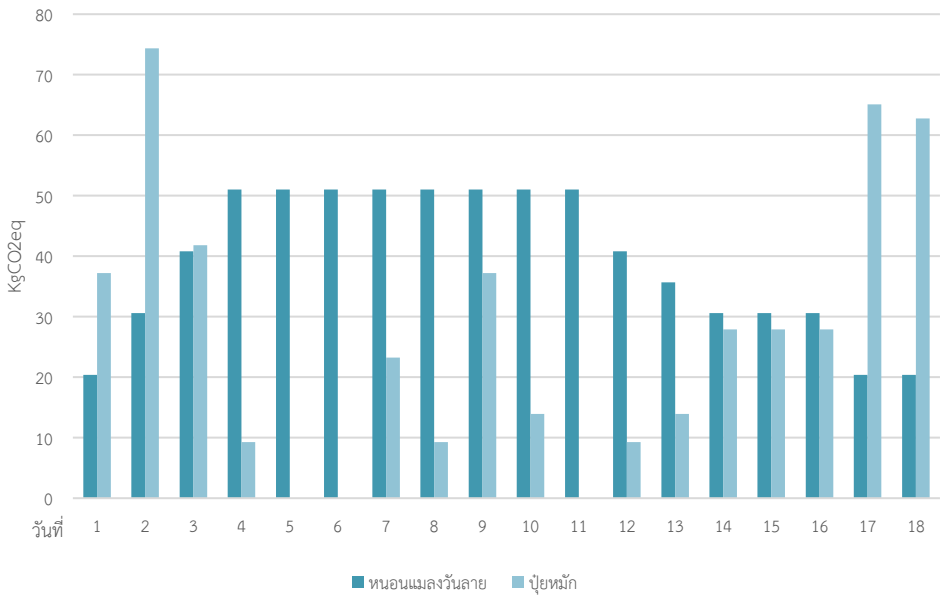
การตกค้างของขยะอาหาร มีปริมาณแตกต่างกันแต่ละวันที่ 100-220 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยวันละ 135 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 65 ในระยะเวลาการทดลอง ดังนั้นจะมีขยะอาหารตกค้างหลังจากการจัดการของหนอนแมลงวันลายมีปริมาณ 0-160 กิโลกรัม (ภาพที่ 2) เฉลี่ยวันละ 58 กิโลกรัม ซึ่งจะถูกจัดการโดยการหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์โดยนำไปผสมดิน ใบไม้แห้ง เป็นระยะเวลา 4 เดือน



ภาพที่ 2 ปริมาณขยะอาหารที่ถูกกำจัดโดยหนอนแมลงวันลายและขยะอาหารที่เหลือ (กิโลกรัม/วัน)

3. การคำนวณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก 2 ส่วน คือ 1) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการกำจัดขยะอาหารด้วยหนอนแมลงวันลายมีค่าระหว่าง 20.4-51 $KgCO_2eq$ ต่อวัน เฉลี่ย 39.38 $KgCO_2eq$ และ 2) การลดลงของก๊าซเรือนกระจกจากขยะอาหารที่เหลือที่ถูกนำไปหมักเป็นปุ๋ย มีค่าระหว่าง 0-74.38 $KgCO_2eq$ ต่อวัน เฉลี่ย 26.73 $KgCO_2eq$ ดังภาพที่ 3 และเมื่อคำนวณปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ พบว่าสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2934.92 $KgCO_2eq$



ภาพที่ 3 การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยหนอนแมลงวันลายและการหมักปุ๋ย

ตารางที่ 2 ตารางการคำนวณปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (วันที่ 1-30 พฤศจิกายน พ.ศ.2566)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (KgCO2eq)	การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	=	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน	-	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ
การผลิตปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์	1,756.00	=	2,613.12	-	856.30
การนำขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหารไปใช้เป็นอาหารสัตว์	1,178.00	=	1,178.10	-	0
ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	**2934.92**	=	3791.22	-	856.30

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการกำจัดขยะอาหารตามหลักการ BCG ต้นแบบมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

หัวข้อการเปรียบเทียบ (ต่อการผลิต 1 รอบ)	หน่วย	วิธีการกำจัดขยะอาหาร	
		หนอนแมลงวันลาย	การทำปุ๋ยหมัก
ระยะเวลา	วัน	20	120
ปริมาณการกำจัด	ก.ก./วัน	10 : 1 น้ำหนักขยะอาหาร: น้ำหนักหนอน	200
ระยะเวลาทำงาน	ชั่วโมง/วัน	1 ชั่วโมง	3-4 ชั่วโมง
พื้นที่	ตารางเมตร	2	480
สภาพแวดล้อม		โรงเรือน และ กลางแจ้ง (มีร่มเงา)	กลางแจ้ง (มีร่มเงา)
วัสดุ		ขยะอาหาร หนอนแมงวันลาย น้ำหมักชีวภาพ (EM)	ขยะอาหาร ใบไม้แห้ง ดิน น้ำหมักชีวภาพ (EM)
ผลผลิต		หนอนแมลงวันลาย ปุ๋ยมูลหนอนแมลงวันลาย	ปุ๋ยหมัก
ราคาผลผลิต	บาท/กิโลกรัม	หนอนสด 400-500 บาท หนอนอบแห้ง 1,200-1,400 บาท ปุ๋ยมูลหนอน 30-50 บาท	ปุ๋ยหมัก 4-6 บาท

สรุป

การประยุกต์ใช้หนอนแมลงวันลายเพื่อลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและการตกค้างของขยะอาหารตามหลักการ BCG ต้นแบบมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ซึ่งมีปริมาณขยะอาหารเฉลี่ย 4,000 กิโลกรัมต่อเดือน ในกรณีที่ต้องการจัดการ net zero ขยะอาหารในมหาวิทยาลัยจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนบ่อเลี้ยงหนอนแมลงวันลายเป็น 2 เท่า และสร้างที่เพาะพันธุ์ และวางไข่ขยายพันธุ์ 2-3 รุ่น ครั้งละไม่ต่ำกว่า 20 กิโลกรัม เพื่อให้ได้จำนวนหนอนแมลงวันลายในการกำจัดขยะอาหารได้ทั้งหมดตลอดทั้งเดือน อย่างไรก็ดีการใช้รูปแบบผสมผสานระหว่างหนอนแมลงวันลายและการหมัก มีความเหมาะสมในกรณีที่มีขยะอาหารปริมาณมาก มีพื้นที่ และระบบนิเวศที่เหมาะสม เช่น สถานศึกษา องค์กรปกครองท้องถิ่น เป็นต้น เนื่องจากจะช่วยลดภาระในการกำจัดขยะอาหาร ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกแล้วยังสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มรายได้อีกด้วย ทั้งนี้การจัดการขยะอาหารด้วยหนอนแมลงวันลายมีความเหมาะสมสำหรับแหล่งที่มีขยะอาหารสุก ผ่านกระบวนการมาแล้ว และมีปริมาณมาก เช่น โรงอาหารจากโรงเรียน มหาวิทยาลัย ร้านอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งในปฏิบัติการรายวิชาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีในการอนุเคราะห์สถานที่ทดลอง และงานอาคารสถานที่ในการอนุเคราะห์การทดลองและเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2567). แผนที่นำทางการจัดการขยะอาหาร (พ.ศ. 2566 – 2573) และแผนปฏิบัติด้านการจัดการขยะอาหาร ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2566 – 2570).

[2] Adeline Mertenat, Stefan Diener, and Christian Zurbrügg. (2019). Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. Waste Management 84 :173–181

[3] ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2560. หนอนแม่โจ้: อีกหนึ่งผู้ย่อยขยะอินทรีย์ที่น่าจับตา. https://www.nstda.or.th/agritec/maejo-maggots/. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2567.

[4] ธีรพงษ์ ใจชาญสุขกิจ และคณะ. (2563). การเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย (Black Soldier Fly: *Hermetia illucens*) ด้วยขยะอินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอาหารสัตว์.คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา.

[5] อรรถกร คำฉัตร และ คณะ. (2567). การใชหนอนแมลงวันลายในการกำจัดขยะอาหารในมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี. Life Sciences and Environment Journal 2024; 25(2): 454-465.

[6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). โครงการด้านการจัดการของเสีย (WASTE). แหล่งที่มา : URL: https://ghgreduction.tgo.or.th/th/calculation/less-calculate-document/less-waste.html สืบค้นเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2567.

20R1-13

การประเมินการแพร่กระจายฝุ่น PM_{10} จากโรงโม่หิน ด้วยแบบจำลอง AERMOD กรณีศึกษา จังหวัดสระบุรี

Evaluation of the distribution of PM_{10} from stone mills by AERMOD model case study of Saraburi province

สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์[1] เจษฎานันท์ เวียงนนท์[2*] ภรณ์ดรัลรัตน์ สุชามาลาวงษ์[3] และนิอร งามฮุย[1]
Sutthicha Nilrit[1] Jessadanan Wiangnon[2*] Phorndranrat Suchamalawong[3] and Nion Ngamhui[1]
[1]อาจารย์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000
[2*]อาจารย์ วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ 10330
[3]วิทยาจารย์ชำนาญการพิเศษ ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม กรุงเทพฯ 10270
โทรศัพท์ : 08 1369 7904, E-mail : Jessadanan@nmu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินผลกระทบจากโรงโม่หินในพื้นที่จังหวัดสระบุรีรวม 33 แห่ง ซึ่งจะมีการปลดปล่อยฝุ่นละออง PM_{10} จากกิจกรรมที่เกิดขึ้น โดยจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานในระดับสูงทุกปี ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อยู่อาศัยในพื้นที่ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD พบว่า ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ สถานีตำรวจภูธรตำบลหน้าพระลาน โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว และวัดพุกร่าง มีค่าฝุ่น PM_{10} สูง ซึ่งอยู่ใกล้กับถนนมีฝุ่นละอองจากยานพาหนะ รวมทั้งเหมืองแร่หินอุตสาหกรรม และโรงโม่หิน ทำให้ค่าตรวจวัดคุณภาพอากาศในปัจจุบันบริเวณสถานีตรวจวัดใกล้เคียงกับจุดสังเกตที่ประเมินผลกระทบจากแบบจำลอง ส่งผลให้มีค่าฝุ่นละอองสูงกว่าผลลัพธ์จากการประเมินด้วยแบบจำลอง และการศึกษาครั้งนี้ยังได้ประเมินผลกระทบในกรณีที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นละออง และกรณีที่มีการควบคุมฝุ่นละอองที่ประสิทธิภาพร้อยละ 50-90 ของโรงโม่หิน โดยมีโรงโม่หินบางแห่งที่สามารถควบคุมฝุ่นละอองได้มากกว่าร้อยละ 90 เช่น โรงโม่หินที่ใช้ระบบถุงกรอง ทำให้ลดการปลดปล่อยฝุ่นละอองได้ และสามารถนำแบบจำลอง AERMOD มาประยุกต์ใช้จำลองการปลดปล่อย PM_{10} ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดในพื้นที่จริงทำให้เข้าใจกำเนิดฝุ่นละอองชนิดโรงโม่หินในจังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรและวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศไทย ทั้งนี้ต้องมีการนำเข้าข้อมูลที่เป็นจริงที่มีความถูกต้องเพื่อนำไปสู่การประเมินฝุ่น PM_{10} ที่มีผลลัพธ์อย่างแม่นยำนำไปสู่การจัดการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : ฝุ่นละออง PM_{10}; มลพิษทางอากาศ; โรงโม่หิน; แบบจำลอง AERMOD; คุณภาพอากาศ

Abstract

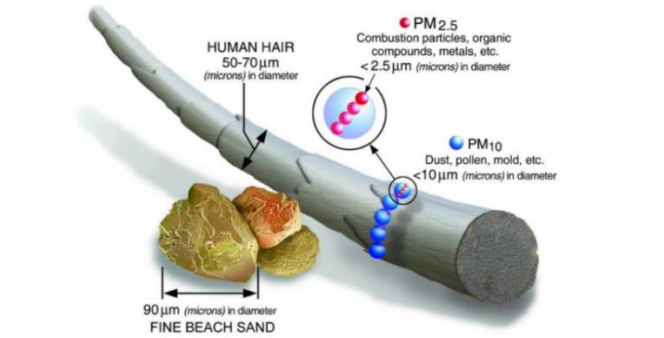
This study evaluates the impact of stone crushing plants on air quality in Saraburi Province (33 plants), with a focus on PM_{10} emissions from operational activities. Air quality monitoring data indicate that PM_{10} concentrations have consistently exceeded national standards, posing significant environmental and public health concerns. Using the AERMOD dispersion model, key monitoring stations, including Na Phra Lan Police Station, Ban Khung Khao Khiao School, and Phuk Rang Temple, were analyzed for PM_{10} pollution levels. These locations, situated near roads, industrial rock mines, and stone crushing plants, exhibited high PM10 concentrations. The results demonstrated that real-time air quality measurements closely align with the AERMOD simulation outputs. However, actual measurements at monitoring stations often exceed model predictions due to additional sources such as vehicular emissions. Furthermore, this study assessed different control scenarios, including cases without dust control and with mitigation efficiencies ranging from 50% to 90%. Some stone crushing plants employing baghouse filter systems achieved over 90% reduction in PM_{10} emissions. The findings confirm that AERMOD can effectively simulate PM10 dispersion patterns in the study area, providing insights into airborne particulate sources from stone crushing operations. Given that Saraburi

serves as a major supplier of raw materials for Thailand's construction industry, accurate data input is essential to ensure reliable PM_{10} assessments. These results highlight the need for sustainable air pollution management strategies to mitigate the environmental and health impacts of particulate emissions.

Keywords : PM_{10}; Air Pollution; Stone Mill; AERMOD Model; Air Quality

บทนำ

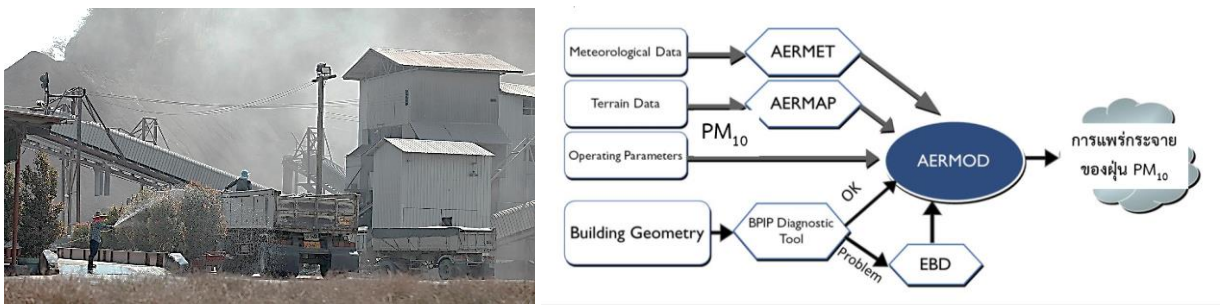
การศึกษาครั้งนี้จะประเมินผลกระทบจากโรงโม่หินในพื้นที่จังหวัดสระบุรี รวม 33 แห่ง ซึ่งจะมีการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและทัศนียภาพโดยรอบ [1] ฝุ่น PM_{10} หรือเรียกว่า ฝุ่นหยาบ (Course Particles) คือ อนุภาคฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.5 – 10 ไมครอน ฝุ่นประเภทนี้เมื่อรวมกันเป็นจำนวนมากแล้วมักจะสังเกตเห็นได้ง่ายจากกิจกรรมของโรงโม่หิน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งสถานีตรวจวัดบริเวณสถานีตำรวจภูธรตำบลหน้าพระลาน (24T) พบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในระดับสูง โดยจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานในระดับสูงทุกปี และถูกประกาศเป็นเขตควบคุมมลพิษทางอากาศ [2] ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการประเมินผลกระทบจากมลพิษทางอากาศดังกล่าว เพื่อศึกษาขอบเขตและระดับความรุนแรงของผลกระทบจากฝุ่นละอองชนิด PM_{10} ที่มีต่อคุณภาพอากาศในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบจากแหล่งกำเนิดต่อไป



รูปที่ 1 การเทียบขนาดของฝุ่น PM $_{10}$ และฝุ่นขนาดอื่นกับเส้นผม
ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Particulates

อุปกรณ์และวิธีการ

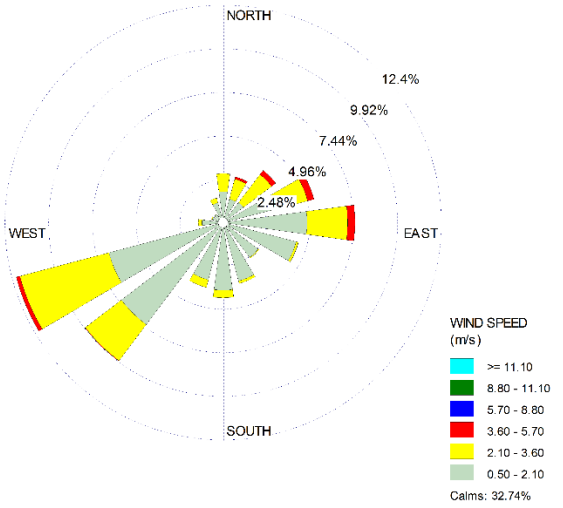
การประเมินการปลดปล่อยฝุ่น PM_{10} แหล่งกำเนิดชนิดโรงโม่หิน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD Version 9.7.0 ในการทำนายความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ [3] ตัวแบบจำลองเป็น Steady-State Plume Model ซึ่งใช้ Gaussian Plume Equation เป็นสมการพื้นฐานในการประเมินการแพร่กระจาย ใช้ทฤษฎีของชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Planetary Boundary Layer) การกำหนดความคงตัวของบรรยากาศ (Stability Parameter) ทิศทางลมความสูงของชั้นผสม (Mixing Height) และการคำนวณความสูงของพลูม ในการทำนายความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ มีการตรวจสอบความถูกต้อง (Validate) ของข้อมูลสอดคล้องตามมาตรฐานจัดเป็น Regulatory Model ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม และสามารถนำผลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดจริงได้ ซึ่งมีค่า Fractional Bias (FB) ใกล้เคียงกับ 0.1 แสดงว่าโมเดลมีความแม่นยำสูง [4] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การนำเข้าข้อมูลสภาพแวดล้อมเพื่อประเมินการปลดปล่อย PM_{10} ด้วยแบบจำลอง AERMOD

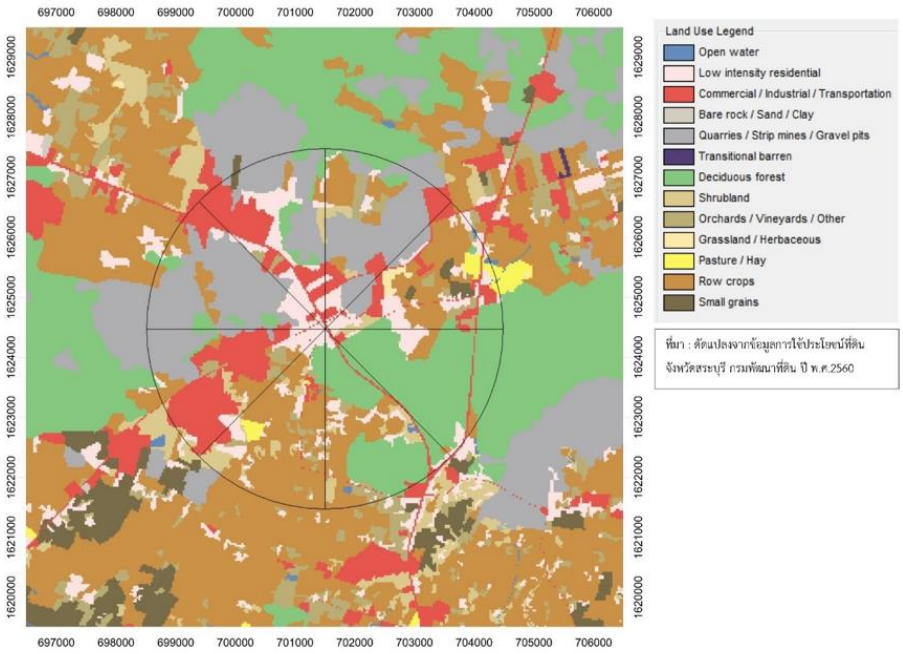
ในการประเมินสภาวะอากาศเพื่อใช้คำนวณการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลอง AERMOD [5] มีข้อมูลนำเข้าข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data) แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว (Surface Meteorological Data) แบ่งเป็น 1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว (Surface Meteorological Data) ได้แก่ ข้อมูลทิศทางและความเร็วลม (Wind Speed & Direction) และอุณหภูมิ (Temperature) เป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ราย 1 ชั่วโมง ระยะเวลา 1 ปี ล่าสุดในปี พ.ศ. 2561 จากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาพื้นผิวที่ตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด คือ สถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี (24T) ของกรมควบคุมมลพิษ ระยะห่างจากโรงโม่หินในพื้นที่ศึกษาที่ใกล้ที่สุดประมาณ 750 เมตร ไปทางทิศตะวันออก สำหรับข้อมูลปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) และความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) เป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศพระนครศรีอยุธยา (รหัสสถานี 415301/48415) ของกรมอุตุนิยมวิทยา มีระยะห่างประมาณ 21 กิโลเมตร ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ระยะเวลา 1 ปี ล่าสุดในปี พ.ศ. 2561 โดยข้อมูลจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของข้อมูลรายชั่วโมง โดยใช้วิธีการตามที่ระบุในแนวทางการใช้แบบจำลองเพื่อการประเมินการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศ ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (พ.ศ.2561) สำหรับข้อมูลผังลมสถานีตรวจวัดอากาศสถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี (24T) ของกรมควบคุมมลพิษ และ 2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับสูง (Upper Air Meteorological Data) เป็นข้อมูล 1 ปีล่าสุด พ.ศ.2561 ประกอบด้วยข้อมูล ความดัน ทิศทางและความเร็วลม และอุณหภูมิ ในแต่ละระดับความสูงเหนือพื้นดินขึ้นไป จากสถานีอุตุนิยมวิทยาระดับสูงที่ใกล้ที่สุด คือสถานีกรุงเทพ บางนา สกษ. (รหัสสถานี 48453) ซึ่งเป็นข้อมูลจากแบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) (Lakes Environmental Software, 2019) ในรูปแบบ FSL Radiosonde Database เนื่องจากข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาชั้นบนของกรมอุตุนิยมวิทยามีข้อมูลขาดหายจำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังลมสถานีตรวจวัดอากาศสถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี (24T) ของกรมควบคุมมลพิษ

2. ข้อมูลลักษณะพื้นผิว (Surface Data) โดยพิจารณาจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประกอบด้วยข้อมูล ความดัน ทิศทางและความเร็วลม และอุณหภูมิ ในแต่ละระดับความสูงเหนือพื้นดินขึ้นไป ประกอบด้วย ค่า Surface Roughness Length ค่า Bowen Ratio และค่า Albedo พิจารณาจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้แผนที่สภาพการใช้ที่ดินปีล่าสุดของจังหวัดสระบุรี พ.ศ.2560 ของกรมพัฒนาที่ดิน และใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณรอบพื้นที่สถานีตรวจวัดอากาศสถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี (24T) เป็นจุดศูนย์กลาง โดยกำหนดค่าดังกล่าวใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (ฤดูฝน) และเดือนพฤศจิกายน-เมษายน (ฤดูแล้ง (ฤดูร้อนและฤดูหนาว)) และเลือกใช้ค่าต่างๆ ได้แก่ 1) ค่า Surface Roughness Length ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก ในรัศมี 3 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 8 ส่วน ซึ่งค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ 2)ค่า Bowen Ratio ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ภายในพื้นที่ 10 กิโลเมตร x 10 กิโลเมตร และ 3) ค่า Albedo ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ภายในพื้นที่ 10 กิโลเมตร x 10 กิโลเมตร เป็นข้อมูลการสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบสถานีตรวจวัดอากาศหน้าสถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบสถานีตรวจวัดอากาศสถานีตำรวจภูธรหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ในรัศมี 3 กิโลเมตร และพื้นที่ 10 x 10 ตารางกิโลเมตร

3. จุดสังเกต (Sensitive Area) จุดสังเกตที่ใช้ศึกษาแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) จุดสังเกตรอบแหล่งกำเนิด ซึ่งได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา 20 x 20 ตารางกิโลเมตร โดยกำหนดความละเอียดของกริดแบบคงที่ (Uniform Cartesian) ในแนวนอน 41 จุด และแนวตั้ง 41 จุด แต่ละจุดห่างกัน 500 เมตร และ 2) จุดสังเกตที่ให้ความสนใจเป็นพิเศษ ได้แก่ พื้นที่อ่อนไหวต่อการได้รับผลกระทบ (Sensitive receptors) จำนวน 111 จุด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัด โรงเรียน สถานพยาบาล และหน่วยงานราชการ ได้แก่ โรงพยาบาลพระพุทธบาท วัดถ้ำเต่า วัดเขาพรหมสวรรค์ วัดศีรีวง วัดคุ้งเขาเขียววนาราม ศาลเจ้าพ่อเขาขาว วัดหน้าพระลาน รพ.สต.หน้าพระลาน สำนักสงฆ์พุทธนรมิต วัดศรัทธาประชากร วัดป่าสมพรชัย วัดถ้ำโพธิ์ญาณ วัดซอยสิบ วัดเบญจคีรันดร สำนักสงฆ์ถ้ำนาคราช สำนักสงฆ์สวนป่าสมุนไพร วัดถ้ำศรีวิไล วัดนิคมเขมาราม รพ.สต.บ้านหนองจาน วัดปราสาททองทรงธรรม วัดถ้ำกระบอก วัดนิคมวาสี รพ.สต.พุคำจาน วัดพุคำบรรพต วัดหนองกระทุ่ม วัดพรหมประสิทธิ์ วัดเขาบอระเพ็ด วัดนิคมวาสี วัดซับชะอม รพ.สต.ซับชะอม มณฑปพระพุทธบาท สำนักสงฆ์เขาน้อย วัดพุกร่าง วัดบ้านโพธิ์ วัดหนองโป่ง วัดโคกดินแดง สำนักสงฆ์เขานกพิราบ วัดบ่อโศก วัดปางคล้อ วัดถ้ำพระธาตุเจริญธรรม วัดหนองหว้า รพ.สต.พุแค วัดประสิทธิ์พรชัย วัดพุแค วัดม่วงฝ้าย วัดดอยหินปูน วัดหนองสุทธะ รพ.สต.ห้วยป่าหวาย วัดใหม่สุวรรณโณ วัดศรีจอมทอง วัดบ้านน้อย วัดเขาพลัด วัดเขาวง วัดซับบอน สำนักสงฆ์ถ้ำมงกุฎทอง วัดลับแลบุญส่ง วัดสามัคคีธรรม วัดเขาดินใต้ รพ.สต.เขาดินใต้ วัดหนองคล้า วัดเขตสว่าง วัดถ้ำเจริญสุข วัดหนองแฝกเหลี่ยม วัดตรีบุญญาราม วัดถ้ำเอราวัณ วัดพุชาง รพ.สต.ตำบลธารเกษม วัดพุขามหวานพลอยเจริญ วัดธารเกษม วัดปากช่องสาลิกา วัดนิคมเกษม วัดอินทราราม วัดสว่างอารมณ์ วัดราษฎร์มงคล รพ.สต.ตำบลช่องสาริกา วัดเมตตาธรรม วัดหนองโพธิ์ วัดมณีศรีโสภณ วัดช่องสาริกา วัดศรีนิคมาราม วัดพุคำจาน วัดธารอโศกเทวสถาน วัดบ่อวงครูพัฒนา วัดหนองใหญ่ สำนักสงฆ์บัวขาวศิริไชโย วัดถ้ำพรหมสวัสดิ์ วัดเขาแหลม โรงเรียนบ้านหนองจาน โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว โรงเรียนหน้าพระลาน โรงเรียนบ้านเขารวก โรงเรียนธารเกษม โรงเรียนท้ายพิกุล โรงเรียนบ้านธารทองแดง โรงเรียนนิคมสงเคราะห์ 2 โรงเรียนซับชะอม โรงเรียนวัดหนองโป่ง โรงเรียนวัดบ่อโศก โรงเรียนวัดหนองหว้า โรงเรียนวัดวังเลน โรงเรียนวัดพุแค โรงเรียนบ้านม่วงฝ้าย โรงเรียนวัดศรีจอมทอง โรงเรียนบ้านเขาพลัด โรงเรียนวัดตรีบุญญาราม โรงเรียนช่องสาลิกา โรงเรียนบ้านพุชาง โรงเรียนบ้านหนองโพธิ์ โรงเรียนวัดมณีศรีโสภณ โรงเรียนนิคมสร้างตนเอง และที่ว่าการอำเภอพระพุทธบาท

4. การประเมินผลกระทบของฝุ่น PM_{10} ด้วยแบบจำลองจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

4.1) แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการโม่หิน บด และย่อยหิน และการขนส่งบรรทุกหินเข้าสู่โรงโม่ ซึ่งรวมทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นเขตโรงโม่หินก่อนออกสู่ถนนใหญ่ ซึ่งแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการโม่หิน บด และย่อยหิน ได้แก่ การขนส่งบรรทุกหินเข้าสู่โรงโม่ การเทหินลงสู่ยุ้งรับหิน (Hopper) การบดย่อยหินของเครื่องโม่ชนิดต่าง ๆ จุดถ่ายโอนระหว่างสายพานลำเลียงหิน (Transfer Point) การสั่นสะเทือนบริเวณตะแกรงคัดขนาด การเทหินบริเวณกองหิน บริเวณที่รถตักหินใส่รถบรรทุก บริเวณลำเลียงขนส่งด้วยรถบรรทุกในเขตโรงโม่หินก่อนออกสู่ถนนใหญ่ บริเวณพื้นที่เปิดโล่ง ไม่มีวัสดุคลุม เช่น สายพานที่ไม่มีวัสดุคลุม กองหินต่างๆ ตะแกรงและเครื่องโม่ที่มีช่องเปิด และบริเวณพื้นถนนที่มีฝุ่นตกอยู่ ทั้งนี้ตามข้อมูล

การศึกษาของ U.S. EPA [6] ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การระบายฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการโม่หิน บด และย่อยหิน ดังตารางที่ 1 พบว่า ฝุ่นละอองจะเกิดขึ้นและถูกปล่อยออกจากบริเวณเครื่องโม่มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณช่องป้อนหินเพื่อทำการโม่และทางออกของหินที่โม่แล้ว โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการระบายของฝุ่นละออง เช่น ความชื้นและชนิดของเครื่องโม่ที่ใช้ สัดส่วนการลดขนาดของเครื่องจักร การกระจายขนาดของหินที่โม่แล้ว สัดส่วนของอนุภาคละเอียด และพลังงานที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เช่น เครื่องโม่ที่ใช้การตีหรือการกระแทกจะทำให้มีปริมาณฝุ่นละเอียดในสัดส่วนที่มากกว่าการใช้การอัด และเครื่องโม่ขั้นที่สอง ขั้นที่สาม และเครื่องโม่แบบทรงกรวย จะก่อให้เกิดฝุ่นมากกว่าเครื่องโม่ขั้นที่ 1 (เครื่องโม่จอว์) เพราะทำให้เกิดอนุภาคละเอียดมากกว่า

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการระบายฝุ่นละออง (Emission Factor) จากกระบวนการโม่หิน บด และย่อยหิน

Source	อัตราการระบายฝุ่นละอองต่อปริมาณหินที่ใช้ในการผลิต (Emission Factor) (kg/Mg)				ประสิทธิภาพระบบควบคุมฝุ่น (%)
	ฝุ่นละอองรวม (TSP)		ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM-10)		
	ไม่มีระบบควบคุมฝุ่น	มีระบบควบคุมฝุ่น	ไม่มีระบบควบคุมฝุ่น	มีระบบควบคุมฝุ่น	
เครื่องโม่ขั้นที่ 1 (Primary Crushing)	-	-	-	-	
เครื่องโม่ขั้นที่ 2 (Secondary Crushing)	-	-	-	-	
เครื่องโม่ขั้นที่ 3 (Tertiary Crushing)	0.0027	0.0006	0.0012	0.00027	77.7
เครื่องโม่ขนาดละเอียด (Fines Crushing)	0.0195	0.0015	0.0075	0.0006	92.0
ตะแกรงคัดขนาด (Screening)	0.0125	0.0011	0.0043	0.00037	91.6
ตะแกรงคัดขนาดละเอียด (Fines Screening)	0.15	0.0018	0.036	0.0011	97
จุดถ่ายโอนระหว่างสายพานลำเลียงหิน (Conveyor Transfer Point)	0.0015	0.00007	0.00055	2.3 x 10-5	95.9
(Wet Drilling - Unfragmented Stone)	-	-	4.0×10^{-5}	-	
จุดขนบรรทุกหินเข้าสู่โรงโม่ (Truck Unloading - Fragmented Stone)	-	-	8.0×10^{-6}	-	
จุดลำเลียงขนส่งด้วยรถบรรทุกก่อนออกจากโรงโม่ (Truck Loading - Conveyor, crushed stone)	-	-	5.0×10^{-5}	-	

นอกจากนี้ อัตราการระบายฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบควบคุมและกำจัดฝุ่นที่ใช้ โดยระบบควบคุมฝุ่นที่โรงโม่หินส่วนใหญ่ใช้ ได้แก่ 1) การสเปรย์น้ำ เช่น บริเวณโรงโม่หิน ยุ้งป้อนหินใหญ่ สายพานลำเลียง ลานกองแร่ ที่จอดรถบรรทุก และตามถนนที่เป็นเส้นทางขนส่งแร่ 2) จัดให้เป็นระบบปิดคลุม เช่น สายพานลำเลียงเป็นระบบปิด การก่อสร้างอาคารปิดคลุมโรงโม่หิน และการปิดคลุมผ้าใบรถบรรทุกแร่ก่อนออกจากโรงโม่หิน 3) มีระบบดักฝุ่น เช่น ถุงกรอง สครับเบอร์แบบเปียก (Wet Scrubber) 4) มีระบบบำรุงรักษา ระบบควบคุมฝุ่นให้ใช้งานได้ดีอยู่เสมอ 5) มีพื้นคอนกรีตภายในโรงโม่หิน เพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง 6) การปลูกต้นไม้โตเร็วภายในพื้นที่โรงโม่หิน และ 7) การควบคุมความเร็วของรถเข้า-ออกพื้นที่โรงโม่หิน เช่น ควบคุมความเร็วไม่ให้เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง

4.2) อัตราการระบายฝุ่นละออง จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายมลสาร (Emission Factor) จากยานพาหนะ [4] ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบควบคุมและกำจัดฝุ่นที่ใช้ โดยระบบควบคุมฝุ่นที่โรงโม่หินส่วนใหญ่ใช้ ได้แก่ การสเปรย์ น้ำ เช่น บริเวณโรงโม่หิน ยุ้งป้อนหินใหญ่ สายพานลำเลียง ลานกองแร่ ที่จอดรถบรรทุก และตามถนนที่เป็นเส้นทางขนส่งแร่ การจัดให้เป็นระบบปิดคลุม มีระบบบำรุงรักษา ระบบควบคุมฝุ่นให้ใช้งานได้ดีอยู่เสมอ มีพื้นคอนกรีตภายในโรงโม่หิน เพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง การปลูกต้นไม้โตเร็วภายในพื้นที่โรงโม่หิน และการควบคุมความเร็วของรถเข้า-ออกพื้นที่โรงโม่หิน

สำหรับประสิทธิภาพของระบบควบคุมฝุ่นละอองที่ใช้ในโรงโม่หินในพื้นที่ศึกษา พบว่า ระบบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นระบบปิดคลุมและการสเปรย์น้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมฝุ่นตั้งแต่ 50-90% ขึ้นไป และบางแห่งมีการใช้ระบบถุงกรองซึ่งจะมีประสิทธิภาพตามค่าการออกแบบในการกำจัดฝุ่นประมาณ 99.5-99.9% โดยการศึกษาผลกระทบครั้งนี้ จะเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการระบายฝุ่นละอองที่มีค่ามากที่สุดจากเครื่องโม่ขนาดละเอียด (Fines Crushing) มาใช้ในการคำนวณค่าอัตราการระบายฝุ่นละอองของโรงโม่หินแต่ละแห่งในพื้นที่ศึกษาเป็นหน่วยกรัมต่อวินาที โดยใช้ข้อมูลผลผลิตที่ได้ต่อวัน (หน่วยเมตริกตันต่อวัน) มาคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัตราการระบายฝุ่นละอองดังกล่าว โดยค่าอัตราการระบายฝุ่นละอองที่คำนวณได้จำแนกเป็นกรณีที่ไม่มีระบบควบคุม และกรณีที่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง (คำนวณโดยใช้ค่าประสิทธิภาพในการควบคุมอยู่ในช่วง 50-90%) เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับนำเข้าในแบบจำลอง AERMOD และวิธีการประเมินผลกระทบจะมีการนำเข้าค่าอัตราการระบายที่แปรผันในแต่

ละชั่วโมงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD โดยกำหนดค่าตัวคูณอัตราการระบายในแต่ละชั่วโมงการดำเนินงานภายในเวลา 8 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 8.00-12.00 และ 13.00-17.00 น. เป็น 1 และชั่วโมงที่ไม่มีการดำเนินงานเป็น 0

4.2) กรณีศึกษาผลผลกระทบด้านคุณภาพอากาศที่เกิดจากการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หิน แบ่งเป็น 2 กรณี ซึ่งแต่ละกรณีจะประเมินผลกระทบแยกเป็นกรณีไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง และกรณีมีระบบควบคุมฝุ่นละออง ประสิทธิภาพร้อยละ 50-90 ได้แก่ 1) กรณีที่ 1 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองเฉพาะของแต่ละโรงโม่หิน และ 2) กรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษากรณีที่ 1 : มีการระบายฝุ่นละอองเฉพาะของแต่ละโรงโม่หิน

กรณีมีการระบายฝุ่นละอองเฉพาะของแต่ละโรงโม่หิน แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งแยกเป็นกรณีไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง และกรณีมีระบบควบคุมฝุ่นละออง ค่าความเข้มข้นสูงสุดของ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง และเฉลี่ย 1 ปี ในบรรยากาศที่เกิดขึ้นจากการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินแต่ละแห่ง [7] บริเวณพื้นที่โรงโม่หินแต่ละแห่ง โดยสรุปผลการประเมินค่าความเข้มข้นสูงสุดของฝุ่นละอองชนิด PM_{10} ในบรรยากาศจากแบบจำลอง AERMOD เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน PM_{10} ในบรรยากาศโดยทั่วไป

ตารางที่ 2 ผลประเมินค่าความเข้มข้นสูงสุดของฝุ่น PM_{10} ในกรณีที่ 1 : มีการระบายฝุ่นละอองเฉพาะของแต่ละโรงโม่หิน

รายละเอียด		ไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง	มีระบบควบคุมฝุ่นละออง				
			ประสิทธิภาพร้อยละ 50	ประสิทธิภาพร้อยละ 60	ประสิทธิภาพร้อยละ 70	ประสิทธิภาพร้อยละ 80	ประสิทธิภาพร้อยละ 90
PM_{10} เฉลี่ย 24 ชม.	ค่าความเข้มข้นสูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	6.95-1,042.19	3.48-521.09	2.78-416.88	2.09-312.66	1.39-208.44	0.70-104.22
	โรงโม่หินที่มีค่าเกินมาตรฐานฯ (แห่ง)	25	17	15	9	4	0
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	75.76	51.52	45.45	27.27	12.12	0
	โรงโม่หินที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานฯ (แห่ง)	8	16	18	24	29	33
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	24.24	48.48	54.55	72.73	87.88	100
	รวม (แห่ง)	33	33	33	33	33	33
PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี	ค่าความเข้มข้นสูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	3.03-395.30	1.52-197.65	1.21-158.12	0.91-118.59	0.61-79.06	0.30-39.53
	โรงโม่หินที่มีค่าเกินมาตรฐานฯ (แห่ง)	26	16	12	9	3	0
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	78.79	48.48	36.36	27.27	9.09	0
	โรงโม่หินที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานฯ (แห่ง)	7	17	21	24	30	33
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	21.21	51.52	63.64	72.73	90.91	100
	รวม (แห่ง)	33	33	33	33	33	33
ค่ามาตรฐาน [1/]		PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง		120 มคก./ลบ.ม.			
		PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี		50 มคก./ลบ.ม.			

หมายเหตุ : 1/ ค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

2. ผลการศึกษากรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด

กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด ซึ่งแยกเป็นกรณีไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง และกรณีมีระบบควบคุมฝุ่นละออง สรุปผลการประเมินค่าความเข้มข้นสูงสุดของฝุ่นละอองชนิด PM_{10} ในบรรยากาศจากแบบจำลอง AERMOD เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน PM_{10} ในบรรยากาศโดยทั่วไปเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและ 1 ปี ดังตารางที่ 3-4 และรูปที่ 4-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการประเมินค่าความเข้มข้นสูงสุดของฝุ่นละอองชนิด PM_{10} ในบรรยากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากแบบจำลอง กรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด

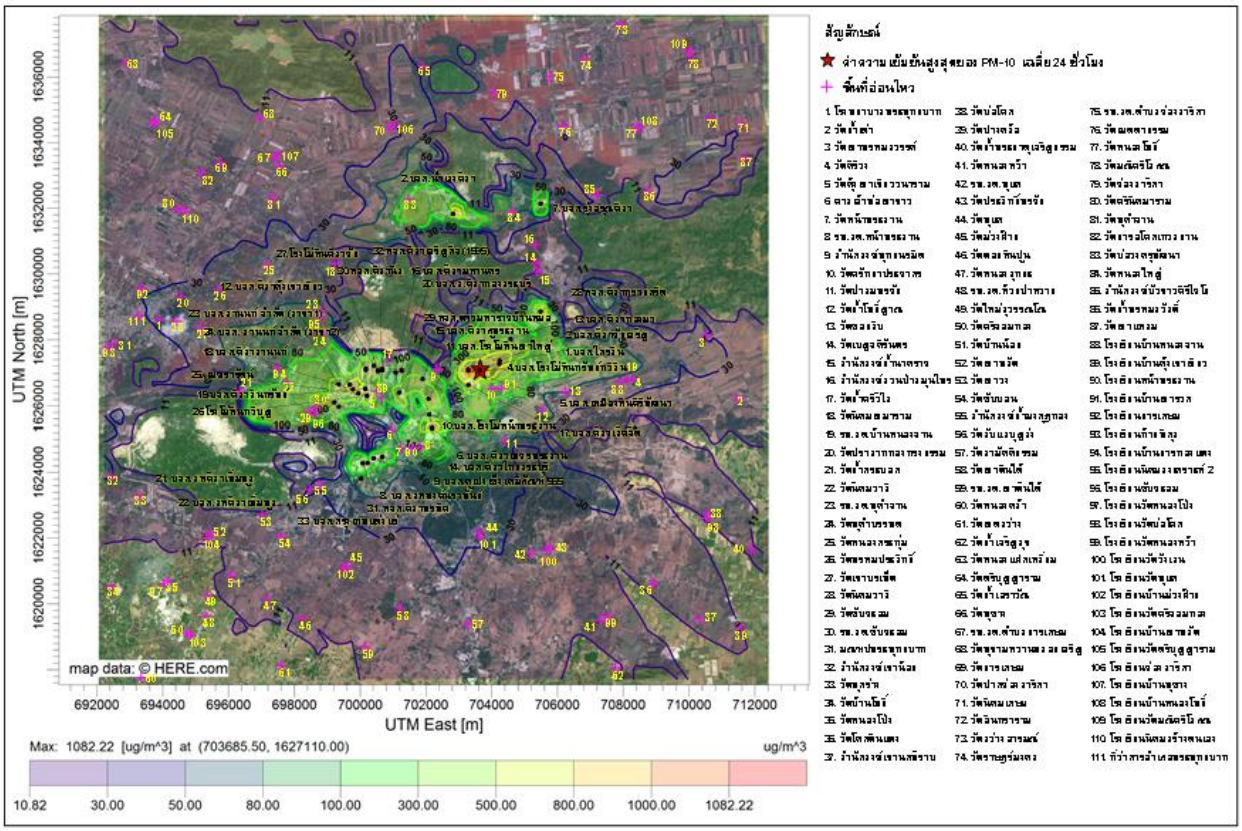
รายละเอียด		ไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง	มีระบบควบคุมฝุ่นละออง				
			ประสิทธิภาพร้อยละ 50	ประสิทธิภาพร้อยละ 60	ประสิทธิภาพร้อยละ 70	ประสิทธิภาพร้อยละ 80	ประสิทธิภาพร้อยละ 90
PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	ค่าความเข้มข้นสูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	1,082.22	541.11	432.89	324.67	216.44	108.22
	ค่าสูงสุดบริเวณพื้นที่อ่อนไหวต่อผลกระทบ (111 แห่ง)	7.10-307.05	3.55-153.53	2.84-122.82	2.13-92.12	1.42-61.41	0.71-30.71
	โรงโม่หินที่มีค่าเกินมาตรฐานฯ (แห่ง)	31	24	21	15	8	0
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	93.94	72.73	63.64	45.45	24.24	0
	โรงโม่หินที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานฯ (แห่ง)	2	9	12	18	25	33
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	6.06	27.27	36.36	54.55	75.76	100
	รวม (แห่ง)	33	33	33	33	33	33
ค่ามาตรฐาน [1/]		PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง		120 มคก./ลบ.ม.			

หมายเหตุ : 1/ ค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

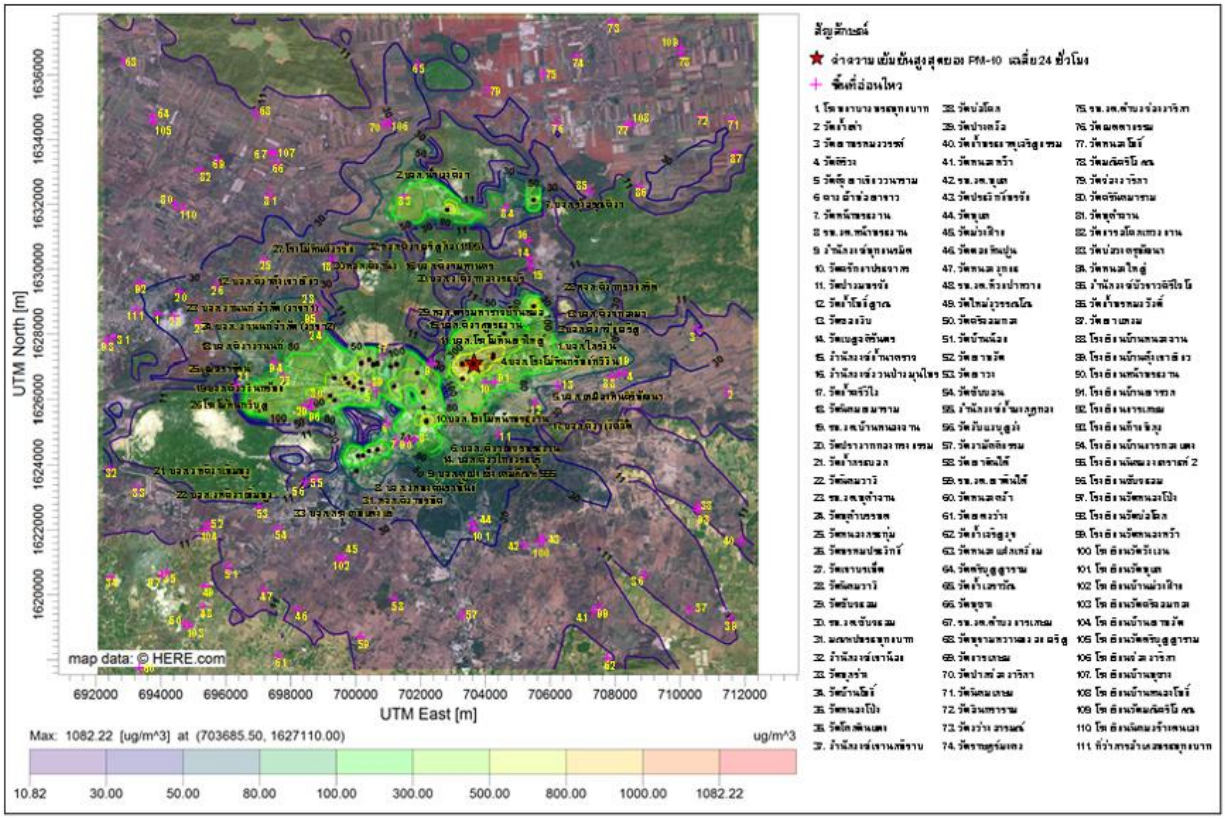
ตารางที่ 4 ผลการประเมินค่าความเข้มข้นสูงสุดของฝุ่นละอองชนิด PM_{10} ในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี จากแบบจำลอง กรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด

รายละเอียด		ไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง	มีระบบควบคุมฝุ่นละออง				
			ประสิทธิภาพร้อยละ 50	ประสิทธิภาพร้อยละ 60	ประสิทธิภาพร้อยละ 70	ประสิทธิภาพร้อยละ 80	ประสิทธิภาพร้อยละ 90
PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี	ค่าความเข้มข้นสูงสุด (มคก./ลบ.ม.)	462.19	231.10	184.88	138.66	92.44	46.22
	ค่าสูงสุดบริเวณพื้นที่อ่อนไหวต่อผลกระทบ (111 แห่ง)	0.21-52.76	0.10-26.38	0.08-21.10	0.06-15.83	0.04-10.55	0.02-5.28
	โรงโม่หินที่มีค่าเกินมาตรฐานฯ (แห่ง)	30	22	18	14	8	0
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	90.91	66.67	54.55	42.42	24.24	0
	โรงโม่หินที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานฯ (แห่ง)	3	11	15	19	25	33
	ร้อยละของจำนวนโรงโม่หินที่ศึกษา	9.09	33.33	45.45	57.58	75.76	100
	รวม (แห่ง)	33	33	33	33	33	33
ค่ามาตรฐาน [1/]		PM-10 เฉลี่ย 1 ปี		50 มคก./ลบ.ม.			

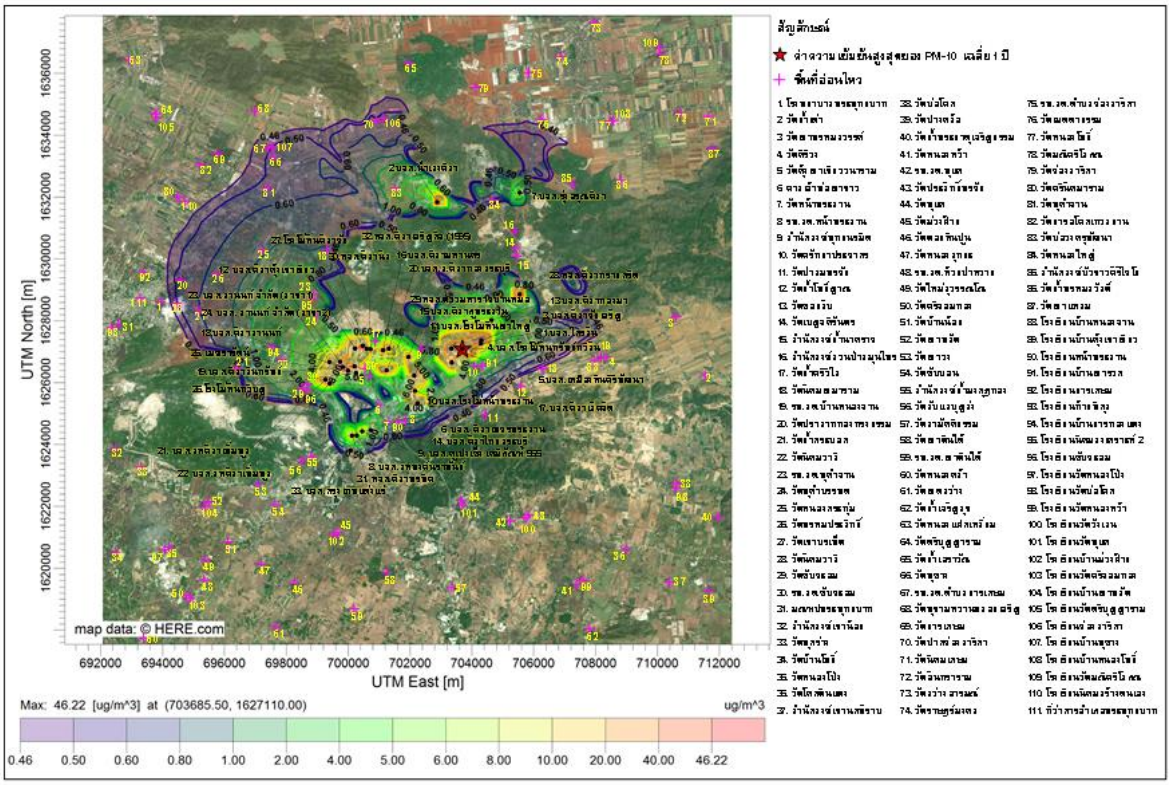
หมายเหตุ : 1/ ค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป



รูปที่ 4 เส้นระดับความเข้มข้นสูงสุดของ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบรรยากาศโดยทั่วไป
กรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด (กรณีไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง)



รูปที่ 5 เส้นระดับความเข้มข้นสูงสุดของ PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี ในบรรยากาศโดยทั่วไป
กรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด (กรณีไม่มีระบบควบคุมฝุ่นละออง)



รูปที่ 6 เส้นระดับความเข้มข้นสูงสุดของ PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี ในบรรยากาศโดยทั่วไป
กรณีที่ 2 : กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด (กรณีมีระบบควบคุมฝุ่นละอองประสิทธิภาพร้อยละ 90)

3. การเปรียบเทียบผลการประเมินจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศปัจจุบันที่ใช้ในการศึกษาค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศสะสมร่วมกับค่าความเข้มข้นสูงสุดของมลสารในบรรยากาศที่ได้จากการประเมินผลกระทบโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD รายละเอียดดังตารางที่ 5 และการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ระหว่างผลการตรวจวัดในปัจจุบันและผลประเมินจากแบบจำลอง AERMOD ในกรณีที่ 2 กรณีมีการระบายฝุ่นละอองจากโรงโม่หินทั้งหมด รายละเอียดดังตารางที่ 6

ทั้งนี้ ผลการตรวจวัดในปัจจุบันเป็นข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่รวมค่าความเข้มข้นจากแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองหลายประเภทในบริเวณใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยสภาพแวดล้อมบริเวณจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศแต่ละแห่ง ได้แก่ สถานีตำรวจภูธรตำบลหน้าพระลาน (24T) โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว และวัดพุกร่าง อยู่ใกล้กับถนนที่เป็นเส้นทางหลัก ซึ่งจะมีแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองจากยานพาหนะโดยเฉพาะรถบรรทุกขนส่งต่าง ๆ รวมทั้งเหมืองแร่หิน อุตสาหกรรม และโรงโม่หิน ทำให้ค่าตรวจวัดคุณภาพอากาศในปัจจุบันบริเวณสถานีตรวจวัดใกล้เคียงกับจุดสังเกตที่ประเมินผลกระทบจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าสูงกว่าผลการประเมินจากแบบจำลองที่ประเมินผลกระทบเฉพาะแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่มาจากโรงโม่หิน และค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ในบรรยากาศบริเวณจุดสังเกตุบางแห่งที่ได้จากแบบจำลอง AEMOD มีค่ามากกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการประเมินด้วยแบบจำลอง AERMOD ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ประเมินผลกระทบในกรณีที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นละออง และกรณีที่มีการควบคุมฝุ่นละอองที่ประสิทธิภาพร้อยละ 50-90 ซึ่งอาจมีโรงโม่หินบางแห่งที่สามารถควบคุมประสิทธิภาพของการกำจัดฝุ่นได้มากกว่าร้อยละ 90 เช่น โรงโม่หินที่ใช้ระบบถุงกรอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นมากกว่าร้อยละ 90 สองคล้องกับงานวิจัยของกรมควบคุมมลพิษ (2565) ซึ่งพบว่า พบแหล่งกำเนิด ฝุ่น PM_{10} จำนวน 3 แหล่งกำเนิดหลัก ๆ ได้แก่ 1) แหล่งจาก โรงโม่หิน เหมืองหิน ปูนขาว แต่งแร่ พบสัดส่วนเฉลี่ยประมาณ 37% ของแหล่งกำเนิดทั้งหมด แหล่งกำเนิดที่ 2) แหล่งกำเนิดจากฝุ่นจากยานพาหนะ (Traffic Emissions) รวมถึงฝุ่นถนนบางส่วน (Road Dust) พบสัดส่วนเฉลี่ยประมาณ 40% และ 3) แหล่งกำเนิดจากฝุ่นฟุ้งกระจายจากถนน (Road dust) พบสัดส่วนเฉลี่ยประมาณ 23% ของแหล่งกำเนิดทั้งหมด ซึ่งหากควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษได้ก็สามารถหาแนวทางลดการปลดปล่อยฝุ่นละอองจากโรงโม่หินได้อีกด้วย

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการ

จุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ	ช่วงเวลาตรวจวัด	ค่าความเข้มข้น (มคก./ลบ.ม.)		ที่มา
		PM_{10} เฉลี่ย 24 ชม.	PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี	
สถานีตำรวจภูธรตำบลหน้าพระลาน (24T) (สถานีตรวจวัดแบบต่อเนื่อง)	ปี พ.ศ.2559	30-266	96	1)
	ปี พ.ศ.2560	20-257	103	
	ปี พ.ศ.2561	28-303	120	
บริษัท น่ำเฮงศิลา จำกัด	พ.ย.62	37	-	จากผลตรวจวัดจริง
โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว	พ.ย.62	211	-	
วัดพุกร่าง	พ.ย.62	117	-	
	ค่ามาตรฐาน [1/]	**120**	**50**	

หมายเหตุ : 1/ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าฝุ่น PM_{10} ของกรมควบคุมมลพิษและผลประเมินจากแบบจำลอง AERMOD

จุดสังเกตุ	ค่าความเข้มข้น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)				สภาพแวดล้อมโดยรอบ
	ค่าความเข้มข้น จากแบบจำลอง AERMOD		ค่าความเข้มข้นบริเวณจุดตรวจวัดที่ใกล้ที่สุด		
	กรณีที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นละออง	กรณีประสิทธิภาพการควบคุมร้อยละ 50-90			
โรงเรียนหน้าพระลาน	80.04	8.00-40.02	สถานีตำรวจภูธรตำบลหน้าพระลาน	20-303	อยู่ใกล้กับถนนที่เป็นเส้นทางหลัก เหมืองแร่หิน อุตสาหกรรม และโรงโม่หิน
บริษัท น่ำเฮงศิลา จำกัด	840.4	84.04-420.20	บริษัท น่ำเฮงศิลา จำกัด	37	
โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว	225.09	22.51-112.54	โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว	211	
วัดพุกร่าง	19.31	1.93-9.65	วัดพุกร่าง	117	

จะเห็นได้ว่าประเภทกิจกรรมหลักที่ส่งผลต่อปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่ จังหวัดสระบุรี ที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลอง AERMOD พบว่า การแพร่กระจายของฝุ่น PM_{10} สอดคล้องกับข้อมูลแหล่งกำเนิดของโรงโม่หิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของฝุ่น PM_{10} ในบรยากาศที่มีการกระจายตัวของธาตุต่างๆ ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) โซเดียม (Na) แมกนีเซียม (Mg) อะลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) ซัลเฟอร์ (S) คลอไรด์ (Cl) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) ไททาเนียม (Ti) และเหล็ก (Fe) ซึ่งแตกต่างจากฝุ่นขนาดเล็กกว่าที่เกิดจากกิจกรรมอื่น เช่น การเผาไหม้จากชีวมวล การเผาไหม้ในที่โล่งแจ้งในพื้นที่ศึกษา [9] [10] [11] [12] เพื่อให้การจัดการคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิดโรงโม่หินจึงมีการนำเสนอแนะมาตรการหลักในการควบคุมป้องกันฝุ่นละออง PM_{10} ทั้งสิ้น 4 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการลดฝุ่นละอองจากยานพาหนะ เช่น การติดตั้งจุดตรวจจับควันดำของรถบรรทุกทั้งระบบ และกำหนดเขตพื้นที่มลพิษต่ำ (Low Emission Zone) เพื่อจำกัดและควบคุมจำนวนยานพาหนะที่ปล่อยฝุ่นละอองที่มีค่าสูงไม่ให้เข้าสู่พื้นที่ควบคุม 2) มาตรการลดฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรมเหมือง เช่น การจัดทำแนวกำแพงทึบ หรือแนวต้นไม้ทรงสูงหนาแน่น (Shelter Belt) หรือติดตั้งตาข่ายดักฝุ่นละออง และการส่งเสริมให้ใช้ระบบคาดการณ์ปัจจัยสภาพอากาศ (Weather Forecasting System) มาใช้ในการประเมินความสามารถในการรองรับฝุ่นละอองของบรรยากาศในรอบวันเพื่อหาค่าการรองรับมลพิษ (Carrying Capacity) 3) มาตรการลดฝุ่นฟุ้งกระจายจากถนน เช่น การทำความสะอาดถนนก่อนชั่วโมงเร่งด่วน เช่น 05.00-6.00 น. และ 15.00-16.00 น. และกำหนดให้มีการล้างล้อรถยนต์และรถบรรทุกหินโดยใช้บ่อล้างล้อ หรือ ลานล้างล้อที่มีประสิทธิภาพ และบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และ 4) มาตรการลดฝุ่นฟุ้งกระจายจากการเผาชีวมวลภายนอกพื้นที่โครงการ ได้แก่ การสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของการเผา วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และการสนับสนุนความเข้มแข็งของพื้นที่ผ่านผู้นำชุมชน และ หน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่น ในการเฝ้าระวังการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร รวมถึงการเผาชีวมวลอื่น ๆ เพื่อเป็นประโยชนสำหรับการออกแบบและริเริ่มนโยบายการจัดการคุณภาพอากาศเพื่อลดการปลดปล่อยฝุ่น PM_{10} ของจังหวัดสระบุรี ทั้งระดับท้องถิ่นและรัฐบาลส่วนกลาง ซึ่งจะส่งผลต่อการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนผู้อาศัยในพื้นที่และบริเวณโดยรอบให้ปลอดภัยจากมลพิษทางอากาศได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

สรุป

จากงานวิจัยนี้แบบจำลอง AERMOD สามารถนำมาประยุกต์ใช้จำลองการปลดปล่อย PM_{10} ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดในพื้นที่จริง และยังช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับการปลดปล่อย PM_{10} จากแหล่งกำเนิดชนิดโรงโม่หินในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรและวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศไทย ทั้งนี้ต้องมีการนำเข้าข้อมูลที่เป็นจริงที่มีความถูกต้องเพื่อนำไปสู่การประเมินฝุ่น PM_{10} ที่มีผลลัพธ์อย่างแม่นยำนำไปสู่การจัดการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลสำหรับการประเมินฝุ่นละอองด้วยแบบจำลอง AERMOD และขอขอบคุณนักวิชาการ นักวิจัย ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลต่างๆ ที่เอื้อต่อการดำเนินงานและมีส่วนร่วมในกระบวนการทำวิจัยทุกขั้นตอน จนทำให้การงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ภัทราภรณ์ ภู่พงษา. 2565. ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอนกับข้อมูลสุขภาพของประชาชนในจังหวัดสระบุรี. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[2] กรมควบคุมมลพิษ. (2561). สถานการณ์ฝุ่นละอองตำบลหน้าพระลาน ปี 2561 สูงขึ้น ปรับตัวและแนวทางป้องกันในปี 2562. https://www.mnre.go.th/th/news/detail/23697.

[3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. 2563. เอกสารเพื่อเผยแพร่ความรู้อย่างง่ายเกี่ยวกับแบบจำลองอากาศ AERMOD ฉบับประชาชน. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก.

[4] US.EPA. 2021. AERMOD Implementation Guide. สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2567 จาก https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_implementation_guide.pdf

[5] AIT. 2020. The study of sources of $PM_{2.5}$ and precursors of secondary $PM_{2.5}$ in Bangkok metropolitan region. Pollution Control Department. Bangkok.

[6] US.EPA. 2004. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing. Online: https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/related/rel_11s1902.pdf.

[7] กรมควบคุมมลพิษ. (2547). ค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป. Online: https://www.pcd.go.th/laws/2819/

[8] กรมควบคุมมลพิษ. (2565). โครงการศึกษาเพื่อหาแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี และพื้นที่โดยรอบเขตควบคุมมลพิษในรัศมีไม่เกิน 10 กิโลเมตร. กรุงเทพมหานคร.

[9] วราวุฒิ ดวงศิริ, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์ และณิชา ประสงค์จันทร์. (2018). องค์ประกอบของฝุ่นละอองในอากาศบนถนนทะเลหลวง อำเมือง จังหวัดสงขลา. วารสารวิจัยราชมงคลกรุงเทพ. 12(2): 26-39

[10] Huang L., Yaun C.S., Wang G. qnd Wang K. (2002). Chemical characteristics and source apportionment of PM10 during a brown haze episode in Harbin, China. Particuol. 9:32=38.

[11] Yakin S. and Bayran A. (2008). Source apportionment of PM10 and PM2.5 using positive matrix factorization and chemical mass balance Izmir, Turkey. Science Total Environment. 309: 109-123.

[12] Li X. and Liu PS. (2001). Heavy mental contamination of urban soil in street dusts in Hong Kong. Appl. Geochem. 16: 1361-1368.

20R1-14

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรด้านการให้บริการจัดการของเสียอุตสาหกรรม

Assessment of Greenhouse Gas Emissions from an Industrial Waste Management Service Organization

ฉันท์ทิศา กลั่นทอง[1] สนธิลักษณ์ สุขะสุคนธ์ [2] ภัคภาคิน ซ่อนกนก[3]
ภุมรินทร์ กลั่นแก้ว[4] และ อนุสรณ์ บุญปก[5*]
[1]คณะพลังงานและสิ่งแวดลอม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000, [2]อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรุงเทพฯ 10110, [3]บริษัท ส.กนกการจัดการสิ่งแวดล้อม จำกัด ชลบุรี 20270, [4] บริษัท เพอร์เฟค โซลูชั่น แอนด์ คอนเซาส์แตนท์ จำกัด กรุงเทพฯ 10520, [5*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพลังงานและสิ่งแวดลอม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000,
E-mail: iamanusorn@gmail.com

บทคัดย่อ

กิจกรรมการดำเนินงานขององค์กรด้านการให้บริการจัดการของเสียอุตสาหกรรมมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม แต่การดำเนินงานขององค์กรเองก็เกี่ยวข้องกับกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเช่นกัน จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) องค์กรค์ด้านการจัดการของเสียอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ประจำปี 2566 ครอบคลุมทั้งในขอบเขต Scope 1 (การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร), Scope 2 (การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน) และ Scope 3 (การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนและปรับปรุงการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและภาวะโลกร้อนขององค์กร การประเมิน CFO ดำเนินการตามข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร พิมพ์ครั้งที่ 8 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 6, กรกฎาคม, 2565) ข้อมูลกิจกรรมหลักขององค์กรทั้งสำนักงาน การผลิต การบำบัดน้ำเสีย และที่พักพนักงาน ผลการประเมิน พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม Scope 1 เท่ากับ 180 tCO_2e, Scope 2 เท่ากับ 123 tCO_2e และ Scope 3 เท่ากับ 1,057 tCO_2e รวมทั้งสิ้น 1,360 tCO_2e ค่าความเข้มของคาร์บอน (Carbon Intensity) คิดจากการปล่อยรวมของ Scope 1 และ Scope 2 เท่ากับ 0.0001 tCO_2e/บาท และเมื่อรวม Scope 3 เท่ากับ 0.001 tCO_2e/บาท ซึ่งเป็นการประเมิน CFO ครั้งแรกขององค์กรแห่งนี้ ผลการดำเนินการแสดงถึงความมุ่งมั่นของบริษัทในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและขับเคลื่อนการดำเนินธุรกิจอย่างมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

คำสำคัญ : คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร; การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ; ก๊าซปล่อยเรือนกระจก; การจัดการของเสียอุตสาหกรรม

Abstract

The operations of industrial waste management service organizations are integral to environmental quality management; however, such activities also contribute to greenhouse gas (GHG) emissions. This study presents the carbon footprint assessment of an industrial waste management organization located in Chonburi Province, Thailand, for the fiscal year 2023. The assessment was conducted in accordance with the Guidelines for the Calculation and Reporting of the Carbon Footprint for Organizations, Version 8th (6th Revision, July 2022), and covered emissions across Scope 1 (Direct GHG emissions and removals), Scope 2 (Energy indirect GHG emissions), and Scope 3 (Other indirect emissions). Activity data were collected from the organization's primary operational sectors, including office administration, production activities, wastewater

treatment, and employee housing facilities. The GHG emissions were quantified as 180, 123, and 1,057 tCO_2e for Scope 1, Scope 2, and Scope 3, respectively resulting in a total emission of 1,360 tCO_2e. The carbon intensity calculated as emissions per unit of revenue was 0.0001 tCO_2e/THB for Scope 1 and Scope 2 combined, and 0.001 tCO_2e/THB when including Scope 3 emissions. This represents the organization's first comprehensive CFO assessment and provides essential baseline data for strategic planning aimed at enhancing sustainability. The findings highlight the organization's commitment to reducing its carbon emissions and adopting long-term environmentally responsible business practices.

Keywords: Carbon footprint for organization; Climate change; Greenhouse gas emission; Industrial waste management

บทนำ

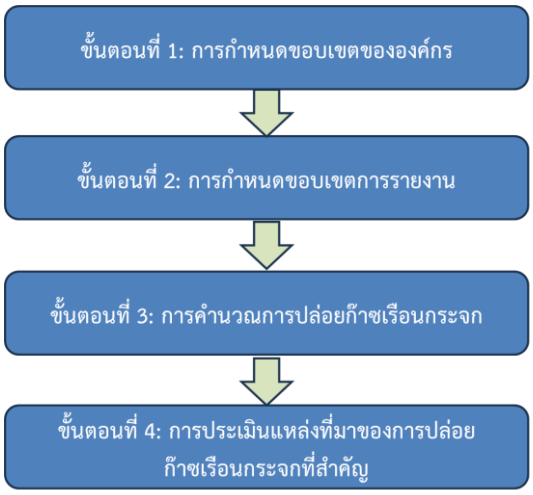
ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นที่ทั่วโลกให้ความสำคัญอย่างต่อเนื่อง สาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก โดยเฉพาะในช่วงปี ค.ศ. 2011–2020 ที่อุณหภูมิพื้นผิวโลกเฉลี่ยสูงกว่าช่วงปี ค.ศ. 1850–1900 ถึง 1.1°C [1,2,8] ส่งผลให้ภาคเศรษฐกิจและสังคมทั่วโลกต้องตระหนักถึงแนวทางการลดผลกระทบดังกล่าวอย่างจริงจัง [9] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการติดตามและรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร อันเป็นพื้นฐานในการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

องค์กรที่ดำเนินธุรกิจด้านการจัดการของเสียอุตสาหกรรม แม้จะมีบทบาทในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แต่กิจกรรมต่าง ๆ เช่น การขนส่ง การใช้พลังงาน รวมถึงกระบวนการบำบัดน้ำเสียและของเสียล้วนเป็นกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก [3] การประเมิน CFO จึงเป็นกระบวนการที่ช่วยให้องค์กรสามารถระบุแหล่งกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างชัดเจน พร้อมทั้งสามารถวางแผนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว และยังช่วยเสริมสร้างภาพลักษณ์ขององค์กรในฐานะองค์กรสีเขียว (Green Organization) ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม [4]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกรณีศึกษาองค์กรด้านการบริหารจัดการของเสียและสิ่งแวดล้อม แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ครอบคลุมการดำเนินงานในช่วงระยะเวลาหนึ่งปี (1 มกราคม – 31 ธันวาคม 2566) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตตลอดจนเสริมสร้างความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมในระดับองค์กร

อุปกรณ์และวิธีการ

หลักการและขั้นตอนในการประเมินการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกประยุกต์ใช้จากข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร พิมพ์ครั้งที่ 8 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 6, กรกฎาคม, 2565) [9] ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ที่สำคัญซึ่งถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) และที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ 7 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO2) ก๊าซมีเทน (Methane: CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide: N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon: HFC) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon: PFC) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride: SF6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ส่วน HCFC-22 เป็นก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาเพิ่มเติม แต่ไม่ถูกนับรวมใน การคำนวณผลลัพธ์ถูกนำเสนอในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) ขั้นตอนหลัก แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน [7] ดังแสดงในรูปที่ 1 และมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 : การกำหนดขอบเขตขององค์กร

การกำหนดขอบเขตขององค์กร (Organization boundary) แนวทางที่ใช้กำหนดขอบเขตองค์กรแบบควบคุมดำเนินงาน (Operational Control) [9] และเอกสารยืนยันขอบเขตขององค์กรอ้างอิงตามหนังสือจดทะเบียนรับรองนิติบุคคล โดยองค์กรทำการประเมินและรวบรวมปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นขององค์กรด้านการบริหารจัดการของเสียอุตสาหกรรม กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้คือบริษัท ส.กนกการจัดการสิ่งแวดล้อม จำกัด โดยระยะเวลาการติดตามผลปี 1 มกราคม - 31 ธันวาคม 2566

ขั้นตอนที่ 2: การกำหนดขอบเขตการรายงาน

การประเมินครอบคลุมขอบเขตการดำเนินงานประเภทแหล่งปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กร 3 ขอบเขต (Scope) ดังตารางที่ 1 กิจกรรมขององค์กรในแต่ละ Facility ที่เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ตาม Scope 1, 2 และ 3 ทั้งนี้องค์กรได้ดำเนินการติดตั้งระบบ Solar rooftop เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ในองค์กร แต่ไม่นำมาคำนวณเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรตามข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

Scope 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร (Scope 1: Direct GHG emissions and removals)

Scope 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Scope 2: Energy indirect GHG emissions)

Scope 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Scope 3: Other indirect emissions)

ตารางที่ 1 ระบุกิจกรรมทั้งหมดขององค์กร

Facility	กิจกรรมขององค์กรในแต่ละ Facility		
	Scope 1	Scope 2	Scope 3
สำนักงาน 1	1.การเผาไหม้เชื้อเพลิง Diesel ของบริษัท 2.การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง Gasoline ของบริษัท 3.การรั่วไหลของ CH_4 จาก Septic Tank 4.การรั่วไหลของสารทำความเย็น R410a/ R134a/ R32 5.การใช้สารดับเพลิงชนิด CO_2	1.การใช้ไฟฟ้า 2.การใช้โซล่าเซลล์	1.การใช้กระดาษ A4 2.ปริมาณขยะมูลฝอย 3.การเดินทางมาทำงานของพนักงาน
สำนักงาน 2	1.การรั่วไหลของ CH_4 จาก Septic Tank 2.การรั่วไหลของสารทำความเย็น R410a/ R32 3.การใช้สารดับเพลิงชนิด CO_2	1.การใช้ไฟฟ้า 2.การใช้โซล่าเซลล์	1.ปริมาณขยะมูลฝอย 2.การเดินทางมาทำงานของพนักงาน 3.การเดินทางเพื่อธุรกิจ
การผลิต และบำบัด	1.การรั่วไหลของ CH_4 จากบ่อหมัก	1.การใช้ไฟฟ้า	1.การใช้สารเคมี

น้ำเสีย	2.การใช้สารดับเพลิงชนิด CO_2	2.การใช้ไฟฟ้าจาก Solar rooftop	2.ปริมาณกากตะกอน 3.การขนส่ง และกระจายสินค้าต้นน้ำ
บ้านพักคนงาน	1.การรั่วไหลของ CH_4 จาก Septic Tank 2.การรั่วไหลของสารทำความเย็น R410a/ R134a	1.การใช้ไฟฟ้า	1.ปริมาณขยะมูลฝอย 2.การใช้ไฟฟ้าของบ้านพักพนักงาน
อื่นๆ	1. การเผาไหม้เชื้อเพลิง Diesel ของ เครื่องปั่นไฟ 2. การเผาไหม้เชื้อเพลิง Gasoline ของเครื่องตัดหญ้า ตัดปูน ปั่นปูน		

ขั้นตอนที่ 3: การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลกิจกรรมของแต่ละขอบเขตได้มาจากข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ข้อมูลปฐมภูมิได้แก่ การรั่วไหลของ CH_4 จากบ่อหมัก ส่วนข้อมูลทุติยภูมิได้แก่ ใบแจ้งหนี้ ใบเสร็จค่าการใช้ไฟฟ้า ใบเสร็จค่าน้ำประปา และการใช้กระดาษ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมถูกคำนวณโดยการนำข้อมูลกิจกรรมคูณกับค่าการปล่อยของแต่ละกิจกรรม ดังสมการที่ (1) โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) นำมาจากฐานข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) โดยใช้ค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อน (Global warming potential) ดังตารางที่ 2 [5,9]

Total emissions = Activity data x Emission factor .....(1)

ขั้นตอนที่ 4: การประเมินแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ

ภายหลังจากการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกตามขั้นตอนที่ 3 องค์กรต้องจัดทำข้อมูลที่ได้เป็นลายลักษณ์อักษรแยกตามระดับของหน่วยธุรกิจ โรงงาน และองค์กร โดยจัดทำเป็นบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG Inventory) ของปีที่ทำการเก็บข้อมูล และจัดทำบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจกสำหรับ ปีฐาน (Base-year GHG inventory) [7,9]

จากการจัดทำบัญชีรายการจะถูกประเมินเปรียบเทียบตามระดับการมีที่ส่วนร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสามารถจำแนกได้เป็น Scope 1, Scope 2 และ Scope 3 การประเมินนี้ช่วยในการกำหนดมาตรการที่เหมาะสมเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ตารางที่ 2 GHGs และศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

ก๊าซเรือนกระจก	GWP (AR 5 (2014)) CO_2-equivalent
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1
มีเทน (CH_4)	28 (30)
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	265
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	4-12,400
เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	6,630-11,100
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6)	23,500
ไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3)	16,100

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลจากการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร แสดงในตารางที่ 2 พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก Scope 3 สูงที่สุดรองลงมาคือ Scope 1 และ Scope 2 ตามลำดับ โดยที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละ Scope มีปริมาณดังนี้ Scope 1 เท่ากับ 180 tCO_2e (ร้อยละ 59.41 ของ Scope 1+2) Scope 2 มีการปล่อย 123 tCO_2e (ร้อยละ 40.59 ของ Scope1+2) และ Scope 3 มีการปล่อย 1,057 tCO_2e ส่วนขอบเขตรายงานอื่นๆ (รายงานแยก) มีการปล่อย 2 tCO_2e

ตารางที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

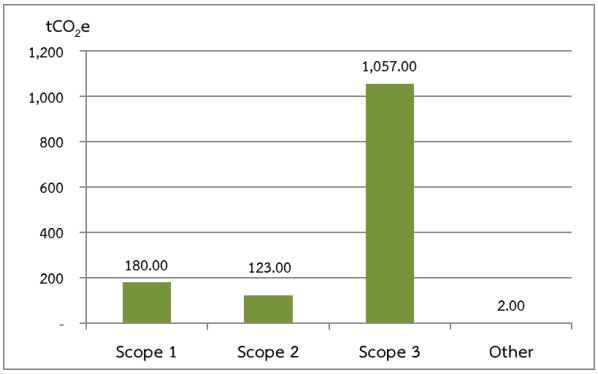
Scope/กิจกรรม	Activity data	หน่วย	Emission factor	GHG (tCO_2e)	% GHG (Scope1+2)	% GHG (Scope1+2+3)
Scope 1						
การเผาไหม้เชื้อเพลิง Diesel ของเครื่องปั่นไฟ	ข้อมูลไม่เพียงพอ (ไม่รายงาน)	Liter	2.7078	0	0	0
การเผาไหม้เชื้อเพลิง Gasoline ของ เครื่องตัดหญ้า ตัดปูน ปั่นปูน	298.57	Liter	2.1894	0.65	0.0022	0.0005
การเผาไหม้เชื้อเพลิง Diesel ของบริษัท	34,322.67	Liter	2.7406	94.07	0.3117	0.0693
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง Gasoline ของบริษัท	3,017.55	Liter	2.2719	6.86	0.0227	0.0050
การเผาไหม้เชื้อเพลิง NGV ของบริษัท	417.71	Liter	2.2609	0.94	0.0031	0.0007
การเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG (รถโฟล์คลิฟท์)	3,330.00	Liter	3.2049	10.67	0.0354	0.0079
การเผาไหม้เชื้อเพลิง Diesel (รถเทรกเตอร์และรถโฟล์คลิฟท์)	943.21	Liter	2.9793	2.81	0.0093	0.0021
การรั่วไหลของ CH4 จาก Septic Tank	161.60	kg CH_4	28.00	4.52	0.01499	0.0033
การรั่วไหลของ CH4 จากบ่อหมัก	2,041.16	kg CH_4	28.00	57.15	0.18937	0.0421
การรั่วไหลของสารทำความเย็น R32	1.14	kg	677.00	0.77	0.00255	0.0006
การรั่วไหลของสารทำความเย็น R134a	0.15	kg	1,300.00	0.19	0.00063	0.0001
การรั่วไหลของสารทำความเย็น R410A	0.39	kg	1,923.500	0.75	0.00249	0.0006
ปริมาณการใช้สารดับเพลิงชนิด CO_2	ข้อมูลไม่เพียงพอ (ไม่รายงาน)	kg	1.00	0	0	0
Scope 2						
การใช้ไฟฟ้า	244,867.63	kWh	0.4999	122.41	0.5297	0.00331
การใช้ไฟฟ้าระบบ Solar rooftop	111,413.00	kWh	0	0	0	0
Scope 3						

Scope/กิจกรรม	Activity data	หน่วย	Emission factor	GHG (tCO_2e)	% GHG (Scope1+2)	% GHG (Scope1+2+3)
Cat. 3 Fuel- and energy related activities						
การได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้า	244,867.63	kWh	0.0987	24.17	0.00002	0.01779
Cat. 5 Waste generated in operations						
ปริมาณกากตะกอน (non-Hazardous)	1,300,825.00	kg	0.7933	1,031.94	0.0009	0.7600

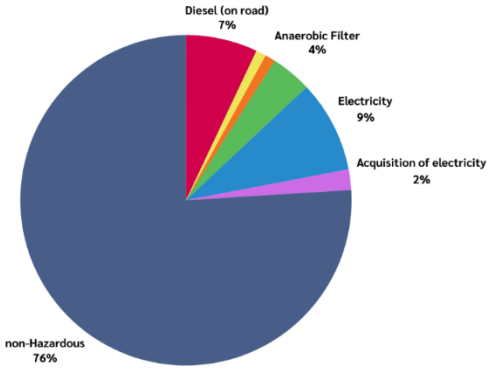
กิจกรรมที่มีการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดของ Scope 1 คือกิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิง Diesel ของบริษัท มีการใช้เชื้อเพลิง 34,322.67 ลิตร ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 94.07 tCO_2e คิดเป็นร้อยละ 52.26 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของ Scope 1 ในขณะที่ Scope 2 กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคือกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า มีการใช้ไฟฟ้าภายในองค์กรทั้งหมด 244,867.63 kWh ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 122.41 tCO_2e คิดเป็นร้อยละ 100 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของ Scope 2 และ Scope 3 มีกิจกรรมการปล่อยปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคือการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย คิดเป็น 1,031.94 tCO_2e หรือประมาณร้อยละ 75.8 ของการปล่อยทั้งหมด โดยผลรวมแสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 2 และ 3

ตารางที่ 4 Carbon Intensity

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณ	หน่วย
Scope 1	180	tCO_2e
Scope 2	123	tCO_2e
Scope 3	1,057	tCO_2e
ผลรวม (Scope 1+2)	303	tCO_2e
ผลรวม (Scope 1+2+3)	1,360	tCO_2e
Carbon intensity (Scope 1+2)	0.0001	tCO_2e/บาท
Carbon intensity (Scope 1+2+3)	0.001	tCO_2e/บาท



รูปที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 1, 2 และ 3



รูปที่ 3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ

สรุป

จากการประเมินการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรนี้ครอบคลุมช่วงระยะเวลา 1 มกราคม - 31 ธันวาคม 2566 เพื่อติดตาม ปรับปรุง และบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบ และรับรองผลตามมาตรฐานขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งหมด อยู่ที่ 1,360 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) โดยที่ Scope 1 ปล่อย 180 tCO_2e ปล่อย Scope 2 ปล่อย 123 tCO_2e และ Scope 3 มีการปล่อย 1,057 tCO_2e Carbon Intensity อยู่ที่ 0.0001 tCO_2e/บาท (Scope 1+2) และ 0.001 tCO_2e/บาท (Scope 1+2+3) โดยองค์กรยังไม่มีโครงการลดก๊าซเรือนกระจกหรือการรับรองพลังงานหมุนเวียน ในช่วงเวลารายงาน การรายงานครั้งนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการวางแผนและปรับปรุงการดำเนินงานขององค์กรให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากอุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอภายใต้โครงการส่งเสริมผู้ประกอบการผ่านระบบ BDS ปี 2567 และโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ 2567 (RSPG670020) และขอขอบคุณบริษัท ส.กนกการจัดการสิ่งแวดล้อม และบริษัท เพอร์เฟค โซลูชั่น แอนด์ คอนเซาส์แตนท์ จำกัด ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Abulibdeh, A., Jawarneh, R.N., Al-Awadhi, T., Abdullah, M.M., Abulibdeh, R., El Ke-nawy, A.M. (2024). Assessment of carbon footprint in Qatar's electricity sector: a comparative analysis across various building typologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 189, 114022.
the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34,

[2] Gong, L., Zhang, Z.B., Chen, M., Taylor, S., Wang, X.L. (2023). Study on the carbon footprint of cold storage units using low-GWP alternative refrigerants. Journal of Cleaner Production, 430, 139589.

[3] IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34.

[4] ISO 14064-1:2018, Greenhouse Gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.

[5] Maimun, C., Sareephattananon, A., Rattanatai, B., & Teekasap, S. (2017). Organization carbon footprint. Eastern Asia University Journal of Science and Technology, 11(1), 57-65

[6] Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (version 1.0). Retrieved from https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf.

[7] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดการก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ตามแนวมาตรฐาน ISO 14064-1.

[8] หน่วยวิจัยด้านพลังงานที่ยั่งยืนและสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2567). IPCC AR6 รายงานการสังเคราะห์ (สำหรับผู้กำหนดนโยบาย). แปลและเรียบเรียงจากรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

[9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (พิมพ์ครั้งที่ 8, ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 6, กรกฎาคม 2565)

20R1-15

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับโรงแรมขนาดเล็กเพื่อส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Greenhouse Gas Emission Reduction Guideline For Small Hotel to environmental friendly Hotel Standard

วีรยาภรณ์ เทียมผล[1] และ นิสา พักตร์วิไล[2*]
Weerayaporn Tiampol[1] and Nisa Pakvilai[2*]
[1]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา หลักสูตรนวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180
[2*]รองศาสตราจารย์ หลักสูตรนวัตกรรมวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180
[*]โทรศัพท์ : 0877922313, 0946594541 E-mail : Weerayaporn.tiam@vru.ac.th, nisa@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับโรงแรมขนาดเล็ก ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และส่งเสริมการจัดทำมาตรการสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระเบียบวิธีขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยจำแนกกิจกรรมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 ขอบเขตกิจกรรม ผลการศึกษาพบว่าในปี 2565 โรงแรมมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 309.88 tCO_2e โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าปลดปล่อยมากที่สุดอยู่ที่ 264.67 tCO_2e คิดเป็นร้อยละ 85.41 ของการปลดปล่อยทั้งหมด โดยแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยส่งเสริมการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system) ขนาด 208.80 kWp สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 150.31 tCO_2e ลดลงร้อยละ 56.79 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด นอกจากนี้การเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับโรงแรมโดยดำเนินการตามมาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะเพิ่มการยอมรับของนักท่องเที่ยวและชุมชนท้องถิ่นรวมถึงเป็นการการสร้างสังคมที่มีการบริการและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมส่งผลที่ดีในการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก; โรงแรมขนาดเล็ก; มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Abstract

This research aims to study the approach to reduce greenhouse gas emissions for small hotels of Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage and to promote the establishment of environmentally friendly hotel standard. The greenhouse gas emission assessment methodology of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) by classifying greenhouse gas emission activities into 3 scopes. The results found in 2022, the hotel released a total of 309.88 tCO_2e of greenhouse gases, with the highest emission of electricity at 264.67 tCO_2e (85.41 percent of the total emission). The approach to reduce greenhouse gas emissions by installed a 208.80 kWp on-grid solar power generation system, can reduce greenhouse gas emissions by 150.31 tCO2e, decrease from 56.79 percent of the total emission. In addition, enhancing the hotel's good appearance by implementing environmentally friendly to green hotel standards will increase acceptance by tourists and local communities, creating a

society with environmentally friendly service and consumption, which has a positive impact on achieving sustainable development goals.

Keywords: greenhouse Gas Emission Reduction; Small Hotel; Green Hotel Standard

บทนำ

การท่องเที่ยวนับเป็นแหล่งรายได้สำคัญของเศรษฐกิจไทย โดยในปี 2566 รายได้โดยตรงจากนักท่องเที่ยวคิดเป็นร้อยละ 18 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ ซึ่งยังไม่รวมรายได้ทางอ้อมจากการบริโภคของแรงงาน [1] โรงแรมและที่พักเป็นกิจกรรมสำคัญของธุรกิจบริการ ที่ต้องพร้อมรับการเปลี่ยนแปลงของการเปิดเสรีทางการค้า โดยเฉพาะโรงแรมขนาดเล็กเป็นกิจการขนาดย่อมร้อยละ 80 จาก 8,510 แห่ง ในปี 2564 มีจำนวนผู้เข้าพัก 57 ล้านคน มีรายรับจากการดำเนินกิจการ 111.8 พันล้านบาท [2] จากสถานการณ์ภาวะโรคระบาดไวรัสโคโรน่า 2019 (Covid-19) ส่งผลกระทบต่อธุรกิจโดยการจองห้องพักลดลงมากกว่าร้อยละ 50 ของการจองทั้งหมด ซึ่งส่งผลกระทบรุนแรงมากต่อผู้ประกอบการธุรกิจโรงแรมและรีสอร์ทขนาดเล็กและขนาดกลาง การใช้แนวคิด 7s Model ของ McKinsey พบว่า ผู้ประกอบการธุรกิจ ควรมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำเนินธุรกิจโดยเน้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ ใส่ใจในสิ่งแวดล้อม สร้างความเชื่อมั่นด้านมาตรฐานสุขภาพและอนามัย ยกระดับความปลอดภัยให้นักท่องเที่ยวเพื่อสร้างภาพลักษณ์เป็นการท่องเที่ยวสะอาดปราศจากโรค [3] นอกจากนี้ในการวัดความสามารถในการแข่งขันภาคท่องเที่ยว ด้วยข้อมูลดัชนี Travel & Tourism Development (TTDI) โดย World Economic Forum ด้านโครงสร้างพื้นฐาน นโยบายและปัจจัยส่งเสริมการท่องเที่ยว สภาพแวดล้อม และแรงขับเคลื่อนอุปสงค์ โดยเฉพาะความยั่งยืนพบว่าภาคการท่องเที่ยวไทยมีการใช้ทรัพยากรจนเสื่อมโทรม และเป็นต้นทุนที่ไทยยังไม่ได้จ่ายเพื่อให้อยู่ร่วมกับธรรมชาติได้อย่างยั่งยืน [1] โรงแรมขนาดเล็กเป็นธุรกิจที่มีความเปราะบางจึงต้องใช้เครื่องมือเพื่อช่วยตัดสินใจในการเผชิญกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้า ปรับปรุงเทคโนโลยีและการใช้งาน นวัตกรรมทางด้านการตลาด [4]

ปัจจุบันพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวจำนวนมากเน้นการท่องเที่ยวอย่างมีความรับผิดชอบ (Responsible Tourism) จากการสำรวจจากบุ๊คกิ้งดอทดอมพบว่า นักท่องเที่ยวทั่วโลกให้ความสำคัญดังนี้ 1) มุ่งมั่นที่จะใช้บริการการท่องเที่ยวที่มีความยั่งยืนและช่วยเหลือชุมชนท้องถิ่น 2) ใช้บริการที่พักที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม 3) ผู้คนเดินทางท่องเที่ยวในวิถียั่งยืนตั้งแต่ตอนนี้เพื่อรักษาโลกใบนี้ไว้ให้คนรุ่นต่อไป และ 4) ผู้เดินทางชาวไทยยอมรับว่าการแพร่ระบาดได้เปลี่ยนทัศนคติทำให้พวกเขาลงมือสร้างความเปลี่ยนแปลงเชิงบวกในชีวิตประจำวัน เช่น การรีไซเคิล และการลดขยะอาหาร เป็นต้น [5,6] กรมการท่องเที่ยวมีการรายงานต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติในการท่องเที่ยวของปี 2565 อยู่ที่ประมาณ 226,833 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 18.89 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศด้านการท่องเที่ยว (Tourism Gross Domestic Product: TGDP) แบ่งได้เป็นทรัพยากรน้ำอยู่ที่ 745 ล้านลูกบาศก์เมตร การใช้พลังงานอยู่ที่ 520 ล้านเมกะจูล การสร้างขยะและของเสียอยู่ที่ 807,313 ตัน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas : GHG) อยู่ที่ 30.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO2e) [6] จากการศึกษาของ Cornell Hotel Sustainability พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการท่องเที่ยวมาจากการเดินทาง ที่พัก และกิจกรรมในแหล่งท่องเที่ยวทั่วโลก ปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 5 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ค่าเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อการเข้าพักของลูกค้า 1 ห้อง ของโรงแรมในประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 0.064 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโรงแรมในภูมิภาคเอเชียที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ประมาณ 0.057 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และเทียบกับค่าเฉลี่ยของโลกซึ่งอยู่ที่ 0.019 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [7] จากการคำนวณโดย Hotel Footprinting Tool พบว่า ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมเฉลี่ย และโรงแรม 2 ดาว ในพื้นที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีอยู่ที่ 0.0504 และ 0.0210 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ [8]

การตระหนักรู้เรื่องสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแข่งขันในธุรกิจโรงแรมที่เน้นเรื่องความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของนักท่องเที่ยวกลุ่มที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม ตามแผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2566 – 2570 [9] ยุทธศาสตร์ที่ 4 ส่งเสริมการพัฒนาการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (Sustainable Tourism) เพื่อการต่อยอดคุณค่าให้กับทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (High Value Environment) โดยเฉพาะการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการท่องเที่ยว การบรรเทาผลกระทบจากความเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) โดยมีตัวชี้วัดสำคัญคือปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการสร้างขยะในภาคการผลิตของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว เป้าหมายลดลงร้อยละ 2 จากปีที่ผ่านมา [6]

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับโรงแรมขนาดเล็กและเพื่อส่งเสริมการจัดทำมาตรการส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับประเทศไทยมีเกณฑ์มาตรฐานโรงแรม

สีเขียว (GREEN Hotel) หมายถึงสถานประกอบการประเภทที่พักซึ่งมีการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ มีการจัดการมลพิษและสิ่งแวดล้อมที่ดี เป้าหมายของโรงแรมเขียวเพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ การมีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี ยกระดับมาตรฐานการบริการ ขยายเครือข่ายเพื่อรองรับมาตรฐานการจัดซื้อจัดจ้างและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก กำหนดโดยกรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [10]

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ทำการรวบรวมข้อมูลของโรงแรมขนาดเล็ก ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม 2565 โดยการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ การสังเกตแบบมีส่วนร่วม การเก็บข้อมูลโดยตรงในภาคสนามและบันทึกข้อมูลจากเอกสารข้อมูลสำคัญ โดยนิยามของ “โรงแรมขนาดเล็ก (Small Hotel) คือโรงแรมที่พักซึ่งมีจำนวนห้องพักไม่เกิน 100 ห้อง” [5] และตามกฎกระทรวง กำหนดประเภทและหลักเกณฑ์การประกอบธุรกิจโรงแรม พ.ศ. 2551 จัดอยู่ใน “โรงแรมประเภทที่ 4 หมายความว่า โรงแรมที่ให้บริการห้องพัก ห้องอาหารหรือสถานที่สำหรับบริการอาหารหรือสถานที่สำหรับประกอบอาหาร สถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ และห้องประชุมสัมมนา” [12,13]

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมขนาดเล็ก โดยระเบียบวิธีขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ประเภทของกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก [11] ซึ่งทำการกำหนดขอบเขตของกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจก 3 ขอบเขตกิจกรรม องค์ประกอบดังนี้ 1) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct emissions) เช่น การเผาไหม้ที่อยู่กับที่ จากกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ การรั่วไหลและอื่นๆ และการเผาไหม้ชีวมวล เป็นต้น 2) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy indirect emissions) เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร และ 3) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ (Other indirect emissions) เช่น การเดินทางของพนักงาน การขนส่งผลิตภัณฑ์วัตถุดิบ คนงาน หรือกากของเสีย การใช้น้ำประปา วัสดุสำนักงานที่มีการใช้ภายในองค์กร เป็นต้น [12]

การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก [12] โดยการคำนวณจากสูตรสมการที่ (1)

$$\text{GHG Emissions} = AD \times EF \quad (1)$$

โดยที่ GHG Emissions คือ มวลสารทั้งหมดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อย ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

Activity Data (AD) คือ ข้อมูลของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยและการดูดกลับของก๊าซเรือนกระจก

Emission Factor (EF) คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สำหรับการประเมินศักยภาพในการลดการปลดปล่อยและกักเก็บก๊าซเรือนกระจกเป็นการวัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆภายในองค์กร การจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกและการส่งเสริมการจัดทำมาตรการส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญ ในการวิจัยนี้มีการจัดทำแนวทางมาตรการประกอบด้วยการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าถูกนำเข้าจากภายนอกของโรงแรมอันเป็นเหตุก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงโดยการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อโรงแรมขนาดเล็ก และทำการส่งเสริมให้โรงแรมดำเนินตามเกณฑ์มาตรฐานโรงแรมสีเขียว (GREEN Hotel) ประกอบด้วย 7 หมวด คือ 1 นโยบายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 2 การพัฒนาบุคลากร 3 การรณรงค์ประชาสัมพันธ์ 4 การจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 5 การจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงาน 6 การมีส่วนร่วมของท้องถิ่นและชุมชน และ 7 การประเมินประสิทธิภาพเพื่อการปรับปรุง (สำหรับต่ออายุการรับรอง)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงแรมขนาดเล็ก ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พบว่ามีพื้นที่ใช้สอยรวม 6,709 ตารางเมตร ประกอบด้วยห้องพักจำนวน 54 ห้อง ห้องประชุม 6 ห้อง ห้องรับประทานอาหาร 150 คน 1 ห้อง รวมถึงห้องออกกำลังกายและสระว่ายน้ำ พื้นที่ปลูกต้นไม้และทำสวนหย่อม 1,775 ตารางเมตร จากการบันทึกข้อมูลจากภาคสนามและข้อมูลจากเอกสารข้อมูลสำคัญของปี 2565 ประกอบด้วย ปริมาณไฟฟ้า ปริมาณน้ำ ปริมาณขยะมูลฝอย ปริมาณก๊าซหุงต้ม ปริมาณกระดาษ ปริมาณการใช้น้ำมันจากเครื่องยนต์ทุกประเภท ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี ปริมาณสารดับเพลิง (CO_2) ที่สามารถนำมาคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากสมการที่ (1) พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 309,883.03 $KgCO_2e$ (309.88 $tonCO_2e$) ดังตารางที่ 1 สำหรับปริมาณสารทำความเย็น (R32 R22 R134) ไม่มีการเติมในรอบปี

2565 นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ 72 เครื่อง และเครื่องทำน้ำร้อน 54 เครื่อง สำหรับข้อมูลปริมาณขยะรีไซเคิล ได้แก่ กระดาษ พลาสติก แก้ว และ เหล็กและอลูมิเนียม อยู่ที่ 270, 115, 70 และ 3 กิโลกรัม ตามลำดับ

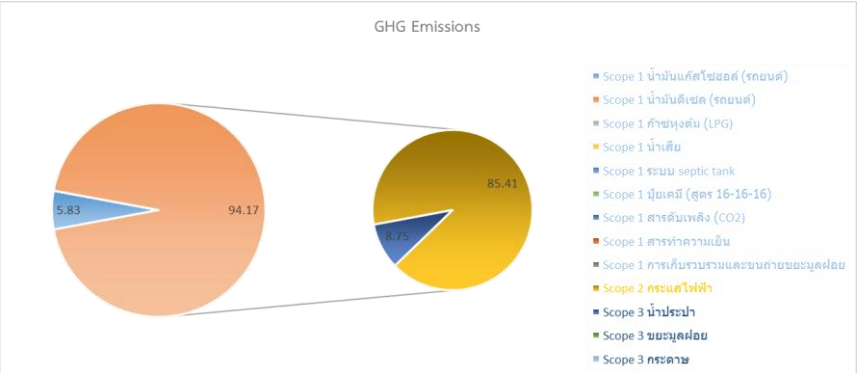
ตารางที่ 1 ข้อมูลรายการกิจกรรมต่างๆ ของโรงแรมขนาดเล็ก

รายการข้อมูลรายกิจกรรม	ปริมาณ	Emission Factor	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (KgCO2e)
ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง: kWh)	529,452	0.4999	264,673.05
ปริมาณน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)			
- น้ำประปา	17,325	0.7948	17,135.28
- น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด	13,860	0.0050	69.30
- น้ำเสียที่เข้าถัง septic tank	462	0.3000	138.60
ปริมาณขยะมูลฝอย (กิโลกรัม)	21,600	0.7933	17,135.28
การขนส่งขยะมูลฝอยไปยังแหล่งฝังกลบ (กิโลกรัม)	21,600	0.0143	308.88
ปริมาณก๊าซหุงต้ม (กิโลกรัม)	4,590	3.1134	14,290.51
ปริมาณกระดาษ (รีม)	298	2.0859	621.60
ปริมาณการใช้น้ำมันประเภทเครื่องยนต์ (ลิตร)			
- น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (รถยนต์)	88	2.2394	197.74
- น้ำมันดีเซล (รถยนต์)	1,108	2.7406	3,035.21
ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี (16-16-16) (กิโลกรัม)	4	1.5083	6.03
ปริมาณสารดับเพลิง (CO_2)	34	1.0000	34.00

ที่มา : Emission Factor องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [12]

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ

ผลการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศโดยจำแนกกิจกรรมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 ขอบเขตกิจกรรมพบว่าในปี 2565 โรงแรมมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 309.88 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อนำมาเรียงตามขอบเขตการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมากสุดไปน้อยที่สุด พบว่า ขอบเขตที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าปลดปล่อยมากที่สุดอยู่ที่ 264.67 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 85.41 ของการปลดปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือขอบเขตที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ และขอบเขตที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 27.13 และ18.08 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 8.75 และ 5.83 ของการปลดปล่อยทั้งหมด ดังรูปที่ 1 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิสิฐพงศ์ และ วรภัทร (2566) และ Salehi et al. (2021) ที่พบว่ากิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรมเป็นสาเหตุสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดคือเครื่องปรับอากาศคิดเป็นร้อยละ 60.09 ของพลังงานทั้งหมด จึงได้เสนอให้มีการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [15,16]



รูปที่ 1 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศตามขอบเขตกิจกรรม

ตารางที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศจำแนกตามประเภทข้อมูล

ข้อมูลโรงแรม	จำนวน	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO_2e)	ค่าเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ผู้เข้าพัก (คน)	10,962	309.88	0.0283
พื้นที่ทั้งหมด (ตารางเมตร)	6,709		0.0462
จำนวนห้อง (ห้อง)	54		5.7386

ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมจากจำนวนผู้เข้าพักอยู่ที่ 0.0283 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโรงแรมในพื้นที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีอยู่ที่ 0.0504 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [8] แต่หากเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อการเข้าพักของลูกค้า 1 ห้อง จะอยู่ที่ 5.7386 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งมีค่าสูงมากกว่าค่าเฉลี่ยของโรงแรมในประเทศไทยและค่าเฉลี่ยของโรงแรมในภูมิภาคเอเชียและค่าเฉลี่ยของโลกอยู่ที่ประมาณ 0.064 0.057 และ 0.019 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ [7] แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโฮมสเตย์ของชุมชนเกาะเกิดและชุมชนไทรน้อยพบว่ามีค่าน้อยกว่าชุมชนทั้งสองอยู่ที่ 7.705 และ 6.325 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ [9]

มาตรการส่งเสริมส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลการคำนวนปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงได้จัดทำแนวทางเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมี 2 มาตรการสำคัญคือ 1) มาตรการส่งเสริมการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และ 2) มาตรการส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนี้

มาตรการส่งเสริมการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากผลการการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโรงแรม 309.88 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยขอบเขตที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อมาจากภายนอกอยู่ที่ 264.67 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 85.41 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดทั้งหมด ในการศึกษาข้อมูลวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system) เป็นระบบที่สามารถต่อเข้าระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันจะช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ ในการสำรวจพื้นที่บริเวณหลังคาของโรงแรมและอาคารสระว่ายน้ำและฟิตเนส พบว่ามีความเข็งแรงและมีศักยภาพในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 2 ขนาดพื้นที่ทั้งสองอาคารสามารถติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ได้ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 208.80 kWp พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ประมาณ 300,671 kWh/ปี สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโรงแรมได้อยู่ที่ 150.31 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ลดลงจากเดิม 114.37 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 56.79 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลต่อการดำเนินการในการเป็นโรงแรมที่สามารถจัดการพลังงานได้ดี



รูปที่ 2 การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น

ปัจจุบันธุรกิจโรงแรมมีการแข่งขันที่เน้นเรื่องความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของนักท่องเที่ยวดลุ่มที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม ดังนั้นการที่โรงแรมมีมาตรการส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จะเป็นการเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับโรงแรมและประหยัดทรัพยากรรวมทั้งเป็นที่ยอมรับของนักท่องเที่ยวและชุมชนท้องถิ่น รายละเอียดข้อเสนอแนะการดำเนินการดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการสร้างมาตรการส่งเสริมสู่มาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

หมวด	ข้อเสนอแนวทางการดำเนินการ
1. นโยบายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	1.1 มีการแต่งตั้งคณะผู้บริหารและคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อม “Green Team” 1.2 มีการกำหนดนโยบายและเป้าหมายด้านการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและด้านการอนุรักษ์พลังงาน
2. การพัฒนาบุคลากร	2.1 มีการจัดอบรมให้กับพนักงานเรื่องการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 2.2 มีการศึกษาดูงานให้กับคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อม “Green Team” เรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน
3. การณรงค์ประชาสัมพันธ์	3.1 มีการรณรงค์ประชาสัมพันธ์แก่พนักงาน ให้ความรู้และสร้างความตระหนักเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน 3.2 มีการรณรงค์ประชาสัมพันธ์และสร้างการมีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงานแก่ผู้ใช้บริการทั่วไป ผ่านโปสเตอร์ แผ่นพับ การ์ดหรือสติ๊กเกอร์ในห้องพัก กระดาษเอกสาร นิทรรศการ หรือกิจกรรมรณรงค์
4. การจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	4.1 มีการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือวัสดุท้องถิ่น 4.2 มีข้อมูลการจัดซื้อจัดจ้างสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
5. การจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงาน	5.1 การจัดการน้ำ ได้แก่ มีการจัดทำสถิติการใช้น้ำ ลดการใช้น้ำโดยใช้อุปกรณ์ประหยัดน้ำ นำน้ำที่ผ่านการบำบัดฟื้นฟูคุณภาพแล้วมาใช้ประโยชน์ มีระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมรวมถึงจัดการเศษอาหารและน้ำมันก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด 5.2 การจัดการขยะ ใช้หลักการ 3 R (Reduce Reuse Recycle) มีระบบรวบรวมขยะ มีการบันทึกสถิติการจัดการขยะรวมถึงการนำกลับมาใช้ 5.3 การจัดการพลังงาน ลดการใช้พลังงานในสถานประกอบการ ใช้เทคโนโลยีหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงาน จัดทำสถิติข้อมูลพร้อมเป้าหมายการลด 5.4 การจัดการอากาศและเสียง มีระบบป้องกันเสียงรบกวน มีระบบป้องกันกลิ่นควัน และฝุ่นสะออง 5.5 มีการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ระบบเตือนภัยรับมือเหตุฉุกเฉิน 5.6 มีการจัดการพื้นที่สีเขียวและภูมิทัศน์ เพื่อช่วยในการดูดกลับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มทัศนียภาพที่ดี

สรุป

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับธุรกิจโรงแรมขนาดเล็กโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การใช้พลังงานทดแทน และส่งเสริมการจัดทำมาตรการส่งเสริมตามมาตรฐานโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการสริมสร้างความสมบูรณ์แก่สิ่งแวดล้อมและแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ ทำให้เกิดการถยกระดับการบริหารจัดการของเสียมลพิษ และการเตรียมรับมือกับสถานการณ์ฉุกเฉินจากภาคการท่องเที่ยว รวมถึงการสร้างแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการท่องเที่ยวเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อแหล่งท่องเที่ยวและภาคธุรกิจในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

นักวิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและบุคลากรของศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ทำให้งานวิจัยนี้ลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วรัญญา มหาวนากูล และจิรัฐ เจนพึ่งพร. 2566. การท่องเที่ยวไทยยังแข่งขันได้จริงหรือไม่. ธนาคารแห่งประเทศไทย. ที่มา: https://www.bot.or.th/th/research-and-publications/articles-and-publications/articles/article

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2566. การสำรวจที่พักแรม พ.ศ. 2565. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. 118 หน้า

[3] บุญชนะ เจริญผล และอภิรัตน์ กังสดารพร. 2565. แนวทางการพัฒนาธุรกิจโรงแรมและรีสอร์ทขนาดเล็กและขนาดกลางในจังหวัดน่าน กับสถานการณ์ภาวะโรคระบาดไวรัสโคโรน่า 2019 (Covid-19). วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 16(1): 53-67

[4] ภูมิพัฒน์ ฉายา, อริษา จันติ๊บ, สุนันทา เพ็ชรกลาง, มนัญชญา กลิ่นหอม และกนกภรณ์ ครุฑภาพันธ์. (2565). กลยุทธ์การจัดการธุรกิจโรงแรมขนาดเล็ก ในสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคโควิด-19. วารสารศิลปศาสตร์ มทร.ธัญบุรี 3(2): 24-34

[5] พิพัฒน์ รัชกิจประการ. (2563). Covid-19 กับผลกระทบต่อการท่องเที่ยว. กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา

[6] คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ. (2567). แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2566 – 2570). กระทรวงท่องเที่ยวและกีฬา. 146 หน้า

[7] Cornell Hotel Sustainability. (2023). Cornell Hotel Sustainability Benchmarking (CHSB) Index 2023 Released. ที่มา: https://greenview.sg/cornell-hotel-sustainability-benchmarking-chsb-index-2023-released

[8] Greenview Hospitality Pte Ltd. (2023). Find out the carbon footprint of a hotel anywhere in the world. ที่มา: https://greenview.sg/services/greenview-hotel-footprinting-tool/

[9] สุวจี แตงอ่อน และเยาวภรณ์ เลิศกุลทานนท์. 2562. ความสามารถในการลดก๊าซเรือนกระจกจากโฮมสเตย์: กรณีศึกษาเปรียบเทียบชุมชนเกาะเกิดและชุมชนไทรน้อย จังหวัดอยุธยา. วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี 13 (2): 330-346

[10] กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม. 2567. โรงแรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมล้อม (Green Hotel). ที่มา: https://greenhotelthai.com/th/introduce.

[11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2559). คู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง. 88 หน้า

[12] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) – TGO. (2013). Guideline for corporate Carbon Footprint (CCF) Assessment. Corporate Carbon Footprint Promotion Project. Second Edition.

[13] กฎกระทรวงกำหนดประเภทและหลักเกณฑ์การประกอบธุรกิจโรงแรม พ.ศ. 2551. (2551, 23 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเบกษา

[14] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2561). คู่มือโรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม Green Hotel With BCG. สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน. พิมพ์ครั้งที่ 1. 60 หน้า

[15] พิสิฐพงศ์ ตันติมาสน์ และ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์. (2566). ศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์: กรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล. 36(2): 108-127

[16] Salehi, M., Filimonau, V., Asadzadeh, M., & Ghaderi, E. (2021). Strategies to improve energy and carbon efficiency of luxury hotels in Iran. Sustainable Production and Consumption, 26, 1-15.

20R1-16

การศึกษาและพัฒนาคู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้า: กรณีศึกษาโรงงานซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดกลางแห่งหนึ่ง

Study and Development of a Safety Manual for Electric Motor Repair: A Case Study of a Medium Sized Factory

ศุขฤทัย ทานะเวช[1*] นันท์นภัสร อินยิ้ม[2] และ เลิศเลขา ศรีรัตนะ[3]
Sukreuthai Tanawed[1*] Nannapasorn Inyim[2] and LerdLekha Sriratana[3]
[1*]นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240
*โทรศัพท์ : 08 8223 3512 E-mail : Sukreuthai.ta@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคู่มือความปลอดภัยสำหรับงานซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้าในโรงงานขนาดกลาง มีกระบวนการพัฒนาคู่มือเริ่มจากการสำรวจความคิดเห็นของพนักงานเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานและคู่มือฉบับเดิม ควบคู่กับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง อาทิ มาตรฐานความปลอดภัย กฎหมาย และแนวทางการออกแบบคู่มือที่เข้าใจง่าย จากนั้นจึงปรับปรุงคู่มือ พร้อมสอบถามความพึงพอใจของพนักงานใน 4 ด้าน ได้แก่ ความชัดเจนของภาษา ความครอบคลุมของเนื้อหา ความเกี่ยวข้องกับงานจริง และความง่ายในการนำไปปฏิบัติ ผลการดำเนินการ คู่มือฉบับปรับปรุงได้รับการออกแบบตามแนวทางที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานด้านความปลอดภัย กฎหมายและข้อบังคับ แนวทางปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย และหลักการใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย (Plain Language) เพื่อให้มีความชัดเจนและลดการใช้คำศัพท์เฉพาะทางที่ไม่จำเป็น จัดโครงสร้างเนื้อหาอย่างเป็นระบบ พร้อมแบ่งเป็นหัวข้อย่อยเพื่อความสะดวกในการค้นหา มีการใช้ภาพประกอบและสัญลักษณ์ความปลอดภัยเพื่อช่วยอธิบาย และมีการแปลเนื้อหาบางส่วนเป็นภาษาต่างประเทศ เพื่อให้แรงงานต่างชาติสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ ผลการประเมินความพึงพอใจจากพนักงานในโรงงานกรณีศึกษา พบว่า คู่มือฉบับปรับปรุงมีคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 4.55 อยู่ในระดับมากที่สุด โดยด้านที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือ ความง่ายในการนำไปใช้งาน (ค่าเฉลี่ย 4.68) รองลงมาคือ ความเกี่ยวข้องกับงานจริง (4.52) ความชัดเจนของภาษา (4.52) และความครอบคลุมของเนื้อหา (4.48) ซึ่งทั้งหมดสะท้อนให้เห็นว่าคู่มือฉบับนี้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน และมีความเหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ : คู่มือความปลอดภัย; ความปลอดภัยในการทำงาน; การซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้า

Abstract

This study aimed to develop a safety manual for electric motor maintenance in a medium-sized manufacturing factory. The development process began with a survey of employees' opinions regarding workplace safety and the existing safety manual, alongside a review of relevant literature, including safety standards, legal regulations, and user-friendly manual design principles. Based on the collected data, the safety manual was revised and employee satisfaction was evaluated in four key areas: language clarity, content coverage, relevance to actual work, and ease of use. The revised manual was designed following effective manual development guidelines. It includes essential safety knowledge, applicable laws and

regulations, and safe work practices. It also adopts the "Plain Language" approach to ensure clarity and minimize the use of unnecessary technical terms. The content is systematically organized and divided into accessible sections, enhanced with pictures and safety symbols to improve understanding. Some parts of the manual were translated into other languages to accommodate foreign workers. The employee satisfaction survey results showed an overall mean score of 4.55, rated at the highest satisfaction level. The highest-rated aspect was ease of use (mean score = 4.68), followed by relevance to actual work (4.52), language clarity (4.52), and content coverage (4.48). These results indicated that the revised manual effectively met user needs and was well-suited for enhancing workplace safety in electric motor maintenance operations.

Keywords: Safety Manual; Occupational Safety; Maintenance of Electric Motors

บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิตและระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ แต่การซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้ามีความเสี่ยงสูง เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรกล และสารเคมีอันตราย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตราย เช่น ไฟฟ้าดูด ไฟฟ้าช็อต และการได้รับสารเคมี เป็นต้น การปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัยอาจนำไปสู่อุบัติเหตุและการบาดเจ็บ ส่งผลกระทบต่อพนักงาน ประสิทธิภาพการทำงาน รวมถึงอาจส่งผลกระทบทางกฎหมาย การเงิน และภาพลักษณ์ของบริษัท ปัจจุบัน โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดกลาง ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้า ให้บริการลูกค้าในกลุ่มอุตสาหกรรมหนัก เช่น โรงงานเหล็ก โรงไฟฟ้า และอยู่ในช่วงขยายตัว ทำให้ต้องรับพนักงานใหม่จำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพนักงานที่ยังไม่มีประสบการณ์ และมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ยิ่งไปกว่านั้น บริษัทยังมีการจ้างแรงงานต่างชาติ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านภาษาและความเข้าใจในวัฒนธรรมความปลอดภัยของไทย จากบันทึกข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุพบว่า ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา มีอุบัติเหตุเล็กน้อยเกิดขึ้น 5 ครั้ง ส่วนใหญ่เป็นการสัมผัสสารเคมีระคายเคือง เช่น น้ำยาทำความสะอาด ทำให้เกิดอาการผื่นคัน และระคายเคืองตา อย่างไรก็ตาม อันตรายที่แฝงอยู่ในแต่ละขั้นตอนการทำงานยังอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ทุกเวลา หากไม่มีการดำเนินการด้านความปลอดภัยที่เหมาะสม ดังนั้น เพื่อยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน บริษัทได้ทำการสำรวจความคิดเห็นของพนักงาน และสอบถามความต้องการในเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน พบว่า พนักงานต้องการให้มีการปรับปรุง 3 ด้านหลัก ได้แก่ 1. การปรับปรุงจำนวนพนักงานให้เหมาะสมกับจำนวนงาน เพื่อลดความเหนื่อยล้า และความผิดพลาดในการทำงาน 2. การปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยในการทำงานให้มีเนื้อหาที่อ่านและเข้าใจได้ง่าย สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง และ 3. การจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานที่ครบถ้วนและมีคุณภาพ จากความต้องการทั้ง 3 ข้อดังกล่าว ทางบริษัทมีการแก้ไขปัญหาในส่วนของจำนวนพนักงานและความพร้อมของอุปกรณ์และเครื่องมือแล้ว ยังเหลือในส่วนของคู่มือความปลอดภัยซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน และลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาคู่มือความปลอดภัยในงานซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้คู่มือที่มีมาตรฐาน สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง และได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งาน โดยมี การดำเนินการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของคู่มือความปลอดภัยให้เหมาะสมกับบริบทขององค์กร และการปรับปรุงคู่มือเดิมพร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของคู่มือฉบับปรับปรุงในด้านความชัดเจนของภาษา ความครอบคลุมของเนื้อหาความเกี่ยวข้องกับงานจริง และความง่ายในการนำไปปฏิบัติ

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการดำเนินการศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์และวิธีการดังนี้

1. **การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น**

การดำเนินงานเริ่มต้นด้วยการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาคู่มือความปลอดภัยฉบับปรับปรุง โดยพิจารณาจากข้อบกพร่องของคู่มือเดิมเพื่อระบุประเด็นที่ต้องปรับปรุงแก้ไข กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ดำเนินการควบคู่ไปกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งครอบคลุมถึงมาตรฐานความปลอดภัย กฎหมายที่เกี่ยวข้อง หลักการออกแบบคู่มือเพื่อการ

สื่อสารที่มีประสิทธิภาพ (Plain Language) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทบทวนวรรณกรรมมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้และหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาคู่มือความปลอดภัยที่มีความเหมาะสมกับบริบทของสถานประกอบการกรณีศึกษา

2. **การปรับปรุงคู่มือความปลอดภัย**

ดำเนินการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฉบับเดิม โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์องค์ความรู้และหลักการออกแบบคู่มือที่ได้ศึกษามา กระบวนการปรับปรุงนี้มุ่งเน้นการแก้ไขข้อบกพร่องของคู่มือเดิม และการนำเสนอเนื้อหาให้มีความถูกต้อง ครบถ้วน ชัดเจนและเข้าใจง่าย โดยคำนึงถึงโครงสร้างของคู่มือ (เช่น การแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ คำนำ สารบัญ เนื้อหาหลัก และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง) และรูปแบบของคู่มือ (เช่น การใช้รูปภาพประกอบและป้ายสัญลักษณ์ความปลอดภัยในส่วนที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยอธิบายเนื้อหาและดึงดูดความสนใจของผู้อ่าน)

3. **การพัฒนาแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจ:**

การพัฒนาแบบสอบถามเพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจของพนักงานต่อคู่มือความปลอดภัยฉบับปรับปรุง ประกอบด้วยประเด็นคำถาม 4 ด้านหลัก ได้แก่ ความชัดเจนของภาษา ความครอบคลุมของเนื้อหา ความเกี่ยวข้องกับงานจริง และความง่ายในการนำไปใช้ แบ่งระดับคะแนนความพึงพอใจตามมาตราส่วนลิเคิร์ท (Likert Scale) 5 ระดับ ดังนี้ คือ มากที่สุด (คะแนน = 5) มาก (4) ปานกลาง (3) น้อย (2) น้อยที่สุด (1) โดยแบบสอบถามดังกล่าวผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อยืนยันความสอดคล้องของเนื้อหากับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

4. **การรวบรวมข้อมูล**

รวบรวมข้อมูลความคิดเห็นที่มีต่อคู่มือฉบับปรับปรุงจากประชากรเป้าหมายคือ พนักงานฝ่ายปฏิบัติการทั้งหมดของบริษัทกรณีศึกษา จำนวน 25 คน ใช้วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากประชากรที่มีคุณสมบัติเฉพาะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการศึกษา ในกรณีนี้คือ พนักงานฝ่ายปฏิบัติการทั้งหมด เนื่องจากเป็นกลุ่มผู้ใช้งานหลักและมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้คู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้า

5. **การวิเคราะห์ข้อมูล**

วิเคราะห์ข้อมูล โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ข้อมูลเชิงปริมาณ วิเคราะห์ข้อมูลจากคะแนนความพึงพอใจโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อประเมินระดับความคิดเห็นของพนักงานในแต่ละด้าน ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามมาตราส่วนลิเคิร์ท 5 ระดับ ได้กำหนดช่วงคะแนนสำหรับแปลผลระดับความคิดเห็น Likert scale ดังนี้

4.51 - 5.00 หมายถึง มากที่สุด
3.51 - 4.50 หมายถึง มาก
2.51 - 3.50 หมายถึง ปานกลาง
1.51 - 2.50 หมายถึง น้อย
1.00 - 1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

ระดับคะแนนเฉลี่ยที่คำนวณได้ในแต่ละด้าน จะนำไปใช้ในการอธิบายและสรุปผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงานต่อคู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละด้าน เพื่อให้การนำเสนอผลการวิเคราะห์มีความชัดเจนและเข้าใจง่ายยิ่งขึ้น

ข้อมูลเชิงคุณภาพ วิเคราะห์ข้อมูลจากส่วนของคำถามปลายเปิดโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อระบุประเด็นสำคัญ แนวโน้ม และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคู่มือ

นำข้อมูลจากทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ภาพรวมที่สมบูรณ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพของคู่มือความปลอดภัยและแนวทางในการปรับปรุง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการจัดทำคู่มือความปลอดภัยฉบับปรับปรุง ผู้วิจัยได้นำแนวทางการจัดทำคู่มือความปลอดภัยและหลักการออกแบบคู่มือเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ มาเป็นกรอบในการดำเนินงาน โดยเน้นประเด็นสำคัญ ได้แก่ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความปลอดภัย กฎหมายและข้อบังคับ แนวทางการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย และหลักการใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย (Plain Language) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- โครงสร้างของคู่มือ: คู่มือความปลอดภัยฉบับปรับปรุงมีโครงสร้างที่ชัดเจนและเป็นระบบ โดยแบ่งเนื้อหาเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ คำนำ สารบัญ เนื้อหาหลัก และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของเนื้อหาหลัก ได้แบ่งเป็นหัวข้อย่อย เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและทำความเข้าใจ เช่น กฎระเบียบความปลอดภัยทั่วไป ความปลอดภัยในการทำงานเฉพาะด้าน (เช่น การซ่อมแซมมอเตอร์ การทำงานกับเครื่องจักร) และการปฐมพยาบาล โดยมีเป้าหมายเพื่อช่วยให้พนักงานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว
- รูปแบบของคู่มือ: มีการกำหนดรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาให้มีความน่าสนใจและเข้าใจง่าย โดยใช้รูปประกอบและป้ายสัญลักษณ์ความปลอดภัยในส่วนที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยอธิบายเนื้อหาและดึงดูดความสนใจของผู้ใช้ นอกจากนี้ ยังใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายและเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อให้พนักงานปฏิบัติตามได้โดยสะดวก ซึ่งเป็นไปตามหลักการ Plain Language ที่เน้นการใช้ภาษาที่กระชับ ตรงประเด็น และหลีกเลี่ยงคำศัพท์เฉพาะทางที่ไม่จำเป็น และมีการแปลบางส่วนของคู่มือเป็นภาษาอื่น เพื่อให้พนักงานต่างชาติสามารถเข้าถึงได้
- ความสอดคล้องกับกฎหมาย: มีการกำหนดเนื้อหาให้ครอบคลุมกฎหมายด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 และกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นกฎหมายและมาตรฐานหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการดำเนินงานของโรงงาน

ผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงานฝ่ายปฏิบัติการ จำนวน 25 คน ที่มีต่อคู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้าฉบับปรับปรุง มีระดับคะแนนความพึงพอใจในแต่ละด้าน ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของคู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้า

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
ความชัดเจนของภาษา	4.52	0.65	มากที่สุด
ความครอบคลุมของเนื้อหา	4.48	0.65	มาก
ความเกี่ยวข้องกับงานจริง	4.52	0.59	มากที่สุด
ความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	4.68	0.48	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรวมทุกองค์ประกอบ	4.55	0.59	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า โดยภาพรวม พนักงานมีความพึงพอใจต่อคู่มือความปลอดภัยในการซ่อมมอเตอร์ไฟฟ้าฉบับปรับปรุงในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.55, S.D. = 0.59) ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พบว่า ด้านความง่ายในการนำไปปฏิบัติ ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ = 4.68, S.D. = 0.48) ซึ่งหมายความว่าคู่มือฉบับปรับปรุงนี้มีลำดับเนื้อหาที่ชัดเจน มีขั้นตอนและคำแนะนำที่เข้าใจง่าย และสามารถนำไปปฏิบัติตามได้โดยสะดวก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่คู่มือฉบับปรับปรุงนี้มีโครงสร้างที่เป็นระบบ มีการแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนต่าง ๆ อย่างชัดเจน และมีการใช้ภาพประกอบ รูปภาพ หรือแผนผังที่ช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวสันต์ บุญล้อม ,(2565) [1] ที่พบว่าการมีคู่มือและแนวปฏิบัติที่ชัดเจนช่วยให้พนักงานเข้าใจและปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องและปลอดภัย รองลงมา คือ ด้านความเกี่ยวข้องกับงานจริง มีคะแนนเฉลี่ย 4.52 (S.D. = 0.59) สะท้อนให้เห็นว่าคู่มือมีความสอดคล้องกับลักษณะงานที่พวกเขาปฏิบัติจริง ทำให้มีความมั่นใจว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้านความชัดเจนของภาษา มีคะแนนเฉลี่ย 4.52 (S.D. = 0.65) แสดงว่าคู่มือนี้ใช้ภาษาที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้โดยง่าย เนื่องจาก การปรับปรุงนี้มุ่งเน้นการใช้ภาษาที่ชัดเจน กระชับ และตรงประเด็น ตามหลักการ Plain Language ซึ่งเป็นแนวทางการเขียนและการสื่อสารที่มุ่งเน้นให้ข้อมูลชัดเจน เข้าใจง่าย และตรงประเด็น ลดการใช้ศัพท์เฉพาะทางที่ไม่จำเป็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ CCOHS Hazard Communication - Using Plain (Clear) Language, (2022) [2] ที่เน้นย้ำถึงความสำคัญของการใช้ภาษาที่ชัดเจน (Plain Language) ในการสื่อสารข้อมูลด้านความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน สำหรับด้านความครอบคลุมของเนื้อหา มีคะแนน

เฉลี่ย 4.48 (S.D. = 0.65) ซึ่งอยู่ในระดับมาก แสดงว่าคู่มือมีข้อมูลด้านความปลอดภัยที่ครบถ้วนตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง มีเนื้อหาที่ครอบคลุมอันตรายและความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้า รวมถึงมีมาตรการป้องกัน การปฐมพยาบาล และการรับมือกับเหตุฉุกเฉิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ หิรัญ คุณาเสงี่ยมพร, (2567) [3] ที่มีการศึกษาถึงความสำคัญของมาตรการในการป้องกันและจัดการความปลอดภัยตามกฎหมาย ทั้งนี้ มีความคิดเห็นเพิ่มเติมจากแบบสอบถามคือ จุดเด่นของคู่มือฉบับปรับปรุงในเรื่องการจัดระเบียบข้อมูล โดยเฉพาะในการแยกข้อมูลที่นำเสนอตามลักษณะงานซ่อมบำรุง ช่วยให้ผู้ใช้งานคู่มือดังกล่าวสามารถเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็ว ตรงประเด็น และทำให้ตระหนักถึงข้อควรระวังในการปฏิบัติงานได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้านความง่ายในการนำไปใช้งานที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด

ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงาน มีข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา ดังนี้

การนำไปใช้กับโรงงานกรณีศึกษา ควรมีการเผยแพร่และส่งเสริมการใช้คู่มือฉบับปรับปรุง พร้อมทั้งจัดการอบรมที่เน้นการปฏิบัติจริงและกรณีศึกษา เพื่อให้พนักงานเข้าใจและสามารถนำคู่มือไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการติดตามผลการใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยอาจใช้แบบสอบถาม การสังเกตพฤติกรรม หรือการวิเคราะห์สถิติอุบัติเหตุ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงคู่มืออย่างสม่ำเสมอ

การนำไปใช้กับโรงงานอื่น ๆ หากเป็นโรงงานขนาดเล็กอาจปรับลดเนื้อหาที่ไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะงาน หรือปรับรายละเอียดกฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยให้ตรงกับบริบท สำหรับโรงงานที่มีความเสี่ยงสูง ควรเพิ่มเนื้อหาการจัดการเหตุฉุกเฉิน หรือรายละเอียดอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (PPE) ส่วนโรงงานที่มีพนักงานต่างชาติมาก ควรเพิ่มการแปลภาษาหรือใช้สัญลักษณ์สื่อสาร

สำหรับการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคู่มือนี้กับคู่มือความปลอดภัยอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมใกล้เคียง เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น

สำหรับการพัฒนาคู่มือ ควรมีการทบทวนและปรับปรุงเนื้อหาของคู่มืออย่างต่อเนื่องให้ทันสมัย สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของกฎหมาย เทคโนโลยี และแนวปฏิบัติที่ดี

สรุป

คู่มือความปลอดภัยในงานซ่อมบำรุงมอเตอร์ไฟฟ้าที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนี้ผ่านกระบวนการในการพัฒนาโดยเริ่มจากการสำรวจความคิดเห็นของพนักงานเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานและคู่มือความปลอดภัยฉบับเดิม ควบคู่ไปกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงพัฒนาคู่มือ โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงโครงสร้างของคู่มือให้มีความชัดเจนและเป็นระบบ แบ่งเนื้อหาเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ คำนำ สารบัญ เนื้อหาหลัก และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของเนื้อหาหลักได้แบ่งเป็นหัวข้อย่อย เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและทำความเข้าใจ เช่น กฎระเบียบความปลอดภัยทั่วไป ความปลอดภัยในการทำงานเฉพาะด้าน และการปฐมพยาบาล รูปแบบของคู่มือเน้นการนำเสนอเนื้อหาให้มีความน่าสนใจและเข้าใจง่าย โดยใช้รูปประกอบและป้ายสัญลักษณ์ความปลอดภัยในส่วนที่เกี่ยวข้อง ใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายและเป็นลำดับขั้นตอนตามหลักการ Plain Language และหลีกเลี่ยงคำศัพท์เฉพาะทางที่ไม่จำเป็น และมีการแปลบางส่วนของคู่มือเป็นภาษาอื่นเพื่อให้พนักงานต่างชาติสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยเนื้อหาทั้งหมดในคู่มือมีความสอดคล้องกับมาตรฐานการทำงานและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง คือ พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 และกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นกฎหมายและมาตรฐานหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา

การสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อคู่มือฉบับปรับปรุงใน 4 ด้าน ได้แก่ ความชัดเจนของภาษา ความครอบคลุมของเนื้อหา ความเกี่ยวข้องกับงานจริง และความง่ายในการนำไปปฏิบัติ พบว่าผู้ใช้งานคู่มือฯ มีความพึงพอใจต่อคู่มือในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยแบ่งเป็นระดับความพึงพอใจมากที่สุด 3 ด้าน คือ ความชัดเจนของภาษา (การใช้ภาษาที่ชัดเจน เข้าใจง่าย และเหมาะสมกับระดับความรู้ของผู้ปฏิบัติงาน) ความเกี่ยวข้องกับงานจริง (มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับงานที่ทำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ) และความง่ายในการนำไปปฏิบัติ (มีความสะดวก ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพในการนำไปปฏิบัติ) และมีความพึงพอใจในระดับมาก 1 ด้าน คือ ความครอบคลุมของเนื้อหา (มีเนื้อหาครบถ้วน

ครอบคลุม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้) แสดงให้เห็นว่าคู่มือฉบับปรับปรุงดังกล่าวมีเนื้อหาชัดเจน ครอบคลุม ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน สามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] วสันต์ บุญล้อม. (2565). การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. รายงานการประชุมวิชาการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ, 63-79.

[2] Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS). (2022). Hazard communication - Using plain (clear) language. https://www.ccohs.ca

[3] หิรัญ คุณาเสงี่ยมพร. (2024). มาตรการป้องกันและการจัดการความปลอดภัยในงานก่อสร้าง กรณีศึกษางานก่อสร้างในเขตเทศบาลนครนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี. วารสารธรรมเพื่อชีวิต, 30(2), 234-255

20R1-17

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบน้ำหมุนเวียนเพื่อการเกษตรกรรม

Health Risk Assessment of Water Reuse for Agriculture

วาลิกา เศวตโยธิน[1]* ภริณดา ทยานุกูล[2] สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์[3]
Variga Sawaittayotin[1]* Parinda Thayanukul[2] Suda Ittisupornrat[3]
1*นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม
[2]อาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; [3]นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม 40002
โทรศัพท์ : 025774185, โทรสาร: 025771138, E-mail: Variga2011@gmail.com.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำคลองมหาสวัสดิ์ที่มีการใช้หมุนเวียนในกิจกรรมด้านเกษตร โดยสารเคมี 3,4,4-Trichlorocarbanilide (TCS) และ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) กลุ่มสารฆ่าเชื้อและสารลดแรงตึงผิวที่ตรวจพบในน้ำมีค่าดัชนีความอันตรายที่ 3.05×10^{-4} และในกรณีที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในคลองมีค่าดัชนีความอันตราย 3.49×10^{-5} โดยทั้งคู่มีความเสี่ยง (Hazard quotient, HQ) น้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และการรับประทานผักบุ้งมีความเป็นอันตรายน้อยกว่าการบริโภคน้ำ สำหรับกรณีที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าวที่มีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในนาข้าว 15 วัน มีค่าดัชนีความอันตรายของสาร TCS 3.7×10^{-9} และ LAS 1.16×10^{-8} และค่าดัชนีอันตรายรวม (Hazard Index, HI) 4.86×10^{-8} มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ส่วนในกรณีที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าวที่มีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในนา 30 วัน พบว่าค่าดัชนีความอันตรายของสาร TCS 4.5×10^{-9} และ LAS 3.0×10^{-6} และค่า HI 3.04×10^{-6} ซึ่งมีความเสี่ยงที่สูงขึ้นแต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ในด้านความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อโรคในระหว่างการรดน้ำในการเกษตร พบว่ามีความเสี่ยงในการได้รับ *Escherichia coli* สูงสุดจากน้ำในคลองมหาสวัสดิ์คือ 1.16×10^{-2} และน้ำในแปลงนาข้าว 1.81×10^{-2} และความเสี่ยงในการได้รับ *Giardia lamblia* สูงสุดจากน้ำในคลองมหาสวัสดิ์คือ 7.8×10^{-1} และน้ำในแปลงนาข้าว 1.0 ซึ่งมากกว่าระดับที่ยอมรับได้สำหรับกิจกรรมนันทนาการ (8×10^{-3}) หรือน้ำดื่มได้ (1×10^{-4}) ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการบริโภคสู่ร่างกาย และควรมีการล้างผลผลิตก่อนบริโภค การทำนาข้าวแบบ โคก หนอง นา โมเดล มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมากกว่าการทำนาข้าวแบบเกษตรผสมผสาน และมีปริมาณจุลินทรีย์ *E. coli* และ *G. lamblia* ที่น้อยกว่า อันเนื่องจากมีพื้นที่นาข้าวมากกว่า และระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่ 15 วันจะมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีกว่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 30 วัน อันน่าจะเนื่องจากมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในนาข้าวและมีการใส่ปุ๋ยที่น้อยกว่าเนื่องจากนาข้าวทั้ง 2 แบบมีบ่อเก็บน้ำสำหรับใช้หมุนเวียน ไม่มีการปล่อยน้ำจากการทำนาออกจากสู่สิ่งแวดล้อม จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองและชุมชนได้ น้ำที่ออกจากนาข้าวทั้งสองแบบสามารถใช้เพื่อการเกษตรกรรมได้

คำสำคัญ : น้ำหมุนเวียน; การเกษตร; การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Abstract

This study estimated the risk of using recirculated water from Mahasawad canal for agricultural activities. Based on 3,4,4-Trichlorocarbanilide (TCS) and Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS), the biocide and surfactant, analysis, the hazard quotient (HQ) of using the canal water was 3.05×10^{-4}, while the one for consuming morning glory growing in the canal was lower to 3.49×10^{-5}, which were in the acceptable range of below 1. The HQs of consuming fresh morning glory planted in paddy field effluent with the hydraulic retention time (HRT) of 15 days were 3.7×10^{-9} for TCS and 1.16×10^{-8} for LAS. The Hazard Index (HI) of total detected chemicals was 4.86×10^{-8} which meet the acceptable risk level. The consumption of morning glory planted in the paddy fields effluent with the HRT 30 days had the HQ for TCS as 4.5×10^{-9} and for LAS as 3.0×10^{-6}. The HI was 3.04×10^{-6}, which the risk was increased but still in the acceptable level. The maximum pathogenic exposure risk for the agricultural irrigated water with Mahasawad canal and paddy field pond was 1.16×10^{-2} and 1.81×10^{-2}, respectively, based on the *Escherichia coli* detection. The maximum infection risk for *Giardia lamblia* was 7.8×10^{-1} in Mahasawad canal water and 1.0 in paddy field water. These values exceeded the acceptable range for recreational water of 8×10^{-3} and drinking water of 1×10^{-4}. Therefore, farmers should avoid consuming Mahasawad canal water and paddy field water, together with washing the agricultural product before consuming. The experimental results show that the Khok Nong Na model (mound-pond-paddy field model) has higher water treatment efficiency and lower *E. coli* and *G. lamblia* concentrations than the integrated farming system. This was likely due to the larger water retention area in the paddy field. In addition, higher removal capacity was observed for the HRT 15 days than for HRT 30 days, which was likely due to the lower organic matter fermentation and fertilizer application. Both types of paddy fields have water retention ponds that circulate water to crops without discharging wastewater to the environment. The paddy field can be applied to treat wastewater and improve canal water quality. The treated paddy field water released from both types of rice fields was able to be used for agriculture.

Keyword: water reuse agricultural Health risk assessment

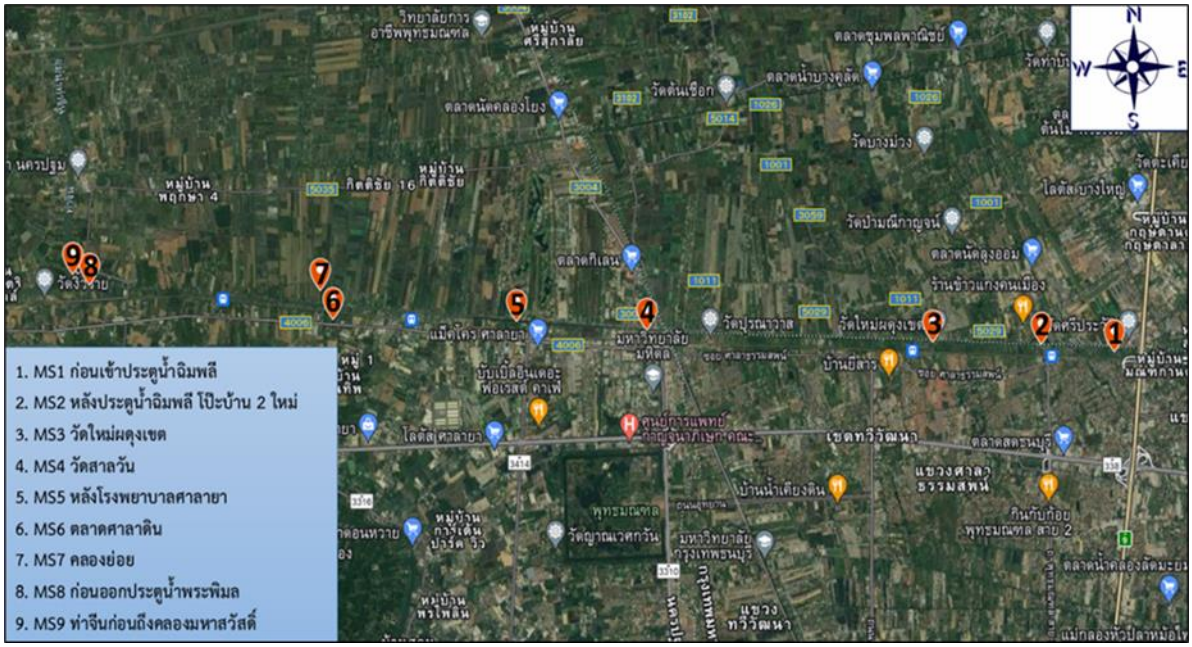
บทนำ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของการนำน้ำกลับใช้ใหม่ มีความสำคัญต่อการลดความเสี่ยงในการใช้น้ำของประชาชนที่เกิดจากการปนเปื้อนของสารมลพิษและเชื้อก่อโรค งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและศึกษาแนวทางในการลดความเสี่ยงของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบน้ำหมุนเวียนเพื่อการเกษตรกรรม

อุปกรณ์และวิธีการ

1.การเก็บตัวอย่างน้ำคลอง

พื้นที่ที่ทำการวิจัยเป็นบริเวณตำบลมหาสวัสดิ์ อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ประชาชนมีการใช้น้ำในการหมุนเวียนทำนาข้าว ทำสวนและนาบัว ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองมหาสวัสดิ์จำนวน 9 จุด ดังแสดงในรูปที่ 1 และเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากนาข้าวจำนวน 4 จุด เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำและประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสโรคและสารเคมี



รูปที่ 1 แผนที่เก็บตัวอย่างน้ำคลองมหาสวัสดิ์

2. คุณภาพน้ำพื้นฐานที่ทำการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำใช้วิธีมาตรฐานตาม APHA (2017) [1] โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์อ้างอิงตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

3. การตรวจวัดเชื้อโพรโตซัว *Giardia sp.*

ซึ่งมีความสำคัญทางการแพทย์เพราะบางสายพันธุ์ก่อโรค Giardiasis หรือ Lambliasis รวมทั้งมีความคงทนต่อกระบวนการฆ่าเชื้อทั้งคลอรีนและยูวีในระบบการผลิตน้ำประปา (U.S. EPA, 2000 [2]) งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบตรวจวัด *Giardia lamblia* ด้วยวิธี Quantitative polymerase chain reaction (qPCR) ตามอย่างวิธีของ Ahmed, et al (2010) [3] และคำนวณความเสี่ยงโดยใช้ Exponential model และความเสี่ยงในการติดเชื้อต่อปีตามวิธีของ Haas, et al (1999) [4] ซึ่งใช้ค่าคงที่การติดเชื้อของ *Giardia* เป็น r = 0.0198 Rose, et al (1991) [5] จากนั้นได้วิเคราะห์จำนวน Giardia cyst จากดีเอ็นเอโดยใช้การคำนวน 16 copies DNA เท่ากับ 1 cyst Guy, et. al (2003) [6]

3. การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีที่พัฒนาขึ้นโดย National Academy of Science (1983) [7] และU.S.EPA. [8] ประกอบด้วย 4 กระบวนการดังนี้ 1. การระบุความเป็นอันตรายคือ ระบุประเภทและธรรมชาติของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ คัดกรอง และจัดลำดับความเป็นอันตราย 2. คุณลักษณะสิ่งคุกคาม คืออธิบายถึงศักยภาพสิ่งคุกคามที่มีโอกาสเกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ 3. การประเมินการรับสัมผัส ประเมินความเข้มข้นหรือปริมาณของสิ่งคุกคามที่มีโอกาสเข้าสู่ร่างกาย 4. คุณลักษณะความเสี่ยง กำหนดความอันตรายและให้ข้อเสนอแนะในการตัดสินใจ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรคได้เลือกใช้วิธีการ Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) ในการประเมินความเสี่ยงของโรคติดเชื้อต่อผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไป (WHO, 2006 [9]) วิธีการประเมินความเสี่ยงของโรคติดเชื้อโดยวิธี QMRA เป็นวิธีที่หาผลโอกาสหรือความเสี่ยงของการได้รับเชื้อที่อาจจะเกิดโรคหรือไม่เป็นก็ได้ ซึ่งมีวิธีการประเมิน 4 ขั้นตอนคล้ายกับการประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารเคมี (Haas, et al (1999) [4])

5. การทดลองในนาข้าว

งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำของนาข้าวแบบ โคก หนอง นา โมเดล และนาข้าวแบบเกษตรผสมผสาน โดยนาข้าวมีความคล้ายกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่พืชจะทำหน้าที่ดูดสารอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และรากเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์และกำจัดสารปนเปื้อนในดินและน้ำ ซึ่งมีการไหลของน้ำบนพื้นผิวที่ระดับสูงจากผิวดิน 0.1 เมตร พืชในระบบเป็นข้าวสายพันธุ์ กข 95 (ดกเจ้าพระยา) ในการทำนาข้าวมีการปล่อยน้ำจากคลองมหาสวัสดิ์มากักเก็บเพื่อใช้ในการทำนาข้าว ซึ่งเรียกว่าน้ำเข้านาข้าวมีระยะเวลาในการขังน้ำในนาข้าวเหมือนกับระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียหรือ Hydraulic retention time (HRT) 15 วัน และ 30 วัน มีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในระบบ 2 รอบ คือ ระยะแตกกอ และตั้งท้อง น้ำที่ปล่อยออกจากนาข้าวจะมากักเก็บในบ่อพักน้ำเพื่อนำมาใช้หมุนเวียนในหลายกิจกรรม

ผลการทดลองและวิจารณ์

คลองมหาสวัสดิ์ มีประตูระบายน้ำ 2 แห่งได้แก่ ประตูระบายน้ำฉิมพลีและประตูระบายน้ำพระพิมล ซึ่งจะรับน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาต่อจากคลองบางกอกน้อยและแม่น้ำท่าจีนตามลำดับ เพื่อควบคุมระดับน้ำในเขตเมืองและใช้การอุปโภค บริโภค และเกษตรกรรม

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

จากการสำรวจคุณภาพน้ำในคลองมหาสวัสดิ์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 5 นครปฐม ในเดือน ตุลาคม 2563 พบว่าค่าคุณภาพน้ำ (Water quality index, WQI) อยู่ในระดับพอใช้เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนการเกษตร

ภายหลังจากนั้นได้การสำรวจทุกเดือนและพบการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียรวม (Total Coliform: TC) และอีโคไล (*E. coli*) ในน้ำคลองมหาสวัสดิ์ในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน ที่จุดเก็บ MS 2 หลังประตูระบายน้ำฉิมพลี ในฤดูแล้งพบว่ามีการปนเปื้อนของTC สูงสุดที่ความเข้มข้น 164,000 CFU/100 mL ซึ่งบ่งชี้ว่าน้ำตัวอย่างจากด้านใกล้คลองบางกอกน้อยมีปริมาณจุลินทรีย์ TC มากกว่าทางด้านใกล้แม่น้ำท่าจีน จึงน่าจะมีปริมาณสารอาหารหรือสารมลภาวะในน้ำด้านนี้มากกว่า และพบการปนเปื้อน *E. coli* ในน้ำคลองมหาสวัสดิ์ตลอดสายโดยมีการปนเปื้อนในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง โดยมีค่าสูงสุดที่จุดเก็บ MS 4 สะพานหน้าวัดสาลวัน หลังตลาดสดศาลายา ที่ความเข้มข้น 3,400 CFU/100 mL ซึ่งบ่งชี้ว่าการปนเปื้อนอุจจาระจะมาจากในคลองมหาสวัสดิ์เอง การปนเปื้อนของ TC ในตัวอย่างผักบุ้งแดงและขาวที่ปลูกในคลองบริเวณเดียวกัน พบว่าผักบุ้งแดงมีการปนเปื้อน TC มากกว่าผักบุ้งขาว 3 เท่า คือ 6.8×10^5 CFU/g แต่ไม่พบการปนเปื้อนของอีโคไลที่มาจากอุจจาระของสัตว์เลือดอุ่น

การปนเปื้อนของ *Enterococcus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียบ่งชี้ที่มีการนำมาใช้ควบคู่กับ *E. coli* โดยที่เชื้อนี้สามารถวัดได้ทั้งน้ำทะเลและน้ำจืด โดยที่ US.EPA. [10] กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 130 CFU/100 mL สำหรับการวัดครั้งเดียวในแหล่งน้ำจืดที่ใช้เพื่อการนันทนาการ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของแบคทีเรีย *Enterococcus* มีค่าอยู่ระหว่าง 187–70,033 CFU/100 mL ซึ่งบ่งชี้ว่าในคลองมหาสวัสดิ์ไม่เหมาะกับการนันทนาการ โดยจะมีค่ามากขึ้นในช่วงฤดูฝนโดยเฉพาะในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และสิงหาคม ตัวอย่างที่เก็บจากด้านต้นน้ำใกล้ประตูน้ำฉิมพลีมักจะมีค่าที่สูงกว่าด้านใกล้แม่น้ำท่าจีน

การปนเปื้อนของ *Giardia sp.* จากการทดลองระหว่างเดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือนสิงหาคม 2565 พบความถี่ในการตรวจพบในแต่ละเดือนระหว่าง 33.3% -77.8 % โดยพบบ่อยครั้งที่สุดหลังโรงพยาบาลศาลายา ตลาดศาลาดิน และคลองปฏิรูปใกล้ตลาดศาลาดินเข้าสู่พื้นที่เกษตร (66.7–77.8%) และมีความเข้มข้นระหว่าง 3,236-195,162 cyst/L ซึ่งบริเวณที่พบมากจะอยู่ในย่านชุมชนบริเวณเดียวกันแต่เริ่มตั้งแต่วัดสาลวันถึงประตูน้ำพระพิมล (26,355–43,414 cyst/L) ทั้งนี้บริเวณที่น้ำตรวจพบน้อยที่สุดคือแม่น้ำท่าจีน และก่อนเข้าประตูน้ำฉิมพลี (2,702–7,993 cyst/L) แสดงว่าแหล่งของการปนเปื้อนของเชื้อ *Giardia lamblia* มาจากในย่านชุมชนของคลองมหาสวัสดิ์เอง

2. **การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมี**

จากผลการประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำคลองมหาสวัสดิ์ที่ใช้หมุนเวียนในกิจกรรมด้านเกษตร สารเคมีที่ตรวจพบมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ($HQ < 1$) กล่าวคือ ในน้ำคลองมหาสวัสดิ์ที่นำมาใช้หมุนเวียน มีค่าดัชนีความอันตรายที่ 3.05 x

10^{-4} ในขณะที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในคลองมหาสวัสดิ์มีค่าดัชนีความอันตราย 3.49 x 10^{-5} พบว่าดัชนีความเป็นอันตรายของการรับประทานผักบุ้งสดน้อยกว่าการบริโภคน้ำ เป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารเคมีในผักบุ้งน้อยกว่าในตัวอย่างน้ำ

น้ำที่ออกจากนาข้าวตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสาร LAS จึงไม่สามารถประเมินความเสี่ยงได้ แต่ในกรณีที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าวที่ HRT 15 วัน มีค่าดัชนีความอันตรายของสาร TCS เท่ากับ 3.7 x 10^{-9} และ LAS เท่ากับ 1.16 x 10^{-8} ในการคำนวณค่าดัชนีอันตรายรวม (Hazard Index: HI) ซึ่งใช้ในกรณีที่ร่างกายได้รับสารพิษมากกว่า 1 ชนิด พบว่าการรับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าวที่ HRT 15 วัน มีค่า HI 4.86 x 10^{-8} ซึ่งมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ส่วนในกรณีที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าว ที่ HRT 30 วัน ค่าดัชนีความอันตราย TCS เท่ากับ 4.5 x10^{-9} และ LAS เท่ากับ 3.0 x10^{-6} รวมทั้งมีค่า HI เท่ากับ 3.04 x 10^{-6} ซึ่งมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้เช่นเกียวกัน ซึ่งสรุปได้ว่า การรับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในคลองมหาสวัสดิ์และที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าว มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (*HI* < 1)

3. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค

ผลการประเมินค่าความเสี่ยงสูงสุดของการได้รับเชื้อโรค *E. coli* ในกิจกรรมต่างๆพบว่า มีความเสียงสูงสุดประมาณ 1/100 ในทุกกิจกรรม ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย ไม่ผ่านเกณฑ์ทั่วไป อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ในกระบวนการประเมินความเสี่ยงไม่ได้ครอบคลุมเชื้อทุกตัว จึงแนะนำว่าในการนำไปใช้จริงควรมีการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับผู้ที่ได้รับการสัมผัสหรือใช้งานโดยวิธีการติดตามทางระบาดวิทยาควบคู่ไปด้วย

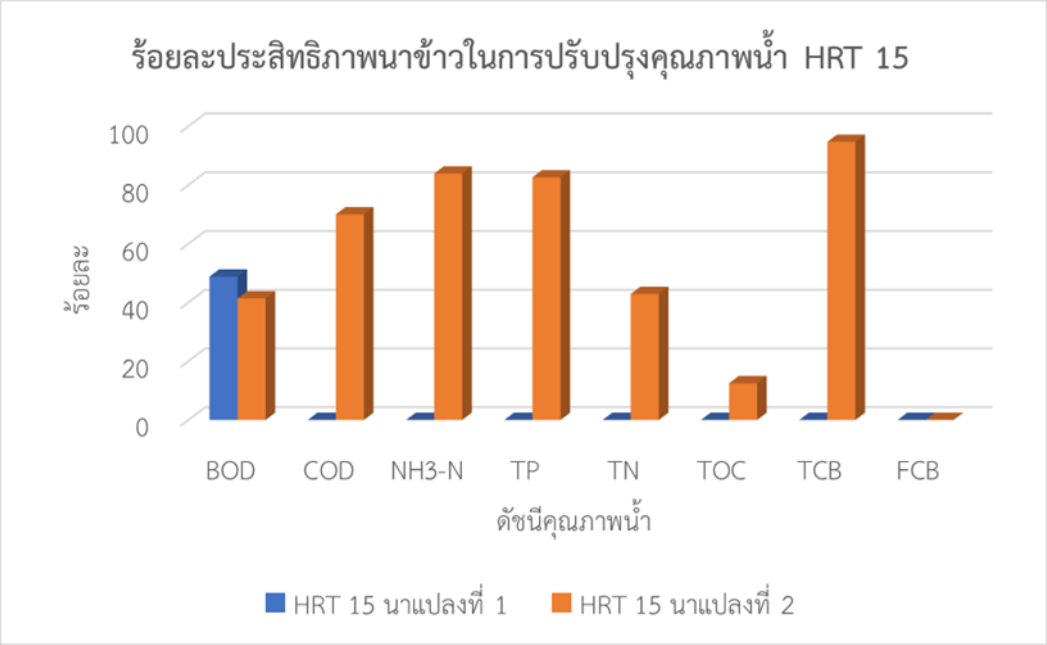
ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ *Giardia* จากการว่ายน้ำในคลองมหาสวัสดิ์ 0.52–0.64 และจากการใช้น้ำในการเกษตร 0.45–0.57 ต่อการใช้น้ำหนึ่งครั้ง โดยโอกาสในการติดเชื้อจากการทำการเกษตรจะน้อยกว่าการว่ายน้ำ และบริเวณตอนกลางของคลองจะมีความเสี่ยงมากกว่าที่ทางเข้าและออกด้านประตูน้ำ ซึ่งแม่น้ำท่าจีนจะมีการปนเปื้อนน้อยกว่าทางด้านคลองบางกอกน้อย เจ้าพระยา จึงสามารถเปิดประตูน้ำพรพิมลด้านนี้เพื่อมาปรับคุณภาพน้ำคลองได้ แต่เมื่อคำนวณเป็นรายปีจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ จากการว่ายน้ำในคลองมหาสวัสดิ์ 0.72-0.78 และจากการใช้น้ำในการเกษตร 0.77-0.82 ทั้งหมดมีค่าใกล้กับ 1 ไม่เห็นความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลก น้ำเพื่อนันทนาการควรมีการโอกาสในการติดเชื้อไม่เกิน 8 คนใน 1,000 คนต่อปี (0.008 pppy, per person per year) และน้ำดื่มควรมีโอกาสในการติดเชื้อไม่เกิน 1 คนใน 10,000 คนต่อปี (0.0001 pppy) ดังนั้นน้ำในคลองมหาสวัสดิ์และคลองปฏิรูปจึงมีคุณภาพไม่เหมาะกับทั้งการเป็นน้ำนันทนาการและน้ำดื่ม ทั้งนี้ถึงแม้ค่าดังกล่าวจะห่างจากค่าคุณภาพที่แนะนำมากแต่มีค่าใกล้เคียงกับที่พบได้จริง โดย Mara, et al., (2007) [11] กล่าวว่าอัตราการเกิดโรคท้องเสียต่อคนต่อปีในประเทศกำลังพัฒนา คือ 0.8–1.3 pppy ประเทศอุตสาหกรรม 0.2 pppy และค่าเฉลี่ยของทั้งโลกคือ 0.7 pppy และงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าความเสี่ยงในการติดเชื้อ *Giardia lamblia* ต่อปีของย่านคลองรังสิต จังหวัดปทุมธานี คือ 1.0 (Diallo, 2008) [12] และที่บ่อน้ำในเม็กซิโก 1.0 (Balderrama-Carmona et al., 2015)[13] ถึงแม้ในแม่น้ำที่ Arizona สหรัฐอเมริกาจะอยู่ระหว่าง 2.66 ถึง 5.70E-04 (Ryu et al., 2008) [14] รวมทั้งทะเลสาบที่ Belgium จะเท่ากับ 7.04E^{-05} ถึง 1.08E^{-04} (Ehsan et al., 2015) [15] ดังนั้นความเสี่ยงในการปนเปื้อนที่พบในงานวิจัยนี้อยู่ระดับเดียวกับงานวิจัยในประเทศกำลังพัฒนาอื่น ซึ่งพบว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่าในประเทศที่พัฒนาแล้ว

4. การลดความเสี่ยงจากการใช้น้ำหมุนเวียนเพื่อการเกษตร

การวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในพื้นที่นาข้าว 2 แปลง ดังนี้

นาข้าวแปลงที่ 1 เกษตรแบบผสมผสาน เนื้อที่ในการปลูกข้าว 4 ไร่ มีการนำน้ำเข้านาด้วยความแตกต่างของความโน้มถ่วง ความลึกของน้ำในนาข้าว 0.1 เมตร เมื่อข้าวโตเต็มวัยมีความสูงเฉลี่ย 0.7-1.0 เมตร ที่ HRT 15 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD ร้อยละ 48.8 ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำในกลุ่มของสารอาหารพืชได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสเฟต และกลุ่มของเชื้อโรค โดยค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำที่ออกจากนาข้าวลดลง และไม่สามารถบำบัดกลุ่มของเชื้อโรค โคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถได้ เนื่องจากข้าวยังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ตัวอย่างที่ HRT 30 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ร้อยละ 40 ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสเฟตและกลุ่มของเชื้อโรค โดยค่า DO ในน้ำที่ออกจากนาข้าวลดลงจาก 4.89 เหลือ 3.39 มก/ล ลดค่าการนำไฟฟ้า ร้อยละ 41.4 ลดความเค็มได้ร้อยละ 49.1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ร้อยละ 76 ลดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 100 ลดโคลิฟอร์มแบคทีเรียรวมร้อยละ 35.3

นาข้าวแปลงที่ 2 โคก หนอง นา โมเดล จำนวนเนื้อที่ 10 ไร่ ความลึกของน้ำในนาข้าว 0.1 เมตร เมื่อข้าวโตเต็มวัยมีความสูงเฉลี่ย 0.7-1.0 เมตร ที่ HRT 15 วันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD และ COD ร้อยละ 41 และ 70 ตามลำดับ สารอาหารพืชสามารถบำบัดไนโตรเจนในรูปของ NH_3-N และ TN ร้อยละ 83.9 และ 42.9 ตามลำดับ TP ร้อยละ 82.6 สามารถบำบัดกลุ่มของเชื้อโรคโคลิฟอร์มแบคทีเรียร้อยละ 94.7 แต่ยังเกินข้อแนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ต้องไม่เกิน 1000 MPN/100 มล ค่า DO ในน้ำที่ออกจากนาลดลง HRT 30 วัน นาข้าวแปลงที่ 2 ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 30 วันไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ร้อยละ 17.2 กลุ่มสารอาหารพืช นาข้าวไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนในรูปของ NH_3 -N และ TN รวมถึงฟอสเฟตในรูปของ TP ได้ แต่สามารถลด TC ได้ร้อยละ 77.6 และ TC ร้อยละ 87.5 แต่ยังเกินข้อแนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ต้องไม่เกิน 1000 MPN/100 มล. [16] ค่า DO ในน้ำที่ออกจากนาเพิ่มขึ้น รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของนาข้าวแบบเกษตรแบบผสมผสาน
และโคก หนอง นา โมเดล ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 15 วัน

จากการศึกษาพบว่าการทำนาข้าวแบบ โคก หนอง นา โมเดล มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมากกว่าการทำนาข้าวแบบเกษตรผสมผสาน เนื่องจากมีพื้นที่นาข้าวมากกว่า และระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่ 15 วันจะมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีกว่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 30 วัน เนื่องจากมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในนาข้าว และมีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง โดยครั้งแรกใส่หลังจากหว่านข้าว 20 วัน สูตร 25-7-7 และสูตร 21-7-21 หลังหว่านข้าว 45-50 วัน ทำให้ไม่สามารถลดสารอาหารพืชในน้ำได้ แต่การทำนาทั้ง 2 แบบสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองและชุมชนได้ น้ำที่ออกจากนาข้าวทั้งสองแบบมีความปลอดภัยในการใช้เพื่อการเกษตรกรรม

สรุป

การประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำคลองมหาสวัสดิ์ที่ใช้หมุนเวียนในกิจกรรมด้านเกษตร สารเคมี 3,4,4-Trichlorocarbanilide (TCS) และ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) ที่ตรวจพบมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (HQ < 1) กล่าวคือ ในน้ำคลองมีค่าดัชนีความอันตรายที่ 3.05×10^{-4} ส่วนในกรณีที่รับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในคลองพบค่าดัชนีความอันตราย 3.49×10^{-5} ซึ่งความเป็นอันตรายของการรับประทานผักบุ้งสดน้อยกว่าการบริโภคน้ำ ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสเชื้อก่อโรค ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแบคทีเรีย *Enterococcus* มีค่าอยู่ระหว่าง 187–70,033 CFU/100 mL ซึ่งบ่งว่าน้ำในคลองมหาสวัสดิ์ไม่เหมาะกับการนันทนาการ โดยจะมีค่ามากขึ้นในช่วงฤดูฝนโดยเฉพาะในเดือน

พฤษภาคม มิถุนายน และสิงหาคม ตัวอย่างที่เก็บจากด้านต้นน้ำใกล้ประตูน้ำฉิมพลีมักจะมีค่าที่สูงกว่าด้านใกล้แม่น้ำท่าจีน สำหรับการตรวจวัดเชื้อโพรโตซัว *Giardia sp.* ในคลองมหาสวัสดิ์ จะพบค่อนข้างสูงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ดังนั้นแหล่งของการปนเปื้อนน่าจะมาจากน้ำท่าที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรและบ่อเกรอะซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียหลักที่ใช้ในชุมชนบริเวณนั้น ผลการประเมินค่าความเสี่ยงสูงสุดของการได้รับเชื้อโรค *E. coli* ในกรณีที่ใช้น้ำคลองมหาสวัสดิ์ พบว่ามีความเสี่ยงสูงสุดประมาณ 1/100 ในทุกกิจกรรม ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่จะติดเชื้อ *Giardia* จากการว่ายน้ำในคลองมหาสวัสดิ์ 0.52–0.64 และจากการใช้น้ำในการเกษตร 0.45–0.57 ต่อการใช้น้ำหนึ่งครั้ง โดยโอกาสในการติดเชื้อจากการทำการเกษตรจะน้อยกว่าการว่ายน้ำ และบริเวณตอนกลางของคลองจะมีความเสี่ยงมากกว่าที่ทางเข้าและออกด้านประตูน้ำ ซึ่งแม่น้ำท่าจีนจะมีการปนเปื้อนน้อยกว่าทางด้านคลองบางกอกน้อย เจ้าพระยา ในส่วนน้ำที่ออกจากนาข้าวตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารซักล้าง แต่การรับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าวที่ HRT 15 วัน มีค่าดัชนีความอันตรายของสาร TCS 3.7 x 10^{-9} และ LAS 1.16 x 10^{-8} ซึ่งเป็นค่าดัชนีอันตรายรวม เท่ากับ 4.86 x 10^{-8} ซึ่งมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ในส่วนการรับประทานผักบุ้งสดที่ปลูกในน้ำที่ออกจากนาข้าว ที่ HRT 30 วัน ค่าดัชนีความอันตรายของสาร TCS เท่ากับ 4.5 x10^{-9} และ LAS 3.0 x10^{-6} โดยมีค่า HI 3.04 x 10^{-6} มากขึ้น แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ พบว่าระยะเวลาในการกักเก็บน้ำใน 15 วันจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 30 วัน และประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในนาข้าวแบบโคก หนอง นาดีมากกว่านาข้าวแบบเกษตรแบบผสมผสาน ดังนั้นสามารถประยุกต์นาข้าวมาเป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองและชุมชนได้ และน้ำที่ออกจากนาข้าวทั้งสองแบบมีความปลอดภัยในการใช้เพื่อการเกษตรกรรม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูง ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยดังมีรายนามดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณ ศ.กิตติคุณ ดร. จงรักษ์ ผลประเสริฐ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 5 นครปฐม สำนักงานสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรจังหวัดนครปฐม องค์การบริหารส่วนตำบลคลองโยง ในการอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และให้การสนับสนุนการทำวิจัยพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017.

[2] U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2000) Giardia: Drinking Water Fact Sheet.

[3] Ahmed, W., A. Vieritz, A. Goonetilleke, and T. Gardner. "Health Risk from the Use of Roof-Harvested Rainwater in Southeast Queensland, Australia, as Potable or Non potable Water, Determined Using Quantitative Microbial Risk Assessment." *Applied and Environmental Microbiology* 76, no. 22 (2010): 7382-91. https://dx.doi.org/doi:10.1128/AEM.00944-10.

[4] Haas, Charles N., Joan B. Rose, and Charles P. Gerba. Quantitative Microbial Risk Assessment, 2nd Edition, 1999.

[5] Rose, J.B., Haas, C.N. and Regli, S. (1991) Risk assessment and the control of waterborne giardiasis. American Journal of Public Health 81, 709–713.

[6] Guy, R. A., P. Payment, U. J. Krull, and P. A. Horgen. "Real-Time Pcr for Quantification of Giardia and Cryptosporidium in Environmental Water Samples and Sewage." *Appl Environ Microbiol* 69, no. 9 (Sep 2003): 5178-85. https://dx.doi.org/10.1128/aem.69.9.5178-5185.2003.

[7] National Academy of Science. (1983) Risk assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press, Washington, DC.

[8] U.S.EPA. 2010. Computational Toxicology as Implemented by the U.S. EPA: Providing High Throughput Decision Support Tools for Screening and Assessing Chemical Exposure, Hazard and Risk. 2-4:197-214.

[9] World Health Organization (WHO) (2016) Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management, Geneva, Switzerland.

[10] USEPA. (2012). Recreational Water Quality Criteria. (OFFICE OF WATER 820-F-12-05).

[11] Mara และคณะ (2007) Mara D.D., Sleigh PA, Blumenthal UJ, Carr RM, Health risks in wastewater irrigation: comparing estimates from quantitative microbial risk analysis and epidemiological studies. J .Water Health 2007;5:39-50

[12] Diallo, Mamadou B. C., Alfredo J. Anceno, Benjawan Tawatsupa, Eric R. Houpt, Voranuch Wangsuphachart, and Oleg V. Shipin. "Infection Risk Assessment of Diarrhea-Related Pathogens in a Tropical Canal Network." *Science of The Total Environment* 407, no. 1 (2008/12/15/ 2008): 223-32. https://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.034.

[13] Balderrama-Carmona, A.P., Gortáres-Moroyoqui, P., Álvarez-Valencia, L.H., Castro-Espinoza, L., Balderas-Cortés, J.d.J., Mondaca-Fernández, I., Chaidez-Quiroz, C. and Meza-Montenegro, M.M. (2015) Quantitative microbial risk assessment of Cryptosporidium and Giardia in well water from a native community of Mexico. International Journal of Environmental Health Research 25(5), 570-582.

[14] Ryu, H. and Abbaszadegan, M. (2008) Long-term study of Cryptosporidium and Giardia occurrence and quantitative microbial risk assessment in surface waters of Arizona in the USA. J Water Health 6(2), 263-273.

[15] Ehsan, A., Casaert, S., Levecke, B., Van Rooy, L., Pelicaen, J., Smis, A., De Backer, J., Vervaeke, B., De Smedt, S., Schoonbaert, F., Lammens, S., Warmoes, T., Geurden, T. and Claerebout, E. (2015) Cryptosporidium and Giardia in recreational water in Belgium. J Water Health 13(3), 870-878.

[16] ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. 2556. โครงการจัดทำแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย. 286 หน้า.

20R1-18

การใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร
Using air filters for indoor air conditioners

จารุพงศ์ แซ่ตั้น[1*] และ พีรกานติ์ บรรเจิดกิจ [2]
Jarupong Saetin[1*] and Peerakarn Banjerdkij[2]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ : 089-6515962, E-mail : Jarupong.sae@ku.th

บทคัดย่อ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ทั้งมลภาวะฝุ่น ควัน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแม้แต่ภายในอาคาร (Indoor air) เป็นสาเหตุหนึ่งของ กลุ่มอาการป่วยจากตึก (Sick Building Syndrome) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่พัฒนาขึ้นสำหรับติดตั้งในเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร โดยมุ่งหวังเพื่อลดระดับมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และจุลชีพในอากาศ (Bioaerosol) การทดลองดำเนินการในห้องทดลอง 4 ห้อง แบ่งเป็นห้องที่ติดตั้งแผ่นกรองอากาศ (A1 และ A2) และห้องที่ไม่ติดตั้งแผ่นกรองอากาศ (B1 และ B2) โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวัดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธี Open Plate และตรวจวัดค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่อง DustMate ผลการศึกษาพบว่า ห้อง A1 มีระดับฝุ่น PM_{10} ลดลงประมาณ 50.8% หลังติดตั้งฟิลเตอร์ ส่วนค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ลดลงประมาณ 8.2% ขณะที่ห้อง A2 มีค่าฝุ่นเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยแทรกซ้อน เช่น การเคลื่อนไหวของอากาศหรือประสิทธิภาพฟิลเตอร์ไม่เต็มที่ ในด้านปริมาณจุลินทรีย์ พบว่าห้องที่ติดฟิลเตอร์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะห้อง A2 ที่ลดจาก 9.17 เป็น 3.08 CFU/dm³/h ส่วนห้องที่ไม่ได้ติดตั้งฟิลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าแผ่นกรองที่พัฒนาขึ้นสามารถลดจุลินทรีย์ในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แผ่นกรองอากาศ; มลพิษทางอากาศ; ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน; ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน; จุลชีพในอากาศ; เครื่องปรับอากาศ; กลุ่มอาการป่วยจากตึก

Abstract

Climate change and air pollution, including particulate matter and smoke, significantly impact human health—even indoors. These factors contribute to Sick Building Syndrome (SBS), a condition increasingly observed in indoor environments. This study aimed to evaluate the efficiency of a newly developed air filter designed for use in air conditioning systems within buildings, with a focus on reducing airborne pollutants such as particulate matter less than 10 microns (PM_{10}), particulate matter less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$), and airborne microorganisms (bioaerosols). The experiment was conducted in four laboratory rooms: two with installed air filters (A1 and A2) and two without (B1 and B2). Air samples were collected using the open plate method for microbial analysis, PM_{10} and $PM_{2.5}$ levels were measured using a DustMate monitor. The results showed that room A1 experienced a 50.8% reduction in $PM_{2.5}$ after filter installation, with an 8.2% decrease in $PM_{2.5}$ levels, room A2 exhibited an increase in PM concentrations, possibly due to confounding factors such as air movement or suboptimal filter performance. Notably, microbial counts significantly decreased in rooms with air filters, particularly in room A2, where microbial levels dropped from 9.17 to 3.08 CFU/dm³/h. Rooms without filters showed only minimal changes. These findings demonstrate the effectiveness of the developed

air filter in reducing airborne microorganisms, highlighting its potential to improve indoor air quality and mitigate health risks associated with SBS.

Keywords: air filter; air pollution; PM10; PM2.5; bioaerosols; air conditioning; Sick Building Syndrome

บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ทั้งมลภาวะฝุ่น ควัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อร่างกายแม้แต่ภายในอาคาร (Indoor air) ก็ไม่เว้นไม่ว่าจะเป็นปัญหาฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และ ฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ปัญหาสำคัญอีกอย่าง คือ จุลชีพในอากาศ (Bioaerosol) เช่น แบคทีเรียเชื้อรา เป็นต้น ซึ่งผู้คนส่วนใหญ่ในปัจจุบันมีกิจกรรมอยู่ภายในอาคารเป็นระยะเวลานาน ทำให้มีโอกาสสัมผัสกับมลพิษทางอากาศภายในอาคารมากขึ้น ซึ่งส่งผลเสียต่อระบบทางเดินหายใจโดยตรง [1] จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีการพัฒนาแผ่นกรองอากาศเพื่อนำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศให้สามารถกรองฝุ่น PM_{10} , $PM_{2.5}$ และจุลชีพในอากาศ (Bioaerosol) ได้เพื่อลดปริมาณของสารเหล่านี้ให้ปลอดภัยตาม (ร่าง) ประกาศกรมอนามัย เรื่อง เกณฑ์ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร [2] เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศให้ดียิ่งขึ้น

การศึกษาครั้งนี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่พัฒนาขึ้นในการลดเชื้อที่ปนเปื้อนในอากาศ (Total plate count) และฝุ่น $PM_{2.5}$ ในอากาศ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมห้องทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ได้จำแนกห้องทดลองเป็น 2 ประเภท คือ ห้องทดลอง A คือ ห้องที่ติดฟิลเตอร์ จำนวน 2 ห้องทดลอง (ห้อง A1 และ A2) ห้องทดลอง B คือ ห้องที่ไม่ได้ติดฟิลเตอร์ จำนวน 2 ห้อง (ห้อง B1 และ B2) โดยแผ่นกรองอากาศที่พัฒนาขึ้นมีขนาดรูกรองไม่น้อยกว่า 0.5 ไมครอน

โดยที่แต่ละห้องทดลองมีขนาดและกิจกรรมที่แตกต่างกันดังนี้

ห้องทดลอง	ขนาดห้องทดลอง (m)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)	ขนาดของแอร์ (BTU)	กิจกรรม/จำนวนผู้ใช้งาน (คน)	ความถี่ในการใช้งาน (day/week)
A1 (ติดฟิลเตอร์)	8×11×2.7	4	30,026	ห้องเรียน/41	3
A2 (ติดฟิลเตอร์)	4.6×5×2.7	2	25,249	ห้องทานอาหาร/4	5
B1 (ไม่ได้ติดฟิลเตอร์)	8x11x2.7	4	30,026	ห้องเรียน/47	2
B2 (ไม่ได้ติดฟิลเตอร์)	4.8×8×2.7	1	36,167	ห้องพักนิสิต/8	5

2. การตรวจวัดจุลินทรีย์ในอากาศ

2.1 การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศใช้วิธีการ Open Plat เก็บบริเวณกลางห้อง 1 จุดๆละ3ซ้ำ การติดตั้งให้ห่างจากผนังอย่างน้อย 1 เมตร สูงจากพื้น 1 เมตร เวลาในการเก็บ 1 ชั่วโมง เรียกวิธีนี้ว่า 1/1/1 schem ตามหลักของ Index of Microbial Air Contamination (IMA) [3]

2.2 การตรวจนับจุลินทรีย์อ้างอิงตามมาตรฐาน (Standard Plate Count หรือ Aerobic Plate Count) คือ การนับปริมาณ “โคโลนี (Colony)” ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า หรือ มองเห็นได้ด้วยแว่นขยาย ซึ่งเซลล์ของจุลินทรีย์จะถูกตรึงอยู่กับที่ เจริญและแบ่งตัวจากเซลล์เดียวเป็น หลาย ๆ เซลล์อยู่บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยค่าที่ได้จากการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน คือ Colony Forming Unit (CFU) และนำไปเทียบกับมาตรฐาน Index of Microbial Air Contamination (IMA)

สมการในการคำนวณปริมาณจุลินทรีย์ตาม Index of Microbial Air Contamination (IMA) [3]

$$\text{Colony} \times 0.10764 \times 60$$

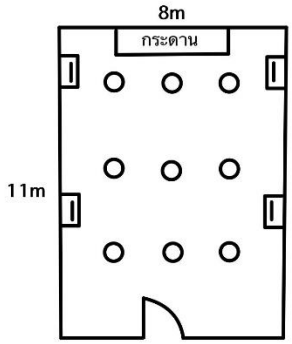
โดยที่

Colony = จำนวนจุดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่นับได้ในจานวางเชื้อ (CFU)

0.10764 = ค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณเพื่อแปลงหน่วยให้เป็นปริมาตรอากาศโดยประมาณที่ตกลงบนจานใน 1 นาที (m^3)

60 = เวลาที่ตั้งจาน (นาที)

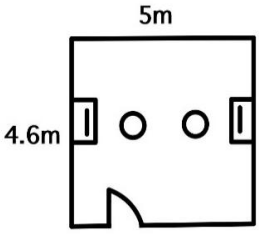
โดยมีการวางจุดเก็บตัวอย่างการเก็บตัวอย่างดังรูป



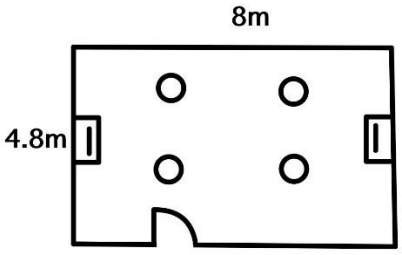
การวางเพลทในห้อง A1 และ B1



การวางเพลทในห้อง A1 และ B1



การวางเพลทในห้อง A2



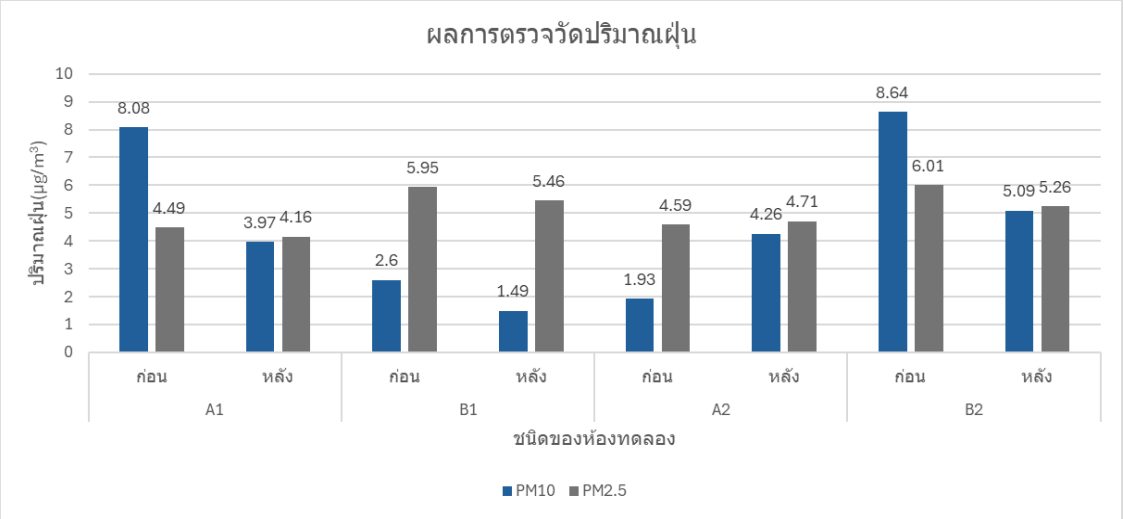
การวางเพลทในห้อง B2

3. การตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในอาคาร

การตรวจวัดค่า $PM_{2.5}$ ภายในอาคารโดยการใช้เครื่องมือเครื่องวัดฝุ่นแบบพกพา รุ่น DustMate ใชหลักการ Light Scattering เพื่อตรวจหาปริมาณของฝุ่น สามารถตรวจวัดอนุภาคที่มีขนาดเสนผานศูนยกลางระหวาง 0.4 ถึง 20 ไมโครเมตรสวนของฝุ่นและอนุภาคที่มีขนาดใหญกวา 20 ไมโครเมตร จะถูกคิดรวมเปนขนาด 20 ไมโครเมตร ใช้วิธีการตรวจวัดแบบ Surrogate Measurement การตรวจวัดแบบไม่ต่อเนื่องโดยเฉลี่ยค่าที่ตรวจวัดทุก 30 นาที ทั้งหมด 4 ช่วงเวลา [4]

ผลการทดลองและวิจารณ์

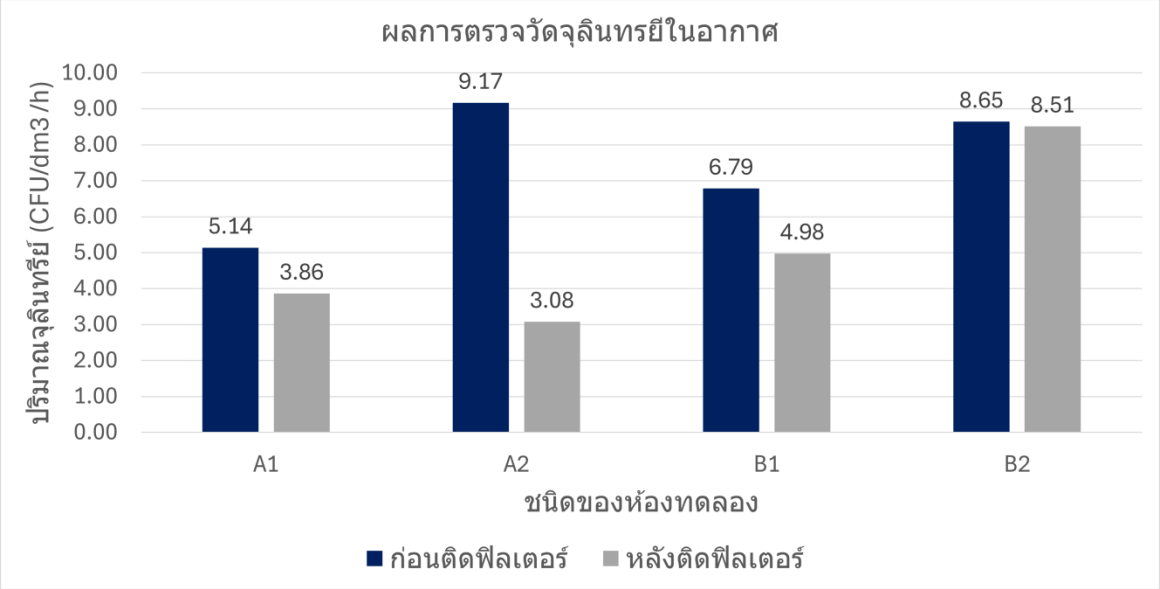
การศึกษาในครั้งนี้ทำการทดลองในห้องทดลองทั้งหมด 4 ห้อง ได้แก่ ห้องที่ติดฟิลเตอร์ (A1 และ A2) และห้องที่ไม่มีฟิลเตอร์ (B1 และ B2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ในการลดปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศและปริมาณฝุ่นในอากาศ โดยใช้การวัดปริมาณจุลินทรีย์ (หน่วย CFU/dm^3/h) และการตรวจวัดปริมาณฝุ่น (ug/m^3)



หมายเหตุ* ก่อน หมายถึง ปริมาณฝุ่นที่วัดได้ก่อนจะติดตั้งฟิลเตอร์
หลัง หมายถึง ปริมาณฝุ่นที่วัดได้หลังจากติดตั้งฟิลเตอร์

รูปที่ 1 กราฟแสดงผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่น

จากผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นในห้องทดลองพบว่า ห้อง A1 มีการลดลงของค่าฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) อย่างชัดเจนหลังติดตั้งฟิลเตอร์ โดยลดลงประมาณ **50.8%** แสดงให้เห็นว่าฟิลเตอร์สามารถดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ค่าฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) กลับลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้ฟิลเตอร์จะช่วยลดฝุ่น PM_{10} ได้ดี แต่ยังมีข้อจำกัดในการดักจับฝุ่น $PM_{2.5}$ ในกรณีของห้อง A2 พบว่าหลังการติดฟิลเตอร์ ค่าฝุ่นกลับ **เพิ่มขึ้น** ทั้งค่า PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การเคลื่อนไหวของอากาศระหว่างการติดตั้ง การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมภายในห้อง หรือปัญหาจากระบบฟิลเตอร์ที่ไม่ได้ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ห้อง B1และ B2 ที่ไม่ได้ติดตั้งฟิลเตอร์ แต่ค่าฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจมาจากการลดกิจกรรมในห้อง หรือมีการระบายอากาศธรรมชาติที่ดีขึ้นในช่วงหลังการวัด แต่ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลจากการควบคุมฝุ่นอย่างเป็นระบบ



หมายเหตุ* ห้องชนิด A1 และ A2 คือห้องที่ติดฟิลเตอร์
ห้องชนิด B1 และ B2 คือห้องที่ไม่ติดฟิลเตอร์

รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศ

จากรูปที่ 2 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ โดยที่ห้องชนิด A1 และ A2 เป็นห้องที่มีการติดตั้งฟิลเตอร์ ขณะที่ B1 และ B2 ไม่มีการติดตั้งฟิลเตอร์ ผลการตรวจวัดพบว่า ห้อง A1 และ A2 มีค่าปริมาณจุลินทรีย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังติดตั้งฟิลเตอร์ โดยเฉพาะห้อง A2 ที่ลดลงจาก 9.17 เป็น 3.08 CFU/dm³/h สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ในการลดปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศ ในขณะที่ห้อง B1 และ B2 ซึ่งไม่มีการติดฟิลเตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยหรือเกือบคงที่ สะท้อนว่าปัจจัยอื่นไม่ได้ส่งผลต่อการลดเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศที่พัฒนาขึ้นสำหรับการติดตั้งในเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร โดยมุ่งลดปริมาณฝุ่นละออง PM_{10}, $PM_{2.5}$ และจุลชีพในอากาศ จากผลการทดลองในห้องที่ติดตั้งแผ่นกรองอากาศ (ห้อง A1 และ A2) เทียบกับห้องที่ไม่ได้ติดตั้ง (B1 และ B2) พบว่า ห้อง A1 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศในการลดฝุ่น PM_{10} ได้อย่างชัดเจน โดยลดลงประมาณ 50.8% สะท้อนถึงความสามารถในการดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ของแผ่นกรองที่พัฒนา อย่างไรก็ตาม การลดลงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในห้อง A1 ลดลงเพียง 8.2% ขณะที่ในห้อง A2 กลับมีค่าฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งแผ่นกรอง ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยแทรกซ้อน เช่น การเคลื่อนไหวของอากาศ การใช้งานภายในห้อง หรือประสิทธิภาพฟิลเตอร์ที่ลดลง ด้านจุลชีพในอากาศ พบว่าทั้งห้อง A1 และ A2 มีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะห้อง A2 ที่ลดลงจาก 9.17 เป็น 3.08 CFU/dm³/h แสดงให้เห็นว่าแผ่นกรองมีศักยภาพในการลดปริมาณเชื้อในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในห้องที่ไม่ได้ติดตั้งฟิลเตอร์ (B1 และ B2) พบการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นและจุลชีพเพียงเล็กน้อย ซึ่งสนับสนุนว่าการติดตั้งแผ่นกรองเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการลดมลพิษทางอากาศภายในอาคาร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง “การใช้แผ่นกรองอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร” สำเร็จลุล่วงเนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากบุคลากรและหน่วยงานพันธมิตร ได้แก่ บริษัท อัลฟ่า เอ็นไวร์ จำกัด บริษัท เอ็นเทค อินดัสเทรียล โซลูชั่น จำกัด และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] เสาวนีย์ หน่อแก้ว,ญาณิศา แสงแก้ว, แพรพลอย ญารักษ์, อรญา วิเศษหมื่นไวย, และอารุญ เกตุสาคร. การประเมินคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนของนักศึกษาระดับปริญญาตรีในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี. วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ. 2565;15(1):173-186.

[2] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, กรมอนามัย, กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับเจ้าหน้าที่. นนทบุรี: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย; 2559. หน้า 74-79.

[3] Thunyaharn S, Sungsirin, N., Phoomee, C., Suvarnajata, A., Khamsaen, K., Matrakool, B., Saichanma, S., & Boonsiri, T. . Airborne Fungi in Buildings of Nakhon Ratchasima College.Progress in Applied Science & Technology. 2021;11(2):1-5.

[4] ตวงสิทธิ์ วิมุกตายน. เทคนิคการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สำหรับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร (ฝุ่นละออง). สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

20R1-19

แนวทางการจัดการระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรีอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดบลูคาร์บอน

Sustainable Management Approaches for the Mangrove Ecosystem in Chonburi Province using the Blue Carbon Concept

พรรณิภา อนุรักษากรกุล[1*] ณรงค์ พลีรักษ์[2] กฤชญาณ อินทรัตน์[3] พรทิพย์ ฝอยวาร[4] และภูริต มีพร้อม[5]
Phannipha Anuruksakornkul[1*] Narong Pleruk[2] Kritchayan Intarat[3] Pornthip Foiwaree[4] and Phurith Meeprom[5]
[1*] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กทม. 10200
[4] ผู้อำนวยการศูนย์บริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 2 จังหวัดชลบุรี 20000
[5] อาจารย์ ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
*โทรศัพท์: 065-8262945, E-mail: pannipha@go.buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี และ 2) ศึกษาแนวทางการจัดการระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรีอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดบลูคาร์บอน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวในพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี จำนวน 380 คน และประชาชนในชุมชนบริเวณโดยรอบพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี จำนวน 280 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ผลการวิจัยพบว่า 1) อายุ รายได้ต่อเดือน ระดับการศึกษา อาชีพ และภูมิลำเนาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ 2) แนวทางการจัดการระบบนิเวศป่าชายเลน คือ ส่งเสริมการปลูกป่าทดแทน ส่งเสริมการประมงแบบยั่งยืนและการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ และสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และชุมชนท้องถิ่นในการบริหารจัดการและใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ป่าชายเลน; ระบบนิเวศ; จังหวัดชลบุรี; แนวคิดบลูคาร์บอน

Abstract

This research aims to study 1) the factors influencing the conservation of the mangrove ecosystem in Chonburi Province and 2) explore sustainable management approaches for the mangrove ecosystem in Chonburi Province using the blue carbon concept. The sample for this study consists of 380 tourists visiting the mangrove areas in Chonburi province and 280 residents living in nearby communities. The sampling method used was accidental sampling. Data were collected using a questionnaire, and the statistical analyses included descriptive and inferential statistics. The research findings indicate that: age, monthly income, education, occupation, and place of residence significantly influence mangrove ecosystem conservation in

Chonburi Province. Sustainable mangrove ecosystem management approaches include promoting reforestation, encouraging sustainable fisheries and eco-tourism, and fostering collaboration between the government, private sector, and local communities for sustainable resource management.

Keywords: Mangrove; Ecosystem; Chonburi Province; Blue Carbon Concept

บทนำ

ป่าชายเลนมีความสำคัญทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ [1] [2] ทำหน้าที่เป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ ป้องกันคลื่นกัดเซาะชายฝั่งและยังช่วยลดความรุนแรงจากคลื่นลมพายุที่พัดเข้าสู่พื้นดิน [3] ตามแนวคิดบลูคาร์บอน (Blue Carbon) การกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศชายฝั่งและระบบนิเวศทางทะเล [4] พบว่า พื้นที่ป่าชายเลนมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 5 ของพื้นที่ทะเลทั้งหมด แต่กลับมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้สูงถึงร้อยละ 50 ของพื้นที่ทะเล และมากกว่าป่าปกติถึง 4 เท่า [5] แสดงว่าหากทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยสามารถบริหารจัดการระบบนิเวศชายฝั่งและทางทะเลอย่างเป็นระบบจะสามารถช่วยฟื้นฟูผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ [6] ป่าชายเลนในประเทศไทยพบตามชายฝั่งทะเล แม่น้ำลำคลอง ทะเลสาบ และเกาะต่าง ๆ ตั้งแต่ภาคกลางตอนล่าง ภาคตะวันออกไปจนถึงภาคใต้ทั้งสองฝั่งทั้งสิ้น 24 จังหวัด [7] ป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงขึ้นลง โดยในปี พ.ศ. 2543 มีพื้นที่ 4,862 ไร่ ปี พ.ศ. 2557 ลดลงเหลือ 4,552 ไร่ [8] จากการประกอบอาชีพของคนในพื้นที่ การลุกล้ำเพื่อสร้างที่อยู่อาศัยและร้านอาหาร กิจกรรมเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลน การกัดเซาะชายฝั่ง และมลภาวะต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าชายเลน การขยายตัวทางเศรษฐกิจสูงมากจึงอาจจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ป่าชายเลนแห่งนี้ในอนาคต การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี เพื่อใช้วางแผนจัดการและการอนุรักษ์ป่าชายเลนด้วยแนวคิดบลูคาร์บอนจากการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน รวมทั้งยังนำไปใช้เป็นแนวทางเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคตได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ใช้ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลภาคสนามจากแบบสอบถามในการเก็บข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักท่องเที่ยวที่เดินทางเข้ามาเที่ยวชมป่าชายเลน จำนวน 380 คน และประชาชนที่ได้รับประโยชน์จากป่าชายเลน ครอบคลุมตั้งแต่ตำบลคลองตำหรุจนถึงตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี จำนวน 280 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างคำนวณ [9] ได้จากสมการที่ 1

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{\delta} \right)^2 \hat{P}\left(1 - \hat{P}\right) \qquad (1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

Z คือ ค่ามาตรฐานเมื่อมีการกระจายแบบโค้งปกติ กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ดังนั้น ค่า Z จึงเท่ากับ 2.56

δ คือ ค่าความแตกต่างจากค่าสัดส่วนของประชากร หรือค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ระดับร้อยละ 0.05

$\hat{P}$ ประกอบด้วย ส่วนแรก คือ สัดส่วนของนักท่องเที่ยวทั้งหมดในจังหวัดชลบุรีในปี พ.ศ. 2565 โดยวิเคราะห์จากนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวป่าชายเลนต่อนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในจังหวัดชลบุรี และส่วนที่สอง คือ จำนวนประชากรที่อาศัยบริเวณป่าชายเลนต่อประชากรทั้งหมดในอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยวิธีการแจกแจงความถี่ (Frequency) แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) และสถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) โดยการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression)

วิธีวิเคราะห์สมการกรณีตัวแปรไม่ต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองโลจิท (Logit Model) ซึ่งข้อมูลที่ได้มานั้นเป็นข้อมูลทางด้านคุณภาพ หรือข้อมูลตัวแปรตามมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง โดยนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่มีสองลักษณะ คือ มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 และตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือตัว

แปรหุ่น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือรูปแบบโมเดลจะอยู่ในลักษณะที่ค่าพยากรณ์ที่ได้นั้นตกอยู่ระหว่างช่วง 0 ถึง 1 เท่านั้น โดยมีรูปแบบโมเดลดังนี้ $P_i = F(\alpha + \beta X_i)$

$$P_i = F(Z_i)$$

$$Z_i = F^{-1}(P_i) = (\alpha + \beta X_i)$$

โดยที่. P_i = โอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์

F = ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นสะสมแบบโลจิสติก (Logistic)

X_i = ตัวแปรอิสระสุ่มเลือกตัวที่ i

α = ค่าคงที่

β = ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของตัวแปรอิสระสุ่มเลือก

จากที่กล่าวมาแล้วว่าแบบจำลองโลจิทนี้ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมแบบโลจิสติก (Cumulative logistic probability function) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$P_i = F(Z_i) = \alpha + \beta_{X_i} = \frac{1}{1+e^{-Z_i}}$$

$$P_i = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta_{X_i})}}$$

สมการในรูป $Log = \frac{1}{1+e^{-Z_i}} = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta X_i)}}$

โดยที่ e คือฐานของลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 2.718 เมื่อคูณทั้งสองข้างด้วย $1+e^{-Z_i}$ จะได้

$$(1+e^{-Z_i})P_i = 1$$

$$(1+e^{-Z_i}) = \frac{1}{P_i}$$

$$e^{-Z_i} = \frac{1}{P_i} - 1 = \frac{1-P_i}{P_i}$$

แต่ $e^{-Z_i} = \frac{1}{e^{Z_i}}$ จะได้ $e^{Z_i} = \frac{P_i}{1-P_i}$

take Log ทั้งสองข้าง จะได้

$$Z_i = \log\left[\frac{P_i}{1-P_i}\right] \quad \text{หรือ} \quad \log\left[\frac{P_i}{1-P_i}\right] = Z_i = \alpha + \beta X_i$$

ตัวแปรตามในสมการถดถอยของแบบจำลองโลจิท คือ Log ของเหตุการณ์ที่จะต้องตัดสินในทางเลือก $\left[\frac{P_i}{1-P_i}\right]$ หรือสัดส่วนของ Probability ที่เลือกกับ Probability ที่เหลือ ซึ่งจุดเด่นของแบบจำลองโลจิทนี้คือ จะทำให้ความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0-1 โดยที่ค่าความลาดเอียงของการกระจายสะสมของโลจิทจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.5 ในรูปของการวิเคราะห์ถดถอยจะสะท้อนให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระจะส่งผลกระทบอย่างมากต่อโอกาสที่จะเลือกค่าต่างๆที่ระดับกึ่งกลางของเส้นโค้ง แสดงให้เห็นว่าค่า X_i จะต้องเปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนมากเพื่อที่จะทำให้โอกาสความน่าจะเป็นเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย โดยแบบจำลองสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทั่วไป ดังนี้

$$Z_i = \log\left[\frac{P_i}{1-P_i}\right] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \ldots + \beta_i x_i$$

ผลที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในแบบจำลองโลจิทด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะอยู่ในรูป Log ของ Ood radio ระหว่างความน่าจะเป็นในการเลือกกับความน่าจะเป็นในการไม่เลือก ดังนั้น การศึกษาผลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวต่อทุกหนึ่งทางเลือก จะอธิบายได้ด้วยการหา Partial derivative หรือ Marginal Effect ของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรทางเลือก โดยสามารถแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการให้อยู่ในรูปของผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect) ได้จากสมการดังนี้

จากแบบจำลองโลจิท $P_i = \frac{1}{1+e^{-Z_i}} = \frac{e^{Z_i}}{1+e^{Z_i}}$

ดังนั้นการหาผลกระทบส่วนเพิ่มของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ X_i ที่มีผลต่อโอกาสที่จะตัดสินใจ สามารถหาได้โดย

$$\frac{\partial P_i}{\partial X_i} = P_i^* \left(1 - P_i^*\right)\beta_{X_i}$$

ถ้ากำหนดให้ $P_k^* = \left(1 - P_i^*\right)$ จะได้ $\frac{\partial P_i}{\partial X_i} = P_i^* P_k^* \beta_{X_i}$

โดยที่ P_i^* = ค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นทางเลือกที่ i (เลือก)

P_k^* = ค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นทางเลือกที่ k (ไม่เลือก)

β_{X_i} = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ประมาณได้ของตัวแปรอิสระที่ i

การประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบนิเวศของป่าชายเลนในการให้บริการต่อชุมชนและนักท่องเที่ยว ทั้งในแง่คุณค่าการใช้ประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม โดยใช้วิธีสถานการณ์สมมติในการประมาณค่า (Contingent Valuation Method: CVM) เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี โดยสมการถดถอยโลจิสติค (Logistic Regression) มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

WTP = f (ลักษณะของประชากรศาสตร์, ลักษณะครัวเรือน)

$$WTP_i = \alpha + b_1 gender_i + b_2(age) + b_3 status_i + b_4 edu_i + b_5 govern_i + b_6 employee_i + b_7 unemploy_i + b_8 income_i + b_9 Amount_parent_i + b_{10} Have\ income_i + u_i$$

กำหนดให้ WTP คือ มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายเพื่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี (ไม่ยินดีจ่าย = 0, ยินดีจ่าย = 1)

Gender	คือ เพศ (เพศหญิงและเพศทางเลือก = 0, เพศชาย = 1)
Age	คือ อายุ (ปี)
Status	คือ สภาพภาพ (โสด = 0, สมรสและหย่าร้าง = 1)
Edu	คือ ระดับการศึกษา (ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี = 0, ปริญญาตรีขึ้นไป = 1)
Govern	คือ อาชีพข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ แพทย์/เภสัชกร/วิศวกร (อาชีพอื่นๆ = 0, ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ แพทย์/เภสัชกร/วิศวกร = 1)
Employee	คือ พนักงานบริษัทเอกชน ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย รับจ้างทั่วไป/อาชีพอิสระ เกษตรกรรม/ชาวสวน/ประมง/เลี้ยงสัตว์ (อาชีพอื่นๆ = 0, พนักงานบริษัทเอกชน ประกอบธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย รับจ้างทั่วไป/อาชีพอิสระ เกษตรกรรม/ชาวสวน/ประมง/เลี้ยงสัตว์ = 1)
Unemploy	คือ นักเรียน/นักศึกษา, พ่อบ้าน/แม่บ้าน, เกษียณ (อาชีพอื่น ๆ = 0, นักเรียน/ นักศึกษา พ่อบ้าน/แม่บ้าน เกษียณ= 1)
Income	คือ รายได้ (บาท/เดือน)
Amount_parent	คือ จำนวนสมาชิกในครอบครัว (คน)
Have income	คือ จำนวนสมาชิกในครอบครัวที่มีรายได้ (คน)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี พบว่า รายได้ (บาท/เดือน) และอาชีพนักเรียน/นักศึกษา, พ่อบ้าน/แม่บ้าน, เกษียณ ส่งผลต่อความเต็มใจที่จะจ่าย ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และ 95 ตามลำดับ โดยที่ถ้ารายได้เพิ่มขึ้น/ลดลง มีความน่าจะเป็นที่จะจ่ายเพื่อรักษาระบบนิเวศป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี 0.3359 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 นักเรียน/นักศึกษา, พ่อบ้าน/แม่บ้าน, เกษียณมีความน่าจะเป็นที่จะจ่ายเพื่อรักษาระบบนิเวศป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี 0.0825 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 1 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาป่าชายเลนและการอนุรักษ์ระบบนิเวศของป่าชายเลน พบว่า ป่าชายเลนกำลังประสบปัญหาระบบนิเวศเสื่อมโทรม ควรดำเนินการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อให้คนรุ่นหลังสามารถใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนได้ รัฐบาลควรเพิ่มงบประมาณเพื่อนำไปดำเนินการโครงการหรือวางแผนเกี่ยวกับการอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าชายเลน การลงทุนเพื่อปกป้องระบบนิเวศของป่าชายเลนเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า เพราะช่วยให้มนุษย์มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อมูลค่าความเต็มใจที่จะจ่ายเพื่อรักษาระบบนิเวศป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี โดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค (Logistic Regression)

ปัจจัย	Coefficient	P-value	Marginal effect
ลักษณะของประชากรศาสตร์			
Constant	0.6767	0.520	
Gender	-0.7299	0.341	
Age	0.0266	0.644	
Status	0.1046	0.514	
Edu	0.0133	0.735	
Income	2.3282	0.000***	0.3359
Govern	0.0493	0.744	
Employee	-0.1721	0.394	
Unemploy	0.2854	0.020**	0.0825
ลักษณะครัวเรือน			
Amount_parent	-0.0269	0.709	
Have income	0.0681	0.435	
Cox & Snell R Square	**0.2492**		

ที่มา: ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคณะผู้วิจัยจากโปรแกรมสำเร็จรูป

หมายเหตุ: ** หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

*** หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาป่าชายเลน และการอนุรักษ์ระบบนิเวศของป่าชายเลน จากตารางที่ 2 ความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาป่าชายเลน และการอนุรักษ์ระบบนิเวศของป่าชายเลน พบว่า รัฐบาลควรจะเพิ่มภาษีของคนที่มีรายได้สูง เพื่อนำเงินมาใช้ในการจัดการผลกระทบจากการสูญเสียระบบนิเวศของป่าชายเลน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.04 รองลงมาคือ ปัจจุบันป่าชายเลน กำลังประสบปัญหาระบบนิเวศเสื่อมโทรม จำนวนนักท่องเที่ยวมากขึ้นส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าชายเลน เราควรดำเนินการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อให้คนรุ่นหลังสามารถใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนได้ รัฐบาลควรเพิ่มงบประมาณเพื่อนำไปดำเนินการโครงการ หรือวางแผนเกี่ยวกับการอนุรักษ์ ฟื้นฟูป่าชายเลนของประเทศไทย การลงทุนเพื่อปกป้องระบบนิเวศของป่าชายเลน เป็นการลงทุนที่คุ้มค่า เพราะช่วยให้มนุษย์มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ท่านพร้อมที่จะจ่ายเงินสมทบเข้ากองทุนสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการดูแลรักษาป่าชายเลน เพื่อประโยชน์ที่จะได้รับในวันข้างหน้า อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.79, 3.72, 3.65,3.52, 3.52 และ 3.52 ตามลำดับ ส่วนความคิดเห็นเรื่องคนไทยทุกคนรวมทั้งตัวคุณเองควรที่จะรับผิดชอบ โดยการบริจาคเงินส่วนตัว เพื่อการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดจากป่าชายเลน แม้ว่าตัวเองจะไม่ได้ใช้ประโยชน์นั้น ๆ เลยก็ตาม อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.30

ตารางที่ 2 ความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาป่าชายเลน และการอนุรักษ์ระบบนิเวศของป่าชายเลน

ปัญหาป่าชายเลน และการอนุรักษ์ระบบนิเวศของป่าชายเลน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
1. ปัจจุบันป่าชายเลน กำลังประสบปัญหาระบบนิเวศเสื่อมโทรม	3.79	0.57	เห็นด้วยมาก
2. จากจำนวนนักท่องเที่ยวที่มากขึ้นส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าชายเลน	3.72	0.58	เห็นด้วยมาก
3. รัฐบาลควรเพิ่มงบประมาณเพื่อนำไปดำเนินการโครงการ หรือวางแผนเกี่ยวกับการอนุรักษ์ ฟื้นฟูป่าชายเลนของประเทศไทย	3.52	0.51	เห็นด้วยมาก
4. เราควรดำเนินการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อให้คนรุ่นหลังสามารถใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนได้	3.65	0.59	เห็นด้วยมาก
5. คนไทยทุกคนรวมทั้งตัวคุณเองควรที่จะรับผิดชอบ โดยการบริจาคเงินส่วนตัว เพื่อการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดจากป่าชายเลน แม้ว่าตัวเองจะไม่ได้ใช้ประโยชน์นั้น ๆ เลยก็ตาม	3.30	0.87	เห็นด้วยปานกลาง
6. การลงทุนเพื่อปกป้องระบบนิเวศของป่าชายเลน เป็นการลงทุนที่คุ้มค่า เพราะช่วยให้มนุษย์มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น	3.52	0.51	เห็นด้วยมาก
7. รัฐบาลควรจะเพิ่มภาษีของคนที่มีรายได้สูง เพื่อนำเงินมาใช้ในการจัดการผลกระทบจากการสูญเสียระบบนิเวศของป่าชายเลน	4.04	0.62	เห็นด้วยมาก
8. ท่านพร้อมที่จะจ่ายเงินสมทบเข้ากองทุนสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการดูแลรักษาป่าชายเลน เพื่อประโยชน์ที่จะได้รับในวันข้างหน้า	3.52	0.51	เห็นด้วยมาก

ที่มา: จากการสำรวจ

หมายเหตุ: ความหมายของระดับความคิดเห็น

- ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.00-1.80 หมายความว่า ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
- ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.81-2.60 หมายความว่า เห็นด้วยน้อย
- ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.61-3.40 หมายความว่า เห็นด้วยปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.41-4.20 หมายความว่า เห็นด้วยมาก
- ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.21-5.00 หมายความว่า เห็นด้วยอย่างยิ่ง

สรุป

ปัจจัยส่วนบุคคล ประกอบด้วย อายุ รายได้ต่อเดือน ระดับการศึกษา อาชีพ และภูมิลำเนาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการรักษาระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แนวทางการจัดการระบบนิเวศป่าชายเลน คือ ส่งเสริมการปลูกป่าทดแทน ส่งเสริมการประมงแบบยั่งยืนและการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ และสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และชุมชนท้องถิ่นในการบริหารจัดการและใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง “การจัดการระบบนิเวศป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรีอย่างยั่งยืนด้วยแนวคิดบลูคาร์บอน และเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ” ได้รับทุนสนับสนุนจากแหล่งทุนงบประมาณกองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา ประเภททุนสนับสนุนการวิจัยตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

เอกสารอ้างอิง

[1] Heumann, A. (2011). Mangrove Mapping Using Remote Sensing Techniques: Methods and Applications. *Journal of Coastal Research*, *27*(2), 215–226.

[2] Hamdan, R., Said, M., & Hameed, A. (2013). Application of Remote Sensing and GIS in Mangrove Forest Assessment. International. *Journal of Remote Sensing*, *34*(6), 1673–1690.

[3] Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, *3*(5), 878–928.

[4] National Oceanic and Atmospheric Administration. (2021). *2021 NOAA Science Report.* https://www.coris.noaa.gov/activities/archive21.html. สืบค้นเมื่อ 4 มีนาคม พ.ศ. 2567

[5] Hirata, Y., Tabuchi, R., Patanaponpaiboon, P., Poungparn, S., Yoneda, R., & Fujioka, Y. (2014). Estimation of aboveground biomass in mangrove forests using high-resolution satellite data. *Journal of Forest Research*, *19*(1), 34–41.

[6] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). *ระบบนิเวศป่าชายเลน.* https://chm-thai.onep.go.th/?page_id=426. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

[7] สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). *ป่าชายเลนในประเทศไทย.* https://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=&lang=th สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

[8] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2018). *Annual Report on Natural Resources and Environmental Policy.* Thailand: Ministry of Natural Resources and Environmental Policy and Planning.

[9] เรวัติ ธรรมาอภิรมย์. (2543). *เศรษฐสถิติ.* ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

20R2-01

การใช้ถ่านเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อดูดซับสาร 4-คลอโรอะนิลีน

Utilization of carbonized waste from agro-industry for 4-chloroaniline adsorption

ทักษพร บุญถา[1] และ สุมนา ราษฎร์ภักดี[2*]
Taksaporn Boonta[1] and Sumana Ratpukdi[2*]
[1]นักศึกษา; [2*]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
*โทรศัพท์ : 08 3419 3993, โทรสาร : 043 202571, E-mail : sumana.r@kku.ac.th

บทคัดย่อ

สาร 4-คลอโรอะนิลีน (4-CA) เป็นสารตั้งต้นและสารมัธยันตร์ (Intermediate product) จากเคมีภัณฑ์ทางการเกษตรยา และสีย้อมหลายชนิด ส่งผลให้สาร 4-CA มีการสะสมในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน แหล่งน้ำทางการเกษตร น้ำเสียทางอุตสาหกรรม และกากตะกอน ทั้งนี้ 4-CA ถือเป็นสารมลพิษอินทรีย์ที่คงอยู่ถาวรเนื่องจากความสามารถในการย่อยสลายต่ำ อีกทั้งมีค่าการละลายน้ำสูงส่งผลให้เกิดแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมได้เป็นวงกว้าง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับสาร 4-CA ด้วยไบโอชาร์ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร ไบโอชาร์ดังกล่าวนี้เป็นถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการไพโลไรซิสไม้ไผ่เพื่อผลิตน้ำส้มควันไม้ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลองหลัก การทดลองขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ ณ ความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าจลนศาสตร์การดูดซับสาร 4-CA เป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเทียมและมีค่าคงที่จลนศาสตร์การดูดซับเท่ากับ 7.11 มิลลิกรัมต่อกรัม-นาที ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากลไกการดูดซับสาร 4-CA เกิดจากแรงดึงดูดไฟฟ้าและเป็นการดูดซับทางเคมีเป็นสำคัญ สำหรับขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสาร 4-CA ณ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 1 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าพฤติกรรมการดูดซับสาร 4-CA เป็นไปตามแบบจำลองสมการแลงเมียร์โดยมีความสามารถในการดูดซับสาร 4-CA เท่ากับ 4.95 มิลลิกรัมต่อกรัม ภาพรวมของผลการศึกษานี้บ่งชี้ความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่มีความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : การกำจัด; ไบโอชาร์; ถ่านเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร; 4-คลอโรอะนิลีน

Abstract

4-Chloroaniline (4-CA) is a precursor and an intermediate product in the production of various agricultural chemicals, pharmaceuticals, and dyes. As a result, 4-CA accumulates in the environment, including soil, agricultural water sources, industrial wastewater, and sludge. 4-CA is considered as a persistent organic pollutant due to its low biodegradability. Additionally, its high water solubility promotes widespread distribution in the environment. This study aims to investigate the potential of 4-CA adsorption using biochar derived from agro-industrial waste. The biochar was a waste char from pyrolysis of bamboo wood for wood vinegar production. The study was divided into 2 parts. The first part of the experiment is to determine adsorption kinetics at initial 4-CA concentrations of 10 mg/L. The result showed that the 4-CA adsorption kinetics followed the pseudo-second-order reaction kinetic model with the adsorption kinetic constants of 7.11 mg/g-min. The primary adsorption mechanism of 4-CA involved electrostatic attraction and chemical adsorption. For the second part, the 4-CA adsorption isotherm experiment at concentrations of from 1 to 100 mg/L was carried out. It was found that the 4-CA adsorption followed the Langmuir model with an adsorption

capacity of 4.95 mg/g. Overall, the findings from this study indicated the feasibility of agro-industrial waste use for removing toxic contaminants from the environment effectively.

Keywords : agro-industrial carbonized waste; biochar; 4-chloroaniline; removal

บทนำ

อุตสาหกรรมเกษตรหลายจำพวก เช่น อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันชีวภาพและการผลิตน้ำส้มควันไม้ ก่อให้เกิดถ่านเหลือทิ้งจำนวนมาก วัสดุดังกล่าวมีการใช้ประโยชน์หลักเพื่อเป็นถ่านหุงต้มในครัวเรือนและการใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน ปัจจุบันภายใต้แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) การใช้วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุดเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่สำคัญ เนื่องจากในการผลิตน้ำมันชีวภาพและการผลิตน้ำส้มควันไม้ควบคุมการผลิตภายใต้ภาวะอับอากาศดังนั้นถ่านเหลือทิ้งที่กล่าวถึงข้างต้นจึงเป็นไบโอชาร์ (biochar) ที่มีความสามารถในการดูดซับและมีความเสถียรทางเคมี [1] ดังนั้นถ่านเหลือทิ้งจึงมีความเป็นได้ในการใช้เป็นวัสดุตัวดูดซับทางเลือกที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งถ่านเหลือทิ้งยังมีความโดดเด่นที่เป็นวัสดุชีวภาพที่เผาไหม้แล้ว ดังนั้นในการเตรียมวัสดุเพื่อใช้งานไม่มีการปลดปล่อยมลพิษอากาศ ตลอดจนไม่ต้องพลังงานในการผลิต จากงานวิจัยในอดีตพบว่าถ่านเหลือทิ้งสามารถกำจัดมลสารได้หลายชนิด โดยใช้เป็นวัสดุดูดซับและใช้เป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์ [1,2]

สาร 4-คลอโรอะนิลีน (4-chloroaniline; 4-CA) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ C_6H_6ClN เป็นสารตั้งต้นและสารมัธยันตร์ (Intermediate product) จากเคมีภัณฑ์ทางการเกษตร ยา และสีย้อมหลายชนิด ทำให้มีการตกค้างและสะสมในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำเสียอุตสาหกรรม และกากตะกอน US Environmental Protection Agency และ European Union กำหนดให้ 4-CA เป็นมลสารอินทรีย์คงอยู่ถาวร (persistent organic pollutant) และถูกจัดเป็นมลสารที่สำคัญ (priority pollutants) เนื่องจากสารดังกล่าวมีความคงทนในสิ่งแวดล้อมและการละลายสูงส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายเป็นวงกว้าง อีกทั้งยังถูกจัดเป็นสารอันตรายที่เป็นพิษร้ายแรงด้วยคุณสมบัติที่เป็นสารก่อมะเร็ง โดย 4-CA เป็นสารในกลุ่มคลอโรอะนิลีนที่มีศักยภาพในการเหนี่ยวนำเมธฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ได้เร็วที่สุดซึ่งส่งผลให้มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น มนุษย์ แมว และสัตว์น้ำ [3]

จากปัญหาการปนเปื้อน 4-CA ปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาการกำจัดสาร 4-CA ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านเหลือทิ้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดประยุกต์ใช้ถ่านเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มควันไม้ เพื่อดูดซับสาร 4-CA ที่ตกค้างในน้ำ โดยผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานและประโยชน์ต่อการกำจัดและควบคุมมลสารในน้ำ อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนในข้อที่ 6 และข้อที่ 9 ซึ่งครอบคลุมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบองค์รวมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมไบโอชาร์

ไบโอชาร์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นถ่านเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำสมควันไม้ จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย ซึ่งมีวัตถุดิบเป็นไม้ไผ่ สำหรับกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้เป็นกระบวนการไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในเตาเผาระดับอุตสาหกรรม ถ่านเหลือทิ้งได้รับการบดให้มีขนาดเล็กก่อนนำมาใช้ในการศึกษา

สำหรับการเตรียมไบโอชาร์สำหรับการทดลองเริ่มต้นจากการนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาเผาในเตาเผาอับอากาศระดับห้องปฏิบัติการ ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปร่อนเพื่อคัดแยกไบโอชาร์ให้ได้ขนาด 2-4 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำไบโอชาร์ไปล้างด้วยน้ำดีไอ (deionized Water : DI) ในอัตราส่วนไบโอชาร์ต่อน้ำดีไอ เท่ากับ 1:25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร การล้างเป็นการกวนด้วยเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) เป็นเวลา 2 นาที และเทน้ำออก ซึ่งจะทำซ้ำเป็นจำนวน 3 รอบ และทำให้แห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาด และปริมาตรรูพรุน ทำด้วยเทคนิคการวัดพื้นที่ผิวของตัวอย่าง (Brunauer Emmett Teller : BET) (ASAP2010 Micromeritics, USA) และการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM) (JEOL, JSM-5410LV, Tokyo, Japan) ทั้งไบโอชาร์ก่อนและหลังการใช้งาน

การศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับสาร 4-CA

การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสาร 4-CA ดำเนินการโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) ขนาด 50 มิลลิลิตร ประกอบด้วยไบโอชาร์ 0.5 กรัม และสาร 4-CA ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 96 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นคงเหลือของสาร 4-CA ณ เวลา 0 2 4 8 12 24 36 48 72 และ 96 ชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณจลนศาสตร์การดูดซับสาร 4-CA โดยใช้แบบจำลองปฏิกิริยาสมการลำดับที่หนึ่งเทียม (pseudo-first order) และสมการอันดับที่สองเทียม (pseudo-second order) เพื่ออธิบายการดูดซับบนพื้นผิวภายในอนุภาคของวัสดุดูดซับดังสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (1)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

เมื่อ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_t คือ ความสามารถในการดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

k_1 และ k_2 คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเทียมสมการลำดับที่หนึ่งและสองเทียม (กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที) ตามลำดับ

t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสาร 4-CA

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสาร 4-CA ดำเนินการโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะขนาด 50 มิลลิลิตร ประกอบด้วยไบโอชาร์ 0.5 กรัม และสาร 4-CA ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 1 5 10 20 40 60 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำถังปฏิกรณ์เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จนกระทั่งถึงระยะเวลาสมดุล จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาไอโซเทอมการดูดซับด้วยสมการแลงเมียร์ (Langmuir) และหาไอโซเทอมการดูดซับด้วยสมการของฟรุนดลิช (Freundlich) ดังสมการ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e} \quad (3)$$

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n}\log C_e \quad (4)$$

เมื่อ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_m คือ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดภายใต้การดูดซับแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K_L และ K_f คือ ค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ตามลำดับ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่คงเหลือ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

n คือ ค่าความหนาแน่นการดูดซับ

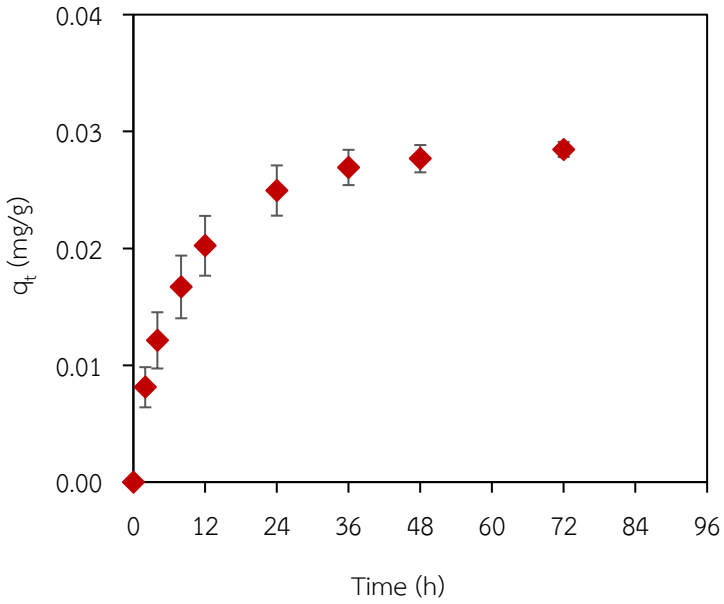
การวิเคราะห์สาร 4-CA

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร ตัวอย่างถูกนำมากรองผ่านตัวกรองเข็มฉีดยาไนลอน (nylon syringe filter) ที่มีขนาดรูพรุน 0.22 ไมครอน และเก็บไว้ในขวดไวแอล (vial) สีชาสำหรับบรรจุตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์สาร 4-CA สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องมือโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (high performance liquid chromatography) (LC-10AD, Shimadzu, Japan) ที่บรรจุคอลัมน์ชนิด C18 และใช้เครื่องตรวจจับชนิดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร และใช้เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นสารอะซิโตไนไตรล์และ DI ผสมในอัตราส่วน 75:25 โดยปริมาตร อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับสาร 4-CA

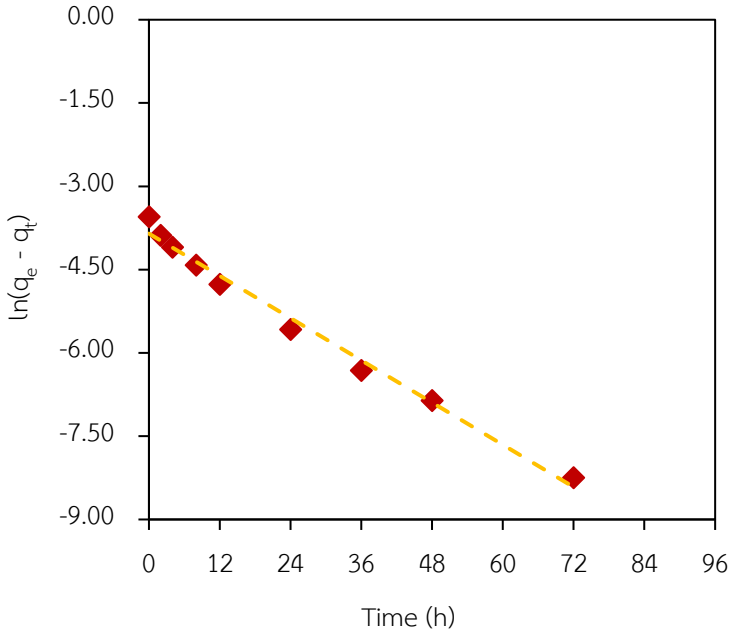
จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสาร 4-CA ที่ความเข้มเข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าไบโอชาร์ดูดซับสาร 4-CA อย่างรวดเร็วจนเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมงดังรูปที่ 1 เมื่อนำพิจารณาลักษณะการดูดซับตามแบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่หนึ่งและแบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่สองดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า R^2 พฤติกรรมการดูดซับสาร 4-CA มีแนวโน้มเป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่สองมากกว่าแบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่หนึ่ง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) สูงถึง 0.9940 และ 0.9882 ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารที่ถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล และค่าคงที่ของปฏิกิริยาเทียมลำดับที่หนึ่งและสองแสดงดังตารางที่ 1 การดูดซับสารในการศึกษานี้ (ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีอัตราการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่สอง ชี้ให้เห็นว่ากลไกการดูดซับสาร 4-CA เกิดการดูดซับทางเคมีเป็นหลัก ซึ่งความสามารถในการดูดซับสาร 4-CA จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร 4-CA ที่เพิ่มขึ้น [4]



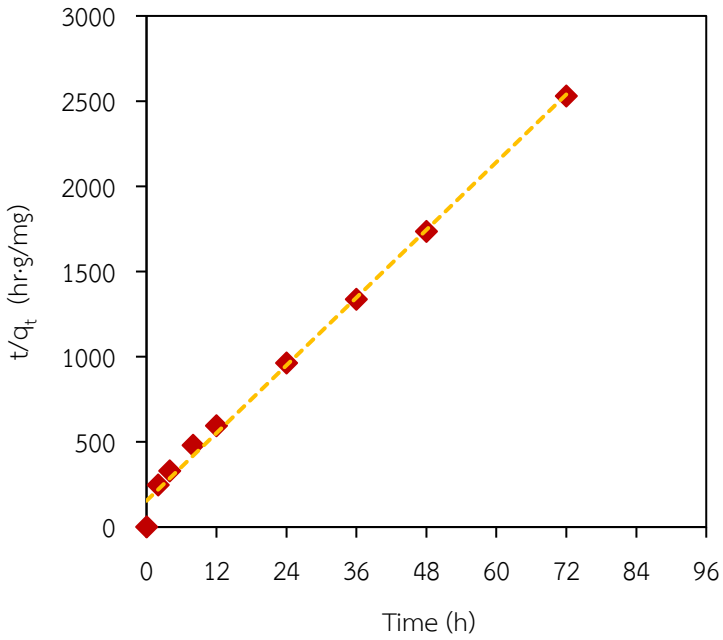
รูปที่ 1 ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับสาร 4-CA ณ ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของการดูดซับสาร 4-CA

แบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่หนึ่ง				แบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่สอง			
สมการ	k (นาที$^{-1}$)	q_e (มิลลิกรัมต่อกรัม)	R^2	สมการ	k (มิลลิกรัมต่อกรัม-นาที)	q_e (มิลลิกรัมต่อกรัม)	R^2
y = -0.06x - 3.85	0.06	47.08	0.9882	y = 33.13x + 154.27	7.11	0.03	0.9940



รูปที่ 2 แบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่หนึ่งของการดูดซับสาร 4-CA



รูปที่ 3 แบบจำลองปฏิกิริยาเทียมลำดับที่สองของการดูดซับของสาร 4-CA

ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสาร 4-CA

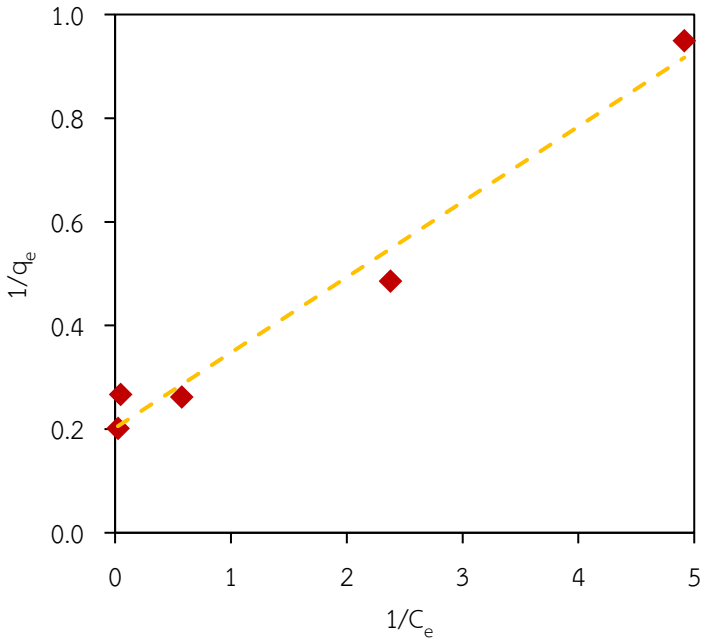
จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสาร 4-CA ที่ความเข้มเข้น 0.5 1 5 10 20 40 60 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าไบโอชาร์ดูดซับสาร 4-CA โดยคิดเป็นร้อยละ 98.17 ถึง 99.26 เมื่อนำมาศึกษาหาไอโซเทอมการดูดซับด้วยสมการแลงเมียร์และสมการของฟรุนดลิชดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า R^2 พฤติกรรมการดูดซับสาร 4-CA มีแนวโน้มเป็นไปตามสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการของฟรุนดลิช โดยมีค่าความสามารถในการกำจัดสารและค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์และสมการของฟรุนดลิชแสดงดังตารางที่ 2 การดูดซับสารในการศึกษานี้ (ความเข้มข้น 1 5 10 20 40 60 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีพฤติกรรมการดูดซับเป็นไปตามสมการแลงเมียร์ ชี้ให้เห็นว่าวัสดุพื้นผิวบนตัวดูดซับมีลักษณะเหมือนกัน (homogeneous adsorption surface) และเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของไบโอชาร์ในอดีต [5]

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ไอโซเทอมของการดูดซับสาร 4-CA

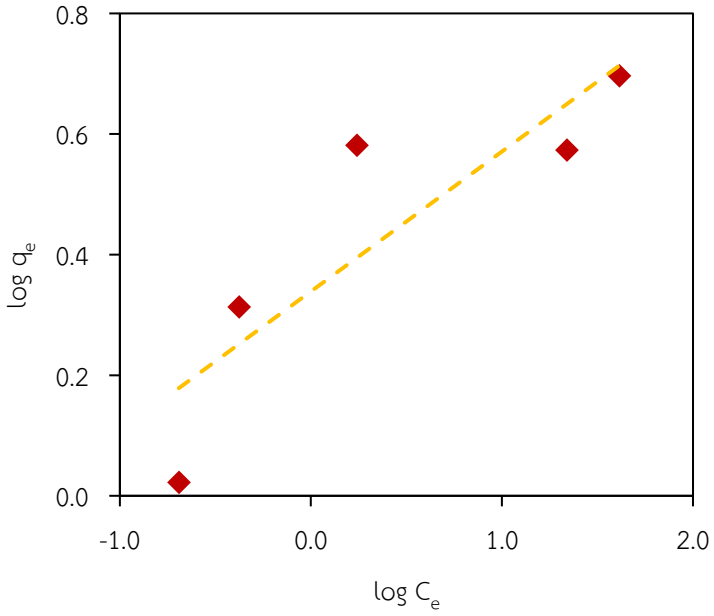
สมการแลงเมียร์				**สมการของฟรุนดลิช**			
สมการ	K_L **(ลิตรต่อมิลลิกรัม)**	q_e **(มิลลิกรัมต่อกรัม)**	R^2	**สมการ**	K_f **(มิลลิกรัมต่อกรัม)**	**n**	R^2
y = 0.15x + 0.20	1.39	4.95	0.9767	y = 0.23x + 0.34	1.40	4.31	0.7646

ผลการศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์

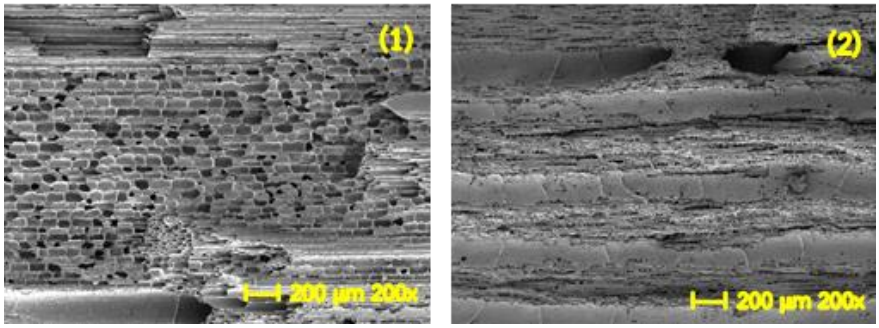
การศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์ด้วยการสังเกตทางสัณฐานวิทยาของไบโอชาร์ด้วยการใช้กล้อง SEM พบว่าไบโอชาร์ที่ใช้ศึกษาครั้งนี้เป็นถ่านไม้ไผ่เหลือทิ้งจากการผลิตน้ำส้มควันไม้ซึ่งผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ดังนั้นวัสดุจึงมีรูพรุนจำนวนมากแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 ไอโซเทอมการดูดซับสาร 4-CA ตามสมการแลงเมียร์



รูปที่ 5 ไอโซเทอมการดูดซับสาร 4-CA ตามสมการของฟรุนดลิช



รูปที่ 6 สัญฐานวิทยาของไบโอชาร์ก่อนใช้งาน (1) และหลังใช้งาน (2)

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของไบโอชาร์พบว่าก่อนใช้งานมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 249.2 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.0275 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 28.108 นาโนเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างสูง [1] เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับไบโอชาร์หลังการดูดซับสาร 4-CA ไบโอชาร์มีพื้นที่ผิวจำเพาะเหลือเพียง 158.78 ตารางเมตรต่อกรัม จากผลการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่าถ่านเหลือทิ้งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้เหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับการดูดซับสาร 4-CA ได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพที่สูง อีกทั้งยังบ่งชี้โอกาสประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์พิษที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชนิดอื่น ๆ ได้เช่นกัน

สรุป

จากการศึกษาการดูดซับสาร 4-CA ด้วยไบโอชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งพบว่าการใช้ถ่านเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรมีความสามารถในการกำจัดมลสารที่ตกค้างในน้ำได้ โดยมีกลไกการดูดซับทางเคมีสอดคล้องตามแบบจำลองปฏิกิริยาเทียมสมการลำดับที่สอง และความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร 4-CA ส่งผลต่ออัตราการดูดซับตามสมการแลงเมียร์ โดยมีความสามารถในการดูดซับสาร 4-CA เท่ากับ 4.95 มิลลิกรัมต่อกรัม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนวิจัยจากทุน Fundamental Fund (FF) ประจำปี 2568 และโปรแกรมวิจัยจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น รวมทั้งการศึกษานี้ยังได้รับการสนับสนุนวิจัยบางส่วนและอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ปฏิบัติการจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Jenjaiwit, S., Supanchaiyamat, N., Hunt, A.J., Ngernyen, Y., Ratpukdi, T. and Siripattanakul-Ratpukdi, S. 2021. Removal of triclocarban from treated wastewater using cell-immobilized biochar as a sustainable water treatment technology. Journal of Cleaner Production, 320: 128919.

[2] Amalina, F., Krishnan, S., Zularisam, A.W., Nasrullah, M. 2024. Pristine and modified biochar applications as multifunctional component towards sustainable future: Recent advances and new insights. Science of the Total Environment, 914: 169608.

[3] Hongsawat, P. and Vangnai, A.S. 2011. Biodegradation pathways of chloroanilines by *Acinetobacter baylyi* strain GFJ2. Journal of Hazardous Materials, 186(2–3): 1300–1307.

[4] Kaewbuddee, C., Chanpiwat, P., Kidkhunthod, P., Wantala, K., 2016. Lead adsorption behaviours on nanoscale zero valent irons (NZVI) coupled with rice husk MCM-41. Sains Malaysiana, 45 (7): 1155–1167.

[5] Prochazkova, J., Seidlerova, J., Gabor, R., Pospiskova, K., & Safarik, I. 2022. Magnetically responsive low-cost adsorbents for aniline removal. Cleaner Engineering and Technology, 6: 100394.

20R2-02

การย่อยสลายสารพาโคลบิวทราซอลด้วยกลุ่มจุลินทรีย์

Degradation Of Paclobutrazol Using Microbial Consortium

นภัทร ฤทธิ์แผ่ว[1] และ สุมนา ราษฎร์ภักดี[2*]

[1]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา; [2*]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

*โทรศัพท์ : 08 3419 3993, โทรสาร : 043 202571, E-mail : sumana.r@kku.ac.th

บทคัดย่อ

พาโคลบิวทราซอล (Paclobutrazol; PBZ) อยู่ในสารฆ่าเชื้อราในกลุ่มไตรเอโซล (Triazole) ซึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคเกษตรกรรมเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช PBZ เป็นสารที่มีความคงตัวสูงส่งผลให้ปนเปื้อนในแหล่งน้ำและดินในพื้นที่เกษตรกรรม งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาวิธีการกำจัด PBZ ตกค้างโดยกระบวนการทางชีวภาพด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ โดยในการศึกษาพิจารณาคัดเลือกจุลินทรีย์เดี่ยวเบื้องต้นที่มีการความสามารถในการกำจัดสารปนเปื้อนในพื้นที่เกษตรกรรม 3 สายพันธุ์ได้แก่ *Bacillus* sp. G1 (G1), *Bacillus* sp. P64 (P64) และ *Candida* sp. GB4 (GB4) การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การหาสัดส่วนกลุ่มจุลินทรีย์สำหรับการย่อยสลาย PBZ ภายใต้ระบบแบตช์ และ 2) การศึกษาจลนศาสตร์การย่อยสลาย PBZ โดยจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดเลือก ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์ (จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น 10^8 CFU/mL) สามารถกำจัดสาร PBZ ได้สูงสุดประมาณ 53% ในการทดลองที่มี PBZ เริ่มต้น 10 mg/L โดยจุลินทรีย์เดี่ยว G1 และกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีทั้ง G1 P64 และ GB4 สามารถย่อยสลาย PBZ ได้สูงสุดสำหรับจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์ตามลำดับ ส่วนผลการศึกษาจลนศาสตร์การกำจัดสาร PBZ โดย G1 และกลุ่มจุลินทรีย์พบว่าการย่อยสลาย PBZ เป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง โดยมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 0.3-0.4 1/d และ มีค่าครึ่งชีวิตการย่อยสลายสาร เท่ากับ 1.73-2.22 วัน ผลการศึกษานี้ชี้ชัดว่ากลุ่มจุลินทรีย์สามารถย่อยสลาย PBZ ได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่เกษตรปนเปื้อนในอนาคต

คำสำคัญ : การย่อยสลายทางชีวภาพ; การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม; จุลินทรีย์ผสม; ไตรเอโซล; สารควบคุมการเจริญเติบโต

Abstract

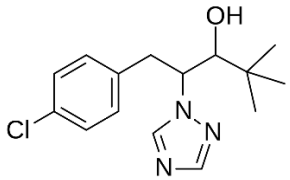
Paclobutrazol (PBZ), a triazole-based fungicide, has been widely used for agricultural application as a plant growth regulator. Since PBZ is persistent in environment, it tends to accumulate in agricultural soils and water sources. This study aimed to investigate a biological process for PBZ degradation using microbial consortia. Based on PBZ degradability potential, three microbial strains, including *Bacillus* sp. G1 (G1), *Bacillus* sp. P64 (P64), and *Candida* sp. GB4 (GB4), were initially chosen. The study was divided into two parts: 1) selection of microbial ratios for PBZ degradation under batch experiments and 2) determination of PBZ degradation kinetics by selected single and mixed cultures. Results showed that both single and mixed

cultures with an initial cell number of 10^8 CFU/mL had PBZ degradation efficiency of up to 53% under an initial PBZ concentration of 10 mg/L. Among single strains and microbial consortia, G1 and the microbial consortium of G1, P64, and GB4 demonstrated the highest degradation efficiency, respectively. Kinetic analysis indicated that PBZ degradation by G1 and the microbial consortium followed the first-order reaction kinetics, with rate constants of 0.3 to 0.4 1/d and half-lives of 1.73 to 2.22 d. These findings highlight the potential application of microbial consortia for the effective and rapid bioremediation of PBZ-contaminated agricultural environments.

Keywords : biodegradation; mixed culture; plant growth regulator; triazole

บทนำ

สารพาโคลบิวทราซอล (paclobutrazol; PBZ) มีสูตรโมเลกุล $C_{15}H_{20}ClN_3O$ (รูปที่ 1) เป็นสารสังเคราะห์จำพวกสารประกอบไตรเอโซล (triazole) ที่มีฤทธิ์ในการกำจัดเชื้อรา ปัจจุบันมีการใช้งาน PBZ ในการเกษตรเพื่อลดการเจริญเติบโตของลำต้นแต่เร่งการออกดอกและผล ข้อมูลสถิติการนำเข้าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในประเทศไทยรายงานว่า PBZ มีการนำเข้าอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณสูงมากกว่า 1 ล้านกิโลกรัมต่อปี [1] เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร อาทิ มะม่วง และ ทุเรียน การใช้งานสารดังกล่าวอย่างแพร่หลายประกอบกับ PBZ จัดเป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม persistent organic pollutant หรือสารปนเปื้อนที่คงอยู่ยาวนานโดยมีค่าครึ่งชีวิตสูงถึง 182 วัน ส่งผลให้ตรวจพบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในดินและแหล่งน้ำทางการเกษตร งานวิจัยในอดีตรายงานถึงระดับสารตกค้างในดินสูงสุดถึง 150 mg/kg [2] การตกค้างของ PBZ สามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา การเจริญเติบโตของพืชในระยะยาว [3] และเมื่อแพร่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตในปริมาณมากทำให้เป็นพิษในสัตว์และมนุษย์ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพเพื่อฟื้นฟูพื้นที่เกษตรกรรมปนเปื้อน PBZ



รูปที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลสาร PBZ

การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายมลสารจนกลายเป็นธาตุหรือเป็นสารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [4] สำหรับการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน PBZ มีงานวิจัยในอดีตศึกษาคัดแยกจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย PBZ ได้แก่ *Klebsiella pneumoniae* strain M6 และ *Pseudomonas putida* strain T7 [5, 6] โดยงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาการกำจัดสาร PBZ ด้วยจุลินทรีย์สายพันธุ์เดี่ยว ทั้งนี้การใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์เดี่ยวในสิ่งแวดล้อมจริงมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความอ่อนไหวต่อการปรับตัวและประสิทธิภาพการกำจัดสารในสิ่งแวดล้อมจริง รวมทั้งการใช้งานจริงในสิ่งแวดล้อมอาจมีมลสารหลายชนิด ดังนั้น การย่อยสลายมลสารด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ (microbial consortium) ถือเป็นแนวทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานจริง [4]

จากเหตุผลข้างต้นการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อหากลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย PBZ ได้ โดยในเบื้องต้นจุลินทรีย์เดี่ยวที่ใช้ในการศึกษามีการคัดแยกมาเพื่อใช้กำจัดสารกำจัดแมลงและวัชพืชในพื้นที่เกษตรกรรมที่ปนเปื้อนสารเคมีเกษตร โดยมีที่ศึกษา 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. G1 (G1) *Bacillus* sp. P64 (P64) และ *Candida* sp. GB4 (GB4) การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การหาสัดส่วนผสมของกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย PBZ ได้ และการศึกษาจลนศาสตร์การย่อยสลายของกลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดเลือก ผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนมลสารหลายชนิดด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

สารเคมีที่ใช้และการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์

สาร PBZ ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเกรดห้องปฏิบัติการที่มีความบริสุทธิ์ 95% (Solarbio, China) ละลายในน้ำ ส่วนสารเคมีอื่นที่ใช้ในการทดลองและการวิเคราะห์เป็นสารเกรดห้องปฏิบัติการทั่วไป

สำหรับการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ประกอบไปด้วย 1) การขยายเซลล์ (cell enrichment) และ 2) การเร่งการทำงานของเซลล์ (cell activation) โดยขั้นตอนการขยายเซลล์ให้อาหารเลี้ยงเชื้อ lysogeny broth medium (LB) ที่เติมสาร PBZ 10 mg/L (LB+PBZ) โดยอาหารเลี้ยงเชื้อ LB ประกอบด้วย tryptone 10 g NaCl 10 g และ yeast extract 5 g ในน้ำ 1 L ขั้นตอนการขยายเซลล์เริ่มต้นด้วยการเขี่ยเชื้อ G1 P64 และ GB4 ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ LB+PBZ 10 mL นำจุลินทรีย์ไปบ่มด้วยเขย่าที่อุณหภูมิห้อง ณ ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นนำจุลินทรีย์ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ได้เซลล์เข้มข้น

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเร่งการทำงานของเซลล์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ minimal salt medium (MSM) ที่เติมสาร PBZ ความเข้มข้น 10 mg/L (MSM+PBZ) อาหารเลี้ยงเชื้อ MSM ประกอบด้วย $NaH_2PO_4{\cdot}2H_2O$ 0.66 g Na_2HPO_4 0.58 g NaCl 0.5 g NH_4Cl 2 g KH_2PO_4 3 g และ $MgSO_4{\cdot}7H_2O$ 0.25 g ในน้ำ 1 L การเร่งการทำงานของเซลล์เริ่มจากการนำเซลล์จุลินทรีย์เข้มข้นจากขั้นตอนแรกนำมาเติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MSM 10% โดยปริมาตร และนำไปบ่มเขย่าที่อุณหภูมิห้องที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และนำไปล้างเซลล์ด้วยสารละลาย NaCl ร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 1 ครั้ง หลังจากนั้นเติมอาหารเลี้ยงเชื้อ MSM 10 mL เพื่อให้ได้เซลล์เข้มข้นสำหรับใช้งานในขั้นตอนถัดไป

การหาสัดส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย PBZ

ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาหาสัดส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย PBZ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้โดยผ่านการทดสอบการย่อยสลาย PBZ เบื้องต้นแล้วพบว่าสามารถย่อยสลาย PBZ ได้ทั้งสามสายพันธุ์ ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดสัดส่วนของจุลินทรีย์เป็น 7 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 1) การทดลองศึกษาเป็นระบบแบตช์ใน MSM+PBZ ณ ความเข้มข้น PBZ เริ่มต้น 10 mg/L และมีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ 10^8 CFU/mL ทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการย่อยสลายสาร PBZ

ชุดการทดลองที่	ชื่อชุดการทดลอง	สัดส่วนของจำนวนจุลินทรีย์เดี่ยวในกลุ่มจุลินทรีย์ (%)		
		G1	P64	GB4
1	G00	100	0	0
2	0P0	0	100	0
3	00G	0	0	100
4	GP0	50	50	0
5	G0G	50	0	50
6	0PG	0	50	50
7	GPG	33.3	33.3	33.3

การทดลองนี้กระทำซ้ำ 3 รอบ โดยแต่ละชุดการทดลอง (100 mL) บ่มด้วยเครื่องเขย่า ณ อุณหภูมิห้อง และมีความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่าง ณ เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PBZ คงเหลือ สำหรับการคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย PBZ พิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด PBZ

การศึกษาจลนศาสตร์การกำจัดสาร PBZ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่คัดเลือก

สำหรับขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาจลนศาสตร์การกำจัดสาร PBZ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่คัดเลือกมาในขั้นตอนที่ 1 โดยในการศึกษาขั้นตอนนี้พิจารณาคัดเลือกจุลินทรีย์เดี่ยวที่มีประสิทธิภาพการกำจัด PBZ สูงสุดเพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มจุลินทรีย์ด้วย

การทดลองนี้กระทำซ้ำ 3 รอบ โดยชุดการทดลองแต่ละชุดบ่มด้วยเครื่องเขย่า ณ อุณหภูมิห้อง และมีความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างต่อเนื่องเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PBZ คงเหลือและจำนวนจุลินทรีย์สำหรับหาจลนศาสตร์การกำจัดสาร PBZ และค่าครึ่งชีวิตการย่อยสลาย PBZ ทางชีวภาพ (biodegradation half-life time; $t_{1/2}$) คำนวณตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\ln\left(\frac{PBZ_t}{PBZ_0}\right) = e^{-kt} \quad (1)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (2)$$

เมื่อ PBZ_t คือ ความเข้มข้นของ PBZ ณ t ชั่วโมง (mg/L)

PBZ_0 คือ ความเข้มข้นของ PBZ ณ 0 ชั่วโมง (mg/L)

k คือ ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย PBZ (1/h)

การวิเคราะห์สารและจุลินทรีย์

การวิเคราะห์หาปริมาณ PBZ ในน้ำตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) (LC-2050C, Shimadzu, Japan) ที่ติดตั้งคอลัมน์ชนิด C18 (ขนาด 5 um, 250 mm x 4.6 mm) (Hyperclone, Phenomenex, USA) ตัวตรวจวัดของ HPLC เป็นชนิดตรวจวัดด้วยแสงอัลตราไวโอเลต ณ ความยาวคลื่น 225 nm การวิเคราะห์สาร PBZ มีสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้ น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยชุดกรองแบบเข็มฉีดยา (nylon syringe filter, 0.22 um) ตัวอย่างดังกล่าวฉีดเข้าเครื่อง HPLC ปริมาณ 20 µL โดยมีสารอะซีโตไนไตรล์ผสมกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 50:50 (โดยปริมาตร) เป็นเฟสเคลื่อนที่ อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 mL/min สภาวะของการวิเคราะห์เป็นแบบไอโซเครติก (isocratic) และมีเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด คือ 15 นาที โดย PBZ ปรากฏที่เวลา 13 min ความเข้มข้นจำกัดของการตรวจวัด (detection limit) คือ 0.1 mg/L

สำหรับการวัดจำนวนของเซลล์ใช้วิธีการเพาะเลี้ยงบนจานเพาะเชื้อแบบเกลี่ยเชื้อ (spread plate technique) วุ้นอาหารเลี้ยวเชื้อที่ใช้ คือ LB สภาวะการบ่ม ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการหาสัดส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย PBZ

การหาสัดส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายสาร PBZ โดยจุลินทรีย์ศึกษาในครั้งนี้โดยผ่านการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายสาร PBZ ก่อนการทดลอง ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์เดี่ยวสามารถกำจัดสาร PBZ ได้ 36.46-52.71% ในขณะที่กลุ่มจุลินทรีย์กำจัดสารได้ 29.96-51.04% โดยจุลินทรีย์เดี่ยว G1 (ชุดการทดลอง G00) และกลุ่มจุลินทรีย์ GPG (ชุดการทดลองที่ 7) สามารถย่อยสลาย PBZ ได้สูงสุด (51-52%)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยสลายสาร PBZ

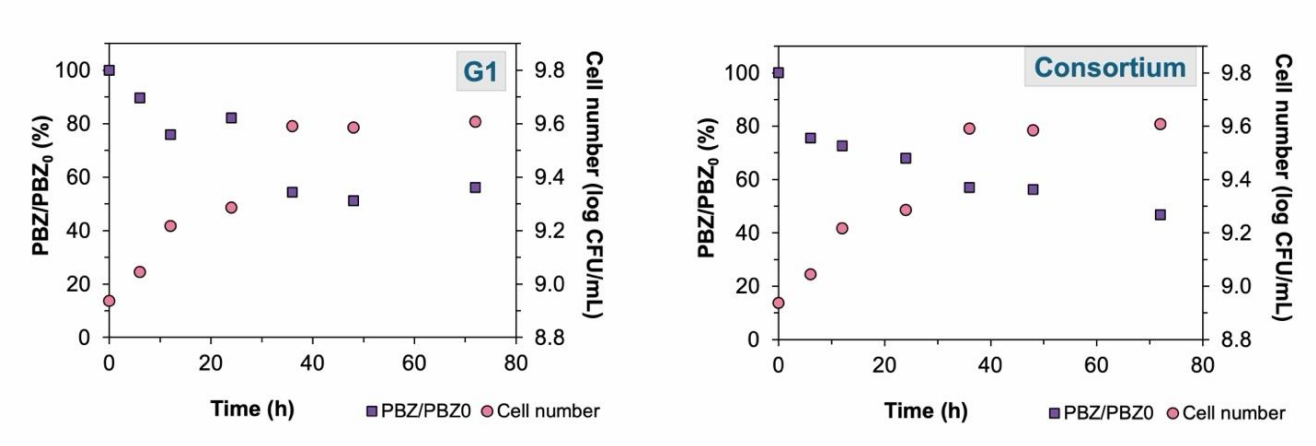
ชุดการทดลองที่	ชื่อชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการย่อยสลายสาร PBZ	
		ค่าเฉลี่ย (%)	± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	G00	52.71	4.43
2	0P0	40.41	0.58
3	00G	36.46	2.38
4	GP0	43.62	7.36
5	G0G	29.96	2.04
6	0PG	42.43	0.24
7	GPG	51.04	1.29

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์สามารถกำจัด PBZ ได้อย่างรวดเร็วกว่างานวิจัยในอดีตที่ใช้เวลาในการกำจัด PBZ ยาวนานถึง 15-30 วัน แต่ทั้งนี้ในแง่ประสิทธิภาพการกำจัดสาร PBZ จุลินทรีย์ที่ใช้การศึกษานี้ยังมีประสิทธิภาพน้อยกว่า *Klebsiella pneumoniae* M6 และ *Pseudomonas putida* T7 [5,6] ดังนั้นในอนาคตควรมีการพิจารณาหาสภาวะแวดล้อมและปัจจัยในการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน PBZ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด PBZ ต่อไป

สำหรับการย่อยสลายมลสารด้วยกลุ่มจุลินทรีย์พบว่าอาจเป็นการส่งเสริมการทำงานร่วมกัน (synergistic effect) หรือยับยั้งกัน (inhibition effect) จากผลการศึกษานี้พบว่ากลุ่มจุลินทรีย์ 0PG (ชุดการทดลองที่ 6) และ GPG (ชุดการทดลองที่ 7) สามารถกำจัด PBZ ได้ดี ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่ากลุ่มจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารในกลุ่มไตรเอโซลได้ดีและไม่พบปรากฏการณ์ยับยั้งการย่อยสลายมลสาร [7]

ผลการศึกษาจลนศาสตร์การกำจัดสาร PBZ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่คัดเลือก

จากการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมาพบว่าจุลินทรีย์ G1 และ กลุ่มจุลินทรีย์ GPG สามารถกำจัด PBZ ได้ดีที่สุดและคัดเลือกใช้ในการศึกษาขั้นต่อ ๆ ไป รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของ G1 และกลุ่มจุลินทรีย์ GPG มีความสัมพันธ์กับการลดลงของความเข้มข้น PBZ อย่างชัดเจนประกอบกับในการทดลองนี้ไม่ได้มีสารคาร์บอนอื่น ดังนั้นผลการศึกษาบ่งชี้ได้ว่าจุลินทรีย์ในการศึกษานี้สามารถใช้ PBZ เป็นแหล่งคาร์บอนเดี่ยวในกระบวนการเมตาบอลิซึมได้



รูปที่ 2 การเจริญเติบโตของ G1 และกลุ่มจุลินทรีย์ GPG

ผลการหาจลนศาสตร์ของการย่อยสลาย PBZ จากผลการทดลองพบว่าการย่อยสลาย PBZ เป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งดังตารางที่ 3 ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 สำหรับจุลินทรีย์เดี่ยว G1 และ 0.85 สำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ GPG สำหรับการย่อยสลาย PBZ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ PBZ เป็นสำคัญ โดยเมื่อพิจารณาอัตราการใช้สารอาหาร (substrate utilization rate) ของ G1 และ GPG เท่ากับ 1.45 และ 1.92 mg/L/d ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าครึ่งชีวิตกับงานวิจัยในอดีตพบว่า *Klebsiella pneumoniae* M6 มีค่า $t_{1/2}$ เท่ากับ 4.05 d [5] ผลการศึกษานี้ชี้ชัดว่าทั้ง G1 และ GPG สามารถย่อยสลาย PBZ ได้รวดเร็วกว่าอย่างชัดเจน รวมทั้งยังบ่งชี้ได้ว่ากลุ่มจุลินทรีย์ผสมสามารถย่อยสลาย PBZ ได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่เกษตรปนเปื้อนจริง

ตารางที่ 3 จลนศาสตร์ของการย่อยสลาย PBZ

ชุดการทดลอง	สมการการย่อยสลาย PBZ	R^2	k (1/d)	$t_{1/2}$ (d)
G1	y = -0.0167x + 2.3405	0.98	0.40	1.73
GPG	y = -0.0130x + 2.2776	0.85	0.31	2.22

y = ln (PBZ) และ x = เวลา (h)

สรุป

การศึกษานี้พบว่าจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์มีศักยภาพในการย่อยสลาย PBZ โดยจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์สามารถกำจัด PBZ ได้ถึง 50% ภายใน 72 h โดยจุลินทรีย์เดี่ยวและกลุ่มจุลินทรีย์สามารถใช้ PBZ เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ ผลการวิเคราะห์จลนศาสตร์การกำจัดสารพบว่าการย่อยสลาย PBZ เป็นไปตามแบบจำลองลำดับที่หนึ่งโดยมีค่าคงที่เท่ากับ 0.3-0.4 1/d ผลการศึกษานี้ยืนยันว่ากลุ่มจุลินทรีย์ไม่ได้ยับยั้งการทำงานกันซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ผสมเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาร PBZ ในสิ่งแวดล้อมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนวิจัย รวมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ปฏิบัติการจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2566. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตราย ปี 2566 (พาโคลบิวทราซอล). สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

[2] Zhao, P., Zhao, J., Lei, S., Guo, X. and Zhao, L. 2018. Simultaneous enantiomeric analysis of eight pesticides in soils and river sediments by chiral liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Chemosphere. 204: 210–219.

[3] Kuo, J., Wang, Y. W., Chen, M., Fuh, G. and Lin, C. H. 2019. The effect of paclobutrazol on soil bacterial composition across three consecutive flowering stages of mung bean. Folia Microbiologica. 64(2): 197–205.

[4] Siripattanakul-Ratpukdi, S., Vangnai, A. S., Sangthean, P. and Singkibut, S. 2015. Profenofos insecticide degradation by a novel microbial consortium and isolates enriched from contaminated chili farm soil. Environmental Science and Pollution Research. 22(1): 320–328.

[5] Kumar, G., Lal, S., Maurya, S. K., Bhattacherjee, A. K., Chaudhary, P., Gangola, S. and Rajan, S. 2021. Exploration of *Klebsiella pneumoniae* M6 for paclobutrazol degradation, plant growth attributes, and biocontrol action under subtropical ecosystem. Plos One. 16(12): e0261338.

[6] Kumar, G., Lal, S., Bhatt, P., Ram, R. A., Bhattacherjee, A. K., Dikshit, A. and Rajan, S. 2021. Mechanisms and kinetics for the degradation of paclobutrazol and biocontrol action of a novel *Pseudomonas putida* strain T7. Pesticide Biochemistry and Physiology. 175: 104846.

[7] Luong, T.T., Nguyen, T.H.T., Nguyen, T.D., Le, V.T., Pham, T.H.T., Ho, T.T. and Nguyen, N.L. 2024. Degradation of triazole fungicides by plant growth-promoting bacteria from contaminated agricultural soil. Journal of Microbiology and Biotechnology. 34(1): 56-64.

20R2-03

การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำ บริเวณคลองสายหลักของอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา

Contamination of Microplastics in Water in the Main Canal Area of Mueang Songkhla District, Songkhla Province

สัณหณัฐ มณีรัตน์[1] อับดุลการีม นิโด[1] สายสิริ ไชยชนะ[2*] และ สิริพร บริรักวิสิฐศักดิ์[3]
Sanhanat Maneerat[1] Abdulkareem Nido[1] Saisiri Chaichana[2*] and Siriporn Borrirukwisitsak [3]
[1]นักศึกษา; [2*]อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000
*โทรศัพท์ : 06 1560 7666, โทรสาร : 074 260261, E-mail : saisiri.ch@skru.ac.th

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนไมโครพลาสติกนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลก เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้สามารถเข้าสู่ระบบนิเวศและสร้างผลกระทบในระยะยาว แม้จะมีงานวิจัยเกี่ยวกับไมโครพลาสติกในแม่น้ำเพิ่มขึ้น แต่แหล่งน้ำขนาดเล็ก เช่น คลองและลำธาร โดยเฉพาะที่ไหลผ่านเขตเมืองหรือชุมชนหนาแน่น ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างเพียงพอ ทั้งที่มีศักยภาพเป็นแหล่งสะสมไมโครพลาสติกที่สำคัญ เนื่องจากมีการสัมผัสกับกิจกรรมของมนุษย์อย่างใกล้ชิด งานวิจัยนี้เป็นการรายงานการปนเปื้อนไมโครพลาสติกเป็นครั้งแรกในคลองสำโรง ซึ่งเป็นคลองสายหลักที่ไหลผ่านอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยบริเวณริมคลองมีลักษณะเป็นพื้นที่ชุมชนเมือง เกษตรกรรม ประมงพื้นบ้าน และอุตสาหกรรม การเก็บตัวอย่างน้ำดำเนินการในห้าพื้นที่ตลอดลำน้ำในเดือนพฤศจิกายน 2564 ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง และเทศบาลนครสงขลา การวิเคราะห์ตัวอย่างใช้กระบวนการแยกไมโครพลาสติกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ ผลการศึกษาเบื้องต้นพบการสะสมของไมโครพลาสติกเฉลี่ย 177±14 ชิ้น/ลิตร โดยรูปร่างที่พบมากที่สุดคือเส้นใย (ร้อยละ 33.11) และสีที่พบมากที่สุด คือ สีดำ (ร้อยละ 45.57) ไมโครพลาสติกที่พบทั้งหมดมีขนาดระหว่าง 0.01-3.82 มิลลิเมตร สาเหตุของการปนเปื้อนส่วนหนึ่งเกิดจากความหนาแน่นของชุมชน การปล่อยน้ำเสีย และการจัดการขยะที่ไม่เหมาะสม งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการเฝ้าระวังและจัดการแหล่งน้ำขนาดเล็กอย่างเป็นระบบเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในระบบนิเวศโดยรวม

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก; น้ำผิวดิน; คลองสำโรง; สงขลา

Abstract

Microplastic contamination is a global environmental problem, as these small particles can enter ecosystems and cause long-term impacts. Although there is increasing research on microplastics in rivers, small water bodies such as canals and streams, especially those flowing through urban areas or densely populated communities, have not been sufficiently studied, despite their potential as an important source of microplastic accumulation due to their close contact with human activities. This study is the first report of microplastic contamination in Samrong canal, a main canal flowing through Mueang Songkhla district, Songkhla province. The canal area is characterized by urban communities, agriculture, local fisheries, and industries. Water samples were collected in five areas along the canal in November 2021 in Khaoroopchang municipality and Songkhla city municipality. Samples were analyzed using a sodium chloride solution for the microplastic separation process, and physical characteristics were identified using a microscope. Preliminary

results showed an average accumulation of 177±14 items/liter. The most common shape of microplastics was fibers (33.11%), and the most common color was black (45.57%). All microplastics found ranged in size from 0.01 to 3.82 millimeters. The potential source of contamination is the density of the community, wastewater discharge, and improper waste management. This research highlights the need for systematic monitoring and management of small water bodies to prevent the distribution of microplastics in the overall ecosystem.

Keywords : microplastic; surface water; Samrong canal; Songkhla

บทนำ

ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยประมาณ 27 ล้านตันต่อปี โดยสามารถกำจัดได้เพียง 2 ใน 3 ส่วน ที่เหลือสะสมในสิ่งแวดล้อมและอาจถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ โดยในปี 2566 มีขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวประมาณ 3 ล้านตัน (ร้อยละ 11) ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด [1] ขยะพลาสติกจากผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เมื่อเข้าสู่แหล่งน้ำกลายเป็นไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (เช่น ไมโครบีดส์ในเครื่องสำอาง) และไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (เกิดจากการแตกหักของพลาสติกขนาดใหญ่) [2] ไมโครพลาสติกที่พบในแหล่งน้ำสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงมนุษย์ที่บริโภคสัตว์น้ำและน้ำที่ปนเปื้อนไมโครพลาสติกและสารพิษต่าง ๆ งานวิจัยด้านไมโครพลาสติกในประเทศไทยส่วนใหญ่ศึกษาในทะเลและชายฝั่ง การศึกษาไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำต้นทางก่อนที่จะไหลลงสู่ทะเลโดยเฉพาะที่มีการไหลผ่านบริเวณเขตเมืองยังมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการจัดการปัญหาขยะพลาสติกในอนาต

คลองสำโรง จังหวัดสงขลา เป็นลำคลองสายหลักที่ไหลผ่านพื้นที่ชุมชนและกิจกรรมต่าง ๆ ของอำเภอเมืองสงขลา และเป็นหนึ่งในสี่ลำคลองหลักในประเทศไทยที่กำลังได้รับการฟื้นฟู หลังจากที่มีการฟื้นฟูคลองที่เน่าเสียไปแล้ว เช่น คลองลาดพร้าว และคลองเปรมประชากร ในเขตกรุงเทพมหานคร และคลองแม่ข่า จังหวัดเชียงใหม่ โดยเริ่มต้นจัดกิจกรรมการฟื้นฟูคลองสำโรงจากการลงนามบันทึกความร่วมมือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในจังหวัดสงขลา จำนวน 25 องค์กร ประกอบด้วยหน่วยงานในท้องถิ่น สถาบันการศึกษา และหน่วยงานจากส่วนกลาง ในช่วงปลายปี 2565 โดยจังหวัดสงขลามีแผนพัฒนาคลองสำโรงเบื้องต้น ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) ประกอบด้วยการรื้อย้ายสิ่งปลูกสร้างที่ขวางทางน้ำ การก่อสร้างเขื่อนระบายน้ำหรือกำแพงกันน้ำ การขุดลอกคลอง การสร้างที่อยู่อาศัยใหม่ และการปรับภูมิทัศน์ของชุมชนให้สวยงามและมีความร่มรื่นมากยิ่งขึ้น เป็นต้น [3, 4] ปัจจุบันเมืองสงขลามีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม ทั้งในด้านอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว กีฬา และการเป็นศูนย์กลางทางการศึกษาในระดับภูมิภาค ส่งผลให้มีผู้คนจากพื้นที่ต่าง ๆ หลั่งไหลเข้ามาอยู่อาศัยและประกอบอาชีพในพื้นที่เมืองเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

คลองสำโรงได้รับอิทธิพลจากทั้งน้ำจืดและน้ำทะเล มีความยาวประมาณ 14 กิโลเมตร โดยส่วนที่ไหลผ่านเขตเมือง คือ พื้นที่ของตำบลเขารูปช้าง และตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา ซึ่งอยู่ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง และเทศบาลนครสงขลา มีความยาวประมาณ 6 กิโลเมตร มีชุมชนตั้งอยู่บริเวณริมคลองสำโรงจำนวนทั้งสิ้น 15 ชุมชน อยู่ในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง 6 ชุมชน และในเขตเทศบาลนครสงขลา 9 ชุมชน รวมประมาณ 584 ครัวเรือน มีประชากรประมาณ 2,400 คน โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไป มีลักษณะการดำรงชีวิตแบบหาเช้ากินค่ำ และประกอบอาชีพประมงพื้นบ้านเป็นหลัก ลักษณะของที่อยู่อาศัยบางส่วนจึงมีความแออัดและทรุดโทรม [5] ลักษณะคลองสำโรงในช่วงปลายของลำน้ำมีการแยกออกเป็น 2 สาย สายแรกไหลไปทางทิศตะวันออกลงสู่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย และอีกสายไหลไปทางทิศตะวันตกลงสู่ทะเลสาบสงขลา คลองสำโรงจึงเป็นแหล่งน้ำในเขตเมืองที่สำคัญที่อาจได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีทั้งแหล่งชุมชน อุตสาหกรรม พื้นที่การเกษตรและประมงชายฝั่งของจังหวัดสงขลา การศึกษาครั้งนี้มุ่งสำรวจปริมาณและลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกในน้ำคลองสำโรง เพื่อทราบสถานการณ์การปนเปื้อนและเป็นข้อมูลแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประโยชน์ในการวางแผนการจัดการขยะพลาสติกในพื้นที่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยครั้งนี้เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาปริมาณและลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกจากบริเวณคลองสำโรง ตำบลเขารูปช้าง และตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา จำนวน 5 จุด (S1-S5) เริ่มต้นจากบริเวณต้นน้ำไปจนถึงปากคลองฝั่งทะเลอ่าวไทย และปากคลองฝั่งทะเลสาบสงขลา เป็นระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง ในเดือนพฤศจิกายน 2564 ซึ่งเป็นช่วงปีที่สองที่มีการระบาดของโควิด-19 ในประเทศไทย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากพื้นที่ที่มีความหลากหลายของกิจกรรม ประกอบด้วยจุดที่ 1 พื้นที่ต้นน้ำ (ชุมชนและเกษตรกรรม) จุดที่ 2 บริเวณที่คลองแยกเป็นสองสาย (ชุมชนและปศุสัตว์) จุดที่ 3 บริเวณ

ปากคลองฝั่งทะเลอ่าวไทย (ชุมชนหนาแน่นริมชายฝั่งและท่าเทียบเรือประมงพื้นบ้าน) จุดที่ 4 บริเวณชุมชนเมือง (แหล่งชุมชนหนาแน่นและโรงงานอุตสาหกรรม) และจุดที่ 5 บริเวณปากคลองฝั่งทะเลสาบสงขลา (พื้นที่สวนสาธารณะของเทศบาล)

วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำในงานวิจัยนี้ดัดแปลงจาก Barrows et al (2017) [6] ในแต่ละจุดจะเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงบริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกไม่เกิน 45 เซนติเมตร โดยใช้ขวดแก้วขนาด 1 ลิตร ปิดฝาใต้น้ำทันทีเพื่อลดระยะเวลาที่สัมผัสกับอากาศ ซึ่งการลดระยะเวลาที่สัมผัสจะช่วยลดโอกาสที่ตัวอย่างจะปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากอากาศได้ โดยทำการเก็บ 3 จุดย่อย แต่ละจุดย่อยจะห่างกัน 50 เซนติเมตร นำตัวอย่างน้ำมาผสมกันเพื่อเป็นตัวแทนน้ำของจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด จากนั้นกรองตัวอย่างน้ำผ่านตะแกรงร่อนสเตนเลสขนาดตา 1 มิลลิเมตร นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านตะแรงร่อนมากำจัดสารอินทรีย์ด้วยสารละลายเฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และใช้กระบวนการแยกไมโครพลาสติกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งเป็นวิธีการที่ดัดแปลงจาก National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ของ Masura, et al (2015) [7]

จากนั้นกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate filter) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร นำกระดาษกรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำกระดาษกรองมาวิเคราะห์ไมโครพลาสติกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบไบร์ทฟิลด์ ยี่ห้อ Nikon รุ่น WCLIPSE Ci พร้อม microscope camera ยี่ห้อ LANOPTIK MDX1003 โดยนับจำนวนและจำแนกลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติก ได้แก่ รูปร่าง (เส้นใย ไร้รูปแบบ แผ่น แท่ง และทรงกลม) สี (สีขาวขุ่น สีขาวใส สีแดง สีดำ สีน้ำเงิน สีฟ้า สีเขียว สีเทา สีน้ำตาล และสีม่วง) และขนาดของไมโครพลาสติก ทั้งนี้ในระหว่างขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ได้หลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทุกชนิดที่ทำจากพลาสติก ล้างทำความสะอาดตะแกรงร่อนสเตนเลสและเครื่องแก้วด้วยน้ำบริสุทธิ์สูงก่อนการใช้งาน พื้นที่ปฏิบัติงานได้รับการทำความสะอาดทุกวันในระหว่างการทดลอง มีการสวมเสื้อคลุมปฏิบัติการและถุงมือที่ทำจากผ้าฝ้าย สารเคมีที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดสำหรับวิเคราะห์และใช้น้ำบริสุทธิ์สูงตลอดขั้นตอนการวิเคราะห์ มีการใช้อลูมิเนียมฟอยล์หรือฝาปิดกรณีต้องปิดคลุมอุปกรณ์หรือตัวอย่างเสมอในระหว่างการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมและลดการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

ผลการทดลองและวิจารณ์

การสำรวจปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำคลองสำโรงของพื้นที่ตำบลเขารูปช้าง และตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา ตั้งแต่บริเวณต้นน้ำจนถึงปากคลองฝั่งทะเลอ่าวไทย และปากคลองฝั่งทะเลสาบสงขลา จำนวน 5 จุดเก็บตัวอย่าง (S1-S5) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมที่หลากหลายบริเวณสองฝั่งคลอง ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำคลองสำโรงทั้ง 5 จุด (S1-S5) ดังตารางที่ 1 จุดที่พบปริมาณไมโครพลาสติกมากที่สุด คือ จุด S3 (194 ชิ้น/ลิตร) เป็นบริเวณปากคลองฝั่งทะเลอ่าวไทยซึ่งมีชุมชนตั้งอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณลำคลองและริมชายฝั่งทะเล มีท่าจอดเรือประมงพื้นบ้านของชุมชนชาวประมง และพบขยะกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ เช่น เศษอวนจับปลา ขวดน้ำ ถุงพลาสติก ถุงขนม และโฟม รองลงมา คือ จุด S4 (186 ชิ้น/ลิตร) เป็นบริเวณชุมชนเมือง ซึ่งเป็นแหล่งชุมชนหนาแน่นของเขตเทศบาลนครสงขลา มีโรงงานอุตสาหกรรม และพบขยะพลาสติกกระจายอยู่ทั่วไป เช่น ขวดน้ำและถุงพลาสติก และจุด S1 (180 ชิ้น/ลิตร) บริเวณต้นน้ำ ติดกับแหล่งเกษตรกรรมและพื้นที่รกร้าง มีบ้านเรือนประปรายบริเวณริมคลอง พบขยะประเภทขวดพลาสติกและถุงพลาสติกบริเวณริมฝั่งคลอง ตามลำดับ

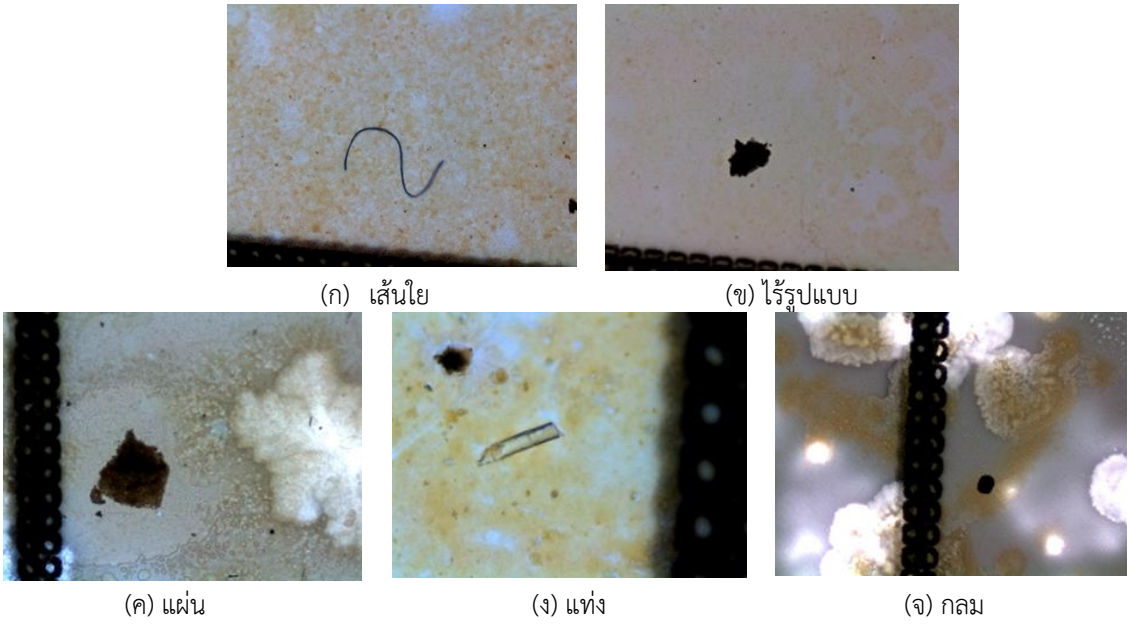
ตารางที่ 1 ปริมาณและร้อยละของไมโครพลาสติกแต่ละรูปร่างในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

รูปร่าง	ปริมาณไมโครพลาสติกแต่ละรูปร่าง (ชิ้น/ลิตร)							ร้อยละ
	S1	S2	S3	S4	S5	รวม	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
เส้นใย	40	52	75	63	63	293	59±13	33.11
ไร้รูปแบบ	67	52	57	33	52	261	52±12	29.49
กลม	3	8	2	0	5	18	4±3	2.03
แผ่น	53	33	43	75	27	231	46±19	26.10
แท่ง	17	15	17	15	18	82	16±1	9.27
รวม	180	160	194	186	165	885	177±14	100

สำหรับ จุด S5 (165 ชิ้น/ลิตร) บริเวณปากคลองฝั่งทะเลสาบสงขลา เป็นพื้นที่สวนสาธารณะของเทศบาล พบขยะพลาสติกกระจายอยู่ทั่วไป เช่น ภาชนะใส่อาหาร ขวดน้ำ ถุงพลาสติก และถุงขนม เป็นต้น และจุดที่พบปริมาณไมโครพลาสติกน้อยที่สุด คือ จุด S2 (160 ชิ้น/ลิตร) เป็นบริเวณที่คลองแยกเป็นสองสาย (สายหนึ่งไหลออกปากคลองฝั่งทะเลอ่าวไทย และอีกสายไหลออกปากคลองฝั่งทะเลสาบสงขลา) บริเวณโดยรอบเป็นแหล่งชุมชนและเลี้ยงปศุสัตว์ (เลี้ยงวัวพื้นบ้านแบบปล่อยทุ่ง)

ปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษาครั้งนี้ (เฉลี่ย 177±14 ชิ้น/ลิตร) อยู่ในระดับเดียวกับที่พบบริเวณคลองในเขตเมืองไซ่งอน (Saigon urban canals) นครโฮจิมินห์ เวียดนาม ที่พบปริมาณไมโครพลาสติกระหว่าง 110-220 ชิ้น/ลิตร ซึ่งมีปริมาณสูงอย่างเห็นได้ชัดในบางตัวอย่างที่เก็บจากที่บริเวณที่แหล่งน้ำมีน้ำสีเข้ม ดำคล้ำ และมีขยะลอยน้ำที่มองเห็นได้จำนวนมาก เช่น กล่องใส่อาหาร ชิ้นส่วนเสื้อผ้า และถุงไนลอน เป็นต้น [8] ซึ่งสภาพแหล่งน้ำดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยเฉพาะจุด S3 และ S4 ที่พบปริมาณไมโครพลาสติกสูง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ในแม่น้ำไซ่งอน (Saigon river) ซึ่งไหลผ่านเขตเมือง พบปริมาณไมโครพลาสติก 172–519 ชิ้น/ลิตร [9] และการเก็บตัวอย่างจากห้าแม่น้ำในประเทศไนจีเรีย ซึ่งบริเวณริมแม่น้ำมีการทิ้งขยะกระจายทั่วพื้นที่ พบปริมาณไมโครพลาสติกสูงถึง 440-1,556 ชิ้น/ลิตร [10] ขณะที่ปริมาณไมโครพลาสติกในคลองและแม่น้ำในเขตเมืองของไทย เช่น คลองแสนแสบ และแม่น้ำเจ้าพระยา อยู่ในระดับต่ำกว่าผลการศึกษาในครั้งนี้ โดยคลองแสนแสบพบปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ยเพียง 370±140 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร [11] และแม่น้ำเจ้าพระยา พบปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ย 21±16 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร [12]

ไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 5 รูปร่าง คือ เส้นใย (fiber) ไร้รูปแบบ (irregular shape) แผ่น (sheet) แท่ง (rod) และทรงกลม (round) (รูปที่ 1) รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุด คือ รูปร่างเส้นใย (ร้อยละ 33.11) รองลงมา คือ ไร้รูปแบบ (ร้อยละ 29.49) และแผ่น (ร้อยละ 26.10) ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนรวมกันสูงถึง ร้อยละ 88.70 อาจเนื่องจากในพื้นที่เป็นแหล่งชุมชนและมีการทำประมง ซึ่งไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเส้นใยนี้อาจหลุดมาจากเสื้อผ้า หรือจากอุปกรณ์ประมงต่าง ๆ เช่น ตาข่าย แห อวน เบ็ด เชือก และการแตกหักของขยะพลาสติกต่าง ๆ ผ่านการกระทำของกระแสน้ำ คลื่นลม และแสงแดดอาจทำให้กลายเป็นไมโครพลาสติกรูปร่างแบบแผ่นและไร้รูปแบบได้ [13,14] ผลการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในครั้งนี้ที่พบสัดส่วนของไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยมากที่สุด มีความสอดคล้องกับที่มีรายงานในพื้นที่คลองแสนแสบ กรุงเทพมหานคร [11] ขณะที่พบรูปร่างแท่งและทรงกลมพบน้อย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบแท่งและทรงกลม เพียงร้อยละ 9.23 และแร้อยละ 2.07 ตามลำดับ

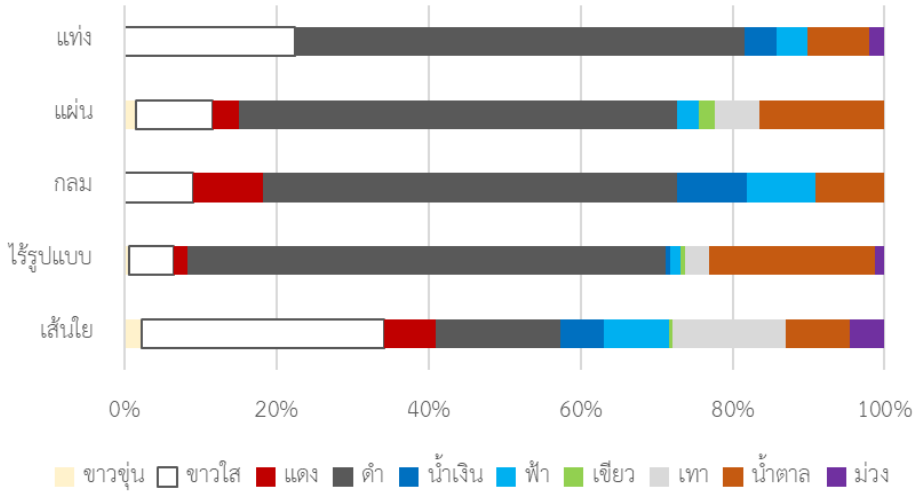


(ก) เส้นใย (ข) ไร้รูปแบบ

(ค) แผ่น (ง) แท่ง (จ) กลม

รูปที่ 1 ตัวอย่างรูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบในน้ำ

จากการศึกษาสีของไมโครพลาสติกทั้งหมด 10 สี สีที่พบมากที่สุดคือ สีดำ (ร้อยละ 45.57) รองลงมา คือ สีขาวใส (ร้อยละ 17.14) และสีที่พบน้อยที่สุด คือ สีเขียว (ร้อยละ 0.94) และเมื่อจำแนกสีของไมโครพลาสติกตามรูปร่าง (รูปที่ 2) พบว่าส่วนใหญ่ไมโครพลาสติกแต่ละรูปร่างพบไมโครพลาสติกสีดำมากที่สุด ยกเว้นรูปร่างเส้นใยที่พบไมโครพลาสสีขาวใสมากที่สุด (ร้อยละ 31.82) ซึ่งอาจมาจากอุปกรณ์ประมงที่มีสีขาวใสช่วยให้เมื่อจับสัตว์น้ำจะไม่สังเกตเห็นได้ง่าย



รูปที่ 2 ร้อยละของสีไมโครพลาสติกที่พบในแต่ละรูปร่าง

โดยรูปร่างไร้รูปแบบพบสีดำมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 62.82 รูปร่างแผ่นพบสีดำมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 57.55 รูปร่างแท่งพบสีดำมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 59.18 และรูปร่างทรงกลมพบสีดำมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 54.55 ไมโครพลาสติกสีดำมีส่วนเกี่ยวข้องกับยางรถยนต์ซึ่งมีการผสมคาร์บอนแบล็ค (carbon black) ที่เป็นสารเติมแต่งในยางรถยนต์ช่วยให้มีสมบัติทนต่อแรงเสียดทาน และมีความยืดหยุ่นสูง [15] นอกจากนี้พลาสติกสีดำเป็นพลาสติกที่รีไซเคิลได้ยาก มีอัตราการรีไซเคิลที่ต่ำ พลาสติกสีดำมักทำจากพลาสติกรีไซเคิลหลากหลายชนิดมาผสมกันทำให้แยกประเภทได้ยาก นอกจากนี้เมื่อรีไซเคิลแล้วจะยังคงเป็นสีเข้มหรือดำอยู่ ทำให้มีข้อจำกัดของการนำกลับมาใช้ใหม่ในผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ พลาสติกสีดำจึงมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นขยะในสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น ซึ่งอาจกลายเป็นแหล่งไมโครพลาสติกโดยรวมที่ใหญ่กว่าพลาสติกสีขาวเมื่อเวลาผ่านไป [16] รูปร่างและสีของไมโครพลาสติกที่พบในครั้งนี้นี้ยังมีความสอดคล้องกับการศึกษาในเครือข่ายแม่น้ำทั่วไปในเขตเมืองทางฝั่งตะวันออกของสาธารณรัฐประชาชนจีน พบไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นสีดำและมีรูปร่างเส้นใยและไร้รูปแบบ [17]

จากการวัดขนาดของไมโครพลาสติกที่พบทั้งหมดมีขนาดระหว่าง 0.01-3.82 มิลลิเมตร (ตารางที่ 2) โดยไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยมีขนาดมากที่สุด (ขนาดเฉลี่ย 0.75±0.12 มิลลิเมตร) ส่วนไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กที่สุด คือ ไมโครพลาสติกรูปร่างทรงกลม (ขนาดเฉลี่ย 0.09±0.02 มิลลิเมตร) จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า รูปร่างของไมโครพลาสติกแบบเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดนั้นมีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงร่อนที่มีขนาดตา 1 มิลลิเมตร ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะของไมโครพลาสติกที่เป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กแต่ยาว ทำให้ขณะกรองน้ำสามารถผ่านตะแกรงร่อนมาได้ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาจากขนาดเฉลี่ยของไมโครพลาสติกในรูปร่างอื่น ๆ จะเห็นว่า ขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมจะไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 ขนาดของไมโครพลาสติกแต่ละรูปร่าง

รูปร่างของไมโครพลาสติก	ขนาด (มิลลิเมตร)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เส้นใย	0.01	3.82	0.75±0.12
ไร้รูปแบบ	0.02	0.69	0.11±0.03
แผ่น	0.03	0.79	0.11±0.06
แท่ง	0.05	0.53	0.16±0.05
กลม	0.04	0.15	0.09±0.02

การพบไมโครพลาสติกที่มีสีและขนาดที่หลากหลายอาจส่งผลต่อการเข้าสู่สิ่งมีชีวิตของไมโครพลาสติกแต่ละแบบ [18] รวมถึงไมโครพลาสติกขนาดใหญ่เมื่อปล่อยทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อมอาจเกิดการย่อยสลายเป็นไมโครพลาสติกขนาดเล็กได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมต่อไป จากผลการศึกษาในครั้งนี้และงานวิจัยจากต่างพื้นที่ ที่อาจพบความแตกต่างของปริมาณและลักษณะกายภาพของไมโครพลาสติกนั้น อาจไม่ได้เป็นการบ่งชี้ถึงระดับมลพิษของพลาสติกในพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างเพียงอย่างเดียว แต่ช่วงเวลา เทคนิค เครื่องมือเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน สามารถมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ได้ ดังนั้น การจัดทำแนวทางหรือแนวปฏิบัติร่วมกันในการศึกษาวิจัยด้านไมโครพลาสติกจึงมีความจำเป็น ทั้งในระดับชาติและระดับเครือข่ายภูมิภาค เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถเปรียบเทียบและสังเคราะห์ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การประเมินสถานการณ์ที่แม่นยำ และสนับสนุนการกำหนดนโยบายในการจัดการปัญหาไมโครพลาสติกอย่างเป็นระบบและยั่งยืนในระยะยาว

สรุป

การสำรวจปริมาณและลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกในน้ำคลองสำโรงครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะในพื้นที่ชุมชนหนาแน่นริมชายฝั่งบริเวณปากคลองสำโรงฝั่งทะเลอ่าวไทย ซึ่งอาจเป็นแหล่งสะสมของขยะพลาสติกจากอิทธิพลของคลื่นทะเล และชาวบ้านในชุมชนบริเวณนี้ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำการประมง จึงอาจก่อให้เกิดขยะมูลฝอยที่มาจากอุปกรณ์ประมงซึ่งขยะส่วนใหญ่มาจากเส้นใยหรือเส้นเอ็น นอกจากนี้การปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชนอาจทำให้เส้นใยบางส่วนหลุดออกมาระหว่างการซักผ้า หรือการเล่นกิจกรรมทางน้ำในพื้นที่ชายฝั่งใกล้เคียง ทำให้มีแนวโน้มพบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยมากที่สุด นอกจากนี้ ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่และการพัฒนาสิ่งก่อสร้างบริเวณริมฝั่งคลองก็สามารถเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระดับของไมโครพลาสติกที่พบได้ จึงควรมีติดตามและการเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด

การศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกโดยดูลักษณะทางกายภาพเพื่อระบุปริมาณ รูปร่าง สี และขนาดจากการใช้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น หากมีความพร้อมด้านเครื่องมือควรมีการวิเคราะห์ทางเคมีร่วมด้วย เพื่อให้ทราบประเภทของไมโครพลาสติกที่มีการปนเปื้อน อย่างไรก็ดีผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำบริเวณคลองสำโรงซึ่งเป็นคลองสายหลักของอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา เป็นการส่งเสริมให้เกิดความตระหนักรู้เกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดการขยะพลาสติกที่ไม่เหมาะสม พร้อมทั้งเสริมสร้างจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และวางแผนบริหารจัดการพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากไมโครพลาสติก อีกทั้งยังช่วยในการประเมินความเป็นไปได้ในการที่ไมโครพลาสติกจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและร่างกายมนุษย์ อันจะนำไปสู่การกำหนดนโยบายที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกและขยะทะเลอย่างเป็นระบบและยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และขอขอบคุณคำแนะนำสำหรับการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกจากเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. 2567. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566. https://www.pcd.go.th/ebook/book18/PCD%202024.html. สืบค้นเมื่อ 24 กันยายน 2567

[2] GESAMP. 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment (IMO/FAO/UNESCOIOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep.Stud. GESAMP No. 93, 220 p.

[3] สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน (องค์การมหาชน). 2565. คลองสำโรง จ.สงขลา จากคลองเน่าเหม็น-ชุมชนแออัด ก้าวย่างสู่การฟื้นฟู คลองสวย-น้ำใส-ไร้ขยะ-ชุมชนมีสุข (1). https://web.codi.or.th/20221110-40632. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2568.

[4] สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน (องค์การมหาชน). 2565. คลองสำโรง จ.สงขลา จากคลองเน่าเหม็น-ชุมชนแออัด ก้าวย่างสู่การฟื้นฟู คลองสวย-น้ำใส-ไร้ขยะ-ชุมชนมีสุข (2). https://web.codi.or.th/20221113-40670. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2568.

[5] นักข่าวพลเมือง องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย ไทยพีบีเอส. 2565. ลัดเลาะสองฝั่งคลองทำความเข้าใจชุมชนริมคลองสำโรง สงขลา. https://thecitizen.plus/node/65508. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2567.

[6] Barrows, A.P.W, Neumann C.A.,. Berger M.L. and Shaw, S.D. 2017. Grab vs. neuston tow net: a microplastic sampling performance comparison and possible advances in the field. Analytical Methods. 9: 1446-1453.

[7] Masura, J., Baker, J., Foster, G., and Arthur C. 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48).

[8] Khuyen, V.T.K., Le, D.V., Le, H.A., Fischer, A.R. and Dornack, C. 2022. Assessing microplastic prevalence and dispersion from Saigon urban canals via Can Gio mangrove reserve to East Sea by Raman scattering microscopy. 2022. Microplastics. 1: 536-553.

[9] Lahens, L., Strady, E., Le, K.T.C., Dris, R., Boukerma, K., Rinnert, E., Gasperi, J. and Tassin, B. Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity. 2018 Environmental Pollution. 2018, 236: 661–671.

[10] Ebere, E.C., Wirnkor, V.A., Ngozi, V.E. and Chukwuemeka, I.S. Macrodebris and microplastics pollution in Nigeria: First report on abundance, distribution and composition. 2019. Environmental Analysis Health Toxicology. 34: 2019012.

[11] Eamrat, R., Taweesan, A. and Pussayanavin, T. 2022. Assessment of microplastics distribution and related water quality in an urban canal, Thailand.. Pollution. 8: 1172–1184.

[12] Ounjaia, K., Boontanon, S.K., Piyaviriyakul, P., Tanakab, S. and Fujii, S. Assessment of microplastic contamination in the urban lower Chao Phraya River of Bangkok city, Thailand. 2022. Water Health 2022, 20, 1243.

[13] Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin. 62(12): 2588-2597.

[14] ปิติพงษ์ ธาระมนต์, สุหทัย ไพรสานต์กุล, และนภาพร เลียดประถาม. 2559. การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยสองฝาบริเวณชายหาดเจ้าหลาว และชายหาดคุ้งวิมาน จังหวัดจันทบุรี. แก่นเกษตร. 44(1): 738-744

[15] Reynolds, R. L., Molden, N., Kokaly, R.F., Lowers, H., Breit, G. N., and Goldstein, H.L. 2024. Microplastic and associated black particles from road-tire wear: implications for radiative effects across the cryosphere and in the atmosphere. Journal of Geophysical Research: Atmosphere. 129(19): e2024JD041116.

[16] Huang, Y. and Xu, E.G. 2022. Black microplastics in plastic pollution: undetected and underestimated? Water Emerging Contaminants and Nanoplastics 1(14): 1-7.

[17] Yifan, F., Jinglan, Z., Ligang, D., Wenxin, R., Qiji, Z., Tong, L. and Xin. Q. 2022. Spatiotemporal dynamics of microplastics in an urban river network area. Water Research. 212: 118116

[18] Hale, R.C., Seeley, M.E., La Guardia, M.J., Mai, L. and Zeng, E.Y. 2020. A global perspective on microplastics. Geophysical Research: Ocean. 125: e2018JC014719.

20R2-04

การปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นเมืองและการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ: กรณีศึกษาศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Heavy Metal Contamination in Urban Dust and Its Health Risk in Assessment: A Case Study of the North Bangkok Campus, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

คณาวุฒิ อินทร์แก้ว[1*] อัจฉรา คล้ายอักษร[2] ปทุมวดี วงษ์จุ้ย[2] ธวัชชัย บุญเพ็ง[2] กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์[1] และ วรนุช ดีละมัน[3]
Kanawut Inkaew[1*] Atchara Klayaksorn[2] Pathumwadee Wongchuic[2] Thawatchai Bunpheng[2]
Kitiyot Tungsudjawong[1] and Woranuch Deelaman[3]
[1]อาจารย์; [2]นักศึกษา; [3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800
[*]โทรศัพท์ : 08 7223 4459, โทรสาร : 02 836 3015, E-mail : kanawut.i@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มุ่งประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter, PM) และความเสี่ยงทางสุขภาพในพื้นที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยเก็บตัวอย่างฝุ่น ละอองรวม (Total Suspended Particulates, TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) จากพื้นที่ 3 จุดสำคัญในช่วงเดือนเมษายนและสิงหาคม พ.ศ. 2567 และวิเคราะห์โลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และเหล็ก (Fe) ด้วยเทคนิค ICP-OES พร้อมประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพโดยใช้แบบสอบถามและค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient, HQ) ผลการศึกษาพบว่า ทั้งค่าฝุ่นและความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และค่า HQ ต่ำกว่า 1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ทั้งในช่วงเดือนเมษายนและสิงหาคม อย่างไรก็ตาม แม้กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ (ร้อยละ 58.2) จะไม่วิตกกังวลเกี่ยวกับปริมาณฝุ่นละอองและโลหะหนักที่ปนเปื้อน แต่บางส่วนมีอาการเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจและผิวหนัง ทั้งนี้ผลจากการศึกษาเสนอให้มีการตรวจติดตามฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพิ่มเติม เพื่อการพัฒนามาตรการป้องกันมลพิษจากฝุ่นละอองและโลหะหนักที่ครอบคลุมมากขึ้น

Abstract

This study aimed to assess the level of heavy metal contamination in fine particulate matter (PM) and the associated health risks in the North Bangkok Campus of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. Dust samples of Total Suspended Particulates (TSP) and particulate matter with a diameter less than 10 microns (PM_{10}) were collected from three key locations during April and August 2024. Five heavy metals—lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu), zinc (Zn), and iron (Fe)—were analyzed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Health risk assessments were conducted through questionnaires and Hazard Quotient (HQ) calculations. The results revealed that dust concentrations and

heavy metal levels were below standard limits during the study period, and all HQ values were less than 1, indicating an acceptable safety margin. However, while most respondents (58.2%) were not concerned about the presence of dust and heavy metal contaminants, some reported symptoms related to the respiratory system and skin irritation. The study, therefore, recommends further monitoring of fine particulate matter with a diameter less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) to support the development of more comprehensive pollution prevention measures for both dust and heavy metal contaminants.

คำสำคัญ : ฝุ่นละออง, ฝุ่นเมือง, โลหะหนัก, ความเสี่ยงด้านสุขภาพ
Keywords: Particulate Matter, Urban Dust, Heavy Metals,

บทนำ

ปัจจุบัน ปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) ที่กระจายในเขตเมืองได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนอย่างมีนัยสำคัญ [1-3] ฝุ่นละอองในบรรยากาศอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง เหล็ก และสังกะสี ทำให้ความรุนแรงของอาการอาจขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของฝุ่นหรือโลหะหนักที่ปนเปื้อน รวมทั้งอาจขึ้นกับสุขภาพของผู้รับสัมผัสแต่ละราย โดยจากรายงานการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา [1-3] พบว่าแหล่งกำเนิดของโลหะหนักในฝุ่นเมืองมาจากการจราจร กิจกรรมทางอุตสาหกรรม และการก่อสร้าง โลหะหนักเหล่านี้มีคุณสมบัติคงทนในสิ่งแวดล้อม สามารถสะสมในร่างกายมนุษย์ผ่านการหายใจ การสัมผัสทางผิวหนัง หรือการกลืนกิน

การได้รับสัมผัสฝุ่นละอองที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยผลกระทบในระยะสั้น การหายใจเอาฝุ่นที่มีโลหะหนักเข้าไปในร่างกายอาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ไอ จาม หายใจลำบาก รวมถึงอาการแพ้ทางผิวหนัง เช่น ผื่นหรือคันผิวหนัง โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยง เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว ส่วนในระยะยาว โลหะหนักมีคุณสมบัติสะสมในร่างกาย เมื่อได้รับในปริมาณมากหรืออย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบโลหิต ระบบไต และตับ ตลอดจนเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง และมะเร็งบางชนิด นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมองของเด็กและภาวะเจริญพันธุ์ในผู้ใหญ่ได้ [4] ดังนั้น การตรวจวัดการแพร่กระจายของฝุ่น การตรวจวัดการปนเปื้อนของโลหะหนัก และการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยกำหนดแนวทางในการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ตั้งอยู่ในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรและการจราจรสูง อีกทั้งมีการประกอบกิจกรรมทางอุตสาหกรรมอยู่ใกล้เคียงพื้นที่ โดยในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2567 ยังเกิดเหตุการณ์ลักลอบขนย้ายกากแคดเมียม น้ำหนักประมาณ 300 ตันไปจัดเก็บในโรงงานรีไซเคิลใกล้เคียงพื้นที่โดยไม่ได้รับอนุญาต [5] ทำให้มีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของแคดเมียมและโลหะหนักอื่นๆ ในฝุ่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อนักศึกษา อาจารย์ บุคลากร รวมทั้งประชาชนที่ใช้ชีวิตประจำวันในบริเวณนี้และพื้นที่โดยรอบ

การศึกษาครั้งนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อสำรวจระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นเมืองบริเวณศูนย์พระนครเหนือ และประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการและป้องกันผลกระทบในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนามาตรการป้องกันมลพิษในสถานศึกษาและส่งเสริมความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการเก็บตัวอย่างฝุ่นจากบริเวณต่าง ๆ ในพื้นที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก และการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในพื้นที่ โดยดำเนินการเก็บตัวอย่าง

ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulates, TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ด้วยหลักการ Gravimetric ตามวิธีมาตรฐาน [6] ในช่วงเดือนเมษายนและเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 จากพื้นที่ 3 จุด (รูปที่ 1) ได้แก่ (1) บริเวณหน้าอาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์ (2) บริเวณหน้าอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ (3) บริเวณหน้าอาคารอำนวยการคณะวิศวกรรมศาสตร์ การเก็บตัวอย่างดำเนินการต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำซ้ำ 3 รอบในแต่ละจุด



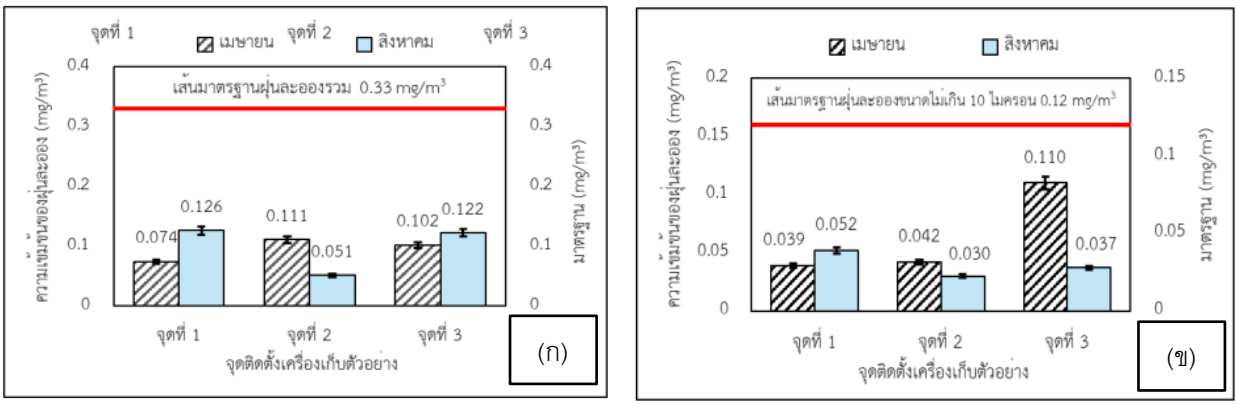
รูปที่ 1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก 5 ชนิดได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) จากนั้นเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้กับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง [7, 8] และดำเนินการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพด้วยการหาค่า Hazard Quotient (HQ) [9]

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ TSP และ PM_{10} ในทุกจุดตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายนและสิงหาคมอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน [6] โดยค่าเฉลี่ยของ TSP ในเดือนเมษายนและสิงหาคมเท่ากับ 0.096 และ 0.099 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของ PM_{10} ในเดือนเมษายนและสิงหาคมเท่ากับ 0.064 และ 0.039 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณฝุ่น TSP (ก) และฝุ่น PM_{10} (ข)

2. ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง

ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักใน TSP ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในฝุ่น ที่ตรวจวัดได้ในเดือนเมษายนและสิงหาคม พ.ศ. 2567 มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดในทุกชนิดโลหะ โดยเฉพาะแคดเมียมและตะกั่วซึ่งเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูง พบในระดับต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน กล่าวคือ แคดเมียมมีค่าเพียงประมาณ 0.006 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ขณะที่ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และตะกั่วมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมที่ 0.5768 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 75 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรอย่างชัดเจน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของสารโลหะหนักในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในหน่วยไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ชนิดสารโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน	เดือนเมษายน	เดือนสิงหาคม
ตะกั่ว	75	0.1210 ± SD	0.5768 ± SD
แคดเมียม	5	0.0063 ± SD	0.0066 ± SD
ทองแดง	100	0.7467 ± SD	12.4833 ± SD
เหล็ก	5,000	18.3600 ± SD	19.4667 ± SD
สังกะสี	15,000	ND	ND

หมายเหตุ n=3

ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในฝุ่น PM_{10} ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดที่ตรวจพบได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และเหล็ก มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดอย่างชัดเจนในทั้งสองช่วงเวลา โดยในเดือนเมษายน ตะกั่วมีค่าเฉลี่ย 0.121 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ขณะที่ในเดือนสิงหาคมเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 0.577 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 75 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร เช่นเดียวกับแคดเมียมที่มีค่าประมาณ 0.0063–0.0066 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่ามาตรฐานถึงกว่า 1,000 เท่า สำหรับทองแดง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.7467 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรในเดือนเมษายน เป็น 12.4833 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรในเดือนสิงหาคม ซึ่งยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ขณะที่เหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 18.36 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรในเดือนเมษายน เป็น 19.47 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรในเดือนสิงหาคม

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของสารโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในหน่วยไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ชนิดสารโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน	เดือนเมษายน	เดือนสิงหาคม
ตะกั่ว	75	0.1032 ± SD	0.3629 ± SD
แคดเมียม	5	0.0034 ± SD	0.0033 ± SD
ทองแดง	100	0.2467 ± SD	3.0533 ± SD
เหล็ก	5,000	7.4167 ± SD	1.8000 ± SD
สังกะสี	15,000	ND	ND

หมายเหตุ n=3

เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณแคดเมียมและตะกั่ว มีค่าใกล้เคียงกันในทั้งสองประเภทฝุ่น ในขณะที่ฝุ่น TSP มีค่าปริมาณความเข้มข้นของทองแดง และเหล็ก โดยรวมสูงกว่า PM_{10} โดยเฉพาะในเดือนสิงหาคม โดยจะเห็นได้ว่า ทองแดงใน TSP มีค่าเฉลี่ย 12.4833 ไมโครกรัม/ลบ.ม. ขณะที่ใน PM_{10} อยู่ที่ 3.0533 ไมโครกรัม/ลบ.ม. เช่นเดียวกับเหล็กซึ่งใน TSP สูงถึง 19.4667 ไมโครกรัม/ลบ.ม. แต่ใน PM_{10} กลับมีเพียง 1.8000 ไมโครกรัม/ลบ.ม. แสดงให้เห็นว่าโลหะทองแดงและเหล็กมีแนวโน้มตกค้างในฝุ่นขนาดใหญ่ มากกว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน อีกทั้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนสิงหาคมเมื่อเทียบกับเดือนเมษายน ซึ่งอาจ

สะท้อนถึงผลกระทบของกิจกรรมในเขตเมือง เช่น การจราจรหรือการก่อสร้างที่เกิดขึ้นในฤดูฝน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาโดยรวมชี้ว่า ระดับโลหะหนักในฝุ่นละอองในพื้นที่ศูนย์พระนครเหนืออยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ [7]

3. ผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการปนเปื้อนโลหะหนักในฝุ่นละออง

ผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการปนเปื้อนโลหะหนักในฝุ่นละออง โดยการคำนวณค่า Hazard Quotient (HQ) จากการข้อมูลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองและข้อมูลจากแบบสอบถามจำนวน 261 คน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความเสี่ยงทางสุขภาพ (Hazard Quotient: HQ) จากการปนเปื้อนโลหะหนักในฝุ่นละออง

ชนิดสารโลหะหนัก	ฝุ่น TSP		ฝุ่น PM_{10}	
	เดือนเมษายน	เดือนสิงหาคม	เดือนเมษายน	เดือนสิงหาคม
ตะกั่ว	0.0076	0.0368	0.0058	0.0230
แคดเมียม	0.0088	0.0097	0.0035	0.0043
ทองแดง	0.0041	0.0694	0.0013	0.0194
เหล็ก	0.0004	0.0004	0.0002	0.0000
สังกะสี	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ n=261

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองโดยใช้ค่าดัชนี HQ พบว่าค่าทั้งหมดในทั้งสองช่วงเวลาและทุกประเภทฝุ่น (TSP และ PM_{10}) อยู่ในระดับต่ำกว่า 1 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ถือว่า อยู่ในระดับปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในเชิงสารพิษเรื้อรัง สำหรับฝุ่น TSP พบว่าในเดือนสิงหาคมค่าความเสี่ยงของตะกั่วและทองแดงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (HQ = 0.0368 และ 0.0694 ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับเดือนเมษายน (HQ = 0.0076 และ 0.0041 ตามลำดับ) ในขณะเดียวกันผลการศึกษาฝุ่น PM_{10} ก็แสดงแนวโน้มลักษณะเดียวกัน โดยค่าความเสี่ยงของตะกั่วและทองแดงในเดือนสิงหาคม (HQ = 0.0230 และ 0.0194 ตามลำดับ) สูงกว่าในเดือนเมษายน (HQ = 0.0058 และ 0.0013 ตามลำดับ) ซึ่งสะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นโลหะหนักทั้งสองชนิดในฝุ่นช่วงฤดูฝน ทั้งนี้แคดเมียมและเหล็กมีค่า HQ ต่ำมากในทุกช่วงและทุกประเภทฝุ่น ส่วนสังกะสีไม่พบการปนเปื้อนจึงไม่มีค่าประเมิน HQ ปรากฏในตารางที่ 3

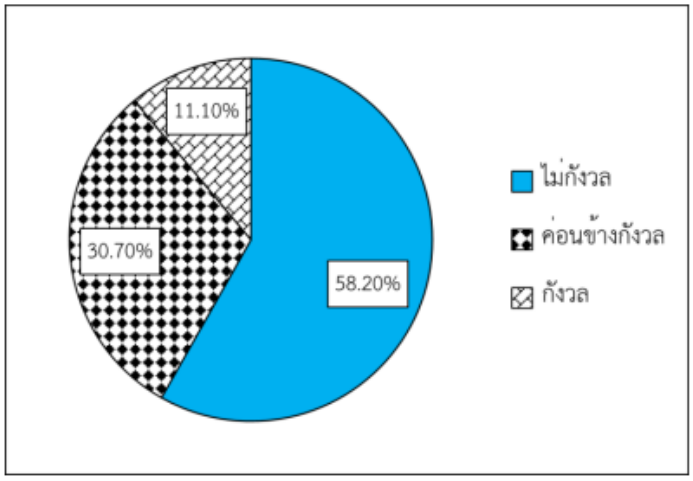
เมื่อประเมินข้อมูลผลกระทบจากฝุ่นละอองต่อการรับสัมผัสในชีวิตประจำวันของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้เกณฑ์ 5 ระดับ คือ 0 ระดับน้อยมาก 1 ระดับค่อนข้างน้อย 2 ระดับปานกลาง 3 ระดับค่อนข้างมาก และ 4 ระดับมาก ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความคิดเห็นด้านผลกระทบจากฝุ่นละอองต่อการรับสัมผัสของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลกระทบจากฝุ่นละออง	ร้อยละ	เฉลี่ย	ระดับเฉลี่ย
การมองเห็น	62.61	3.13	ค่อนข้างมาก
การได้ยิน	46.21	2.31	ค่อนข้างน้อย
การหายใจ	63.14	3.16	ค่อนข้างมาก
การได้กลิ่น	53.10	2.66	ปานกลาง
การรับรู้รส	53.26	2.66	ปานกลาง
การสัมผัสกับผิวหนังที่ก่อเกิดการระคายเคือง	63.98	3.20	ค่อนข้างมาก

พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รับรู้ถึง ผลกระทบจากฝุ่นละอองต่อประสาทสัมผัสและกิจกรรมประจำวันในระดับ “ค่อนข้างมาก” โดยเฉพาะด้าน การหายใจ (เฉลี่ย 3.16) และ การมองเห็น (เฉลี่ย 3.13) รวมถึง การสัมผัสกับผิวหนังที่เกิดการระคายเคือง (เฉลี่ย 3.20) ซึ่งมีระดับค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในตาราง แสดงว่าฝุ่นละอองส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง และดวงตาของประชาชนในพื้นที่ ขณะที่ผลกระทบด้านอื่น ๆ เช่น การได้ยิน (เฉลี่ย 2.31) อยู่ในระดับ “ค่อนข้างน้อย” และ การรับรู้รส การได้กลิ่น อยู่ในระดับ “ปานกลาง” (เฉลี่ย 2.66 และ 2.93 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาจากร้อยละของผู้ที่ได้รับผลกระทบ พบว่ามากกว่าร้อยละ 60 รู้สึกว่าฝุ่นละอองส่งผลต่อการหายใจ การมองเห็น และผิวหนัง ซึ่งสอดคล้องกับกลไกทางสุขภาพที่ฝุ่นสามารถกระตุ้นให้เกิดการระคายเคืองที่อวัยวะสัมผัสภายนอกและระบบทางเดินหายใจ

อย่างไรก็ตามผู้ตอบแบบสอบถาม มีความกังวลเกี่ยวกับปริมาณฝุ่นละอองและโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครในระดับที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 3 โดยผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 11.10 รู้สึกกังวลเล็กน้อย ร้อยละ 30.70 กังวลในระดับปานกลาง และร้อยละ 58.20 ไม่รู้สึกกังวล แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีการรับรู้และประสบกับผลกระทบจากฝุ่น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการติดตามและเฝ้าระวังปริมาณฝุ่นละอองอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3 สัดส่วนความรู้สึกกังวลต่อปริมาณโลหะหนักในฝุ่นของผู้ตอบแบบสอบถาม

เมื่อพิจารณาผลของการศึกษาในภาพรวม จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลความเสี่ยงและข้อมูลเชิงการรับรู้ผลกระทบ ที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ถึงแม้ว่าการตรวจพบโลหะหนักในฝุ่นทั้ง TSP และ PM_{10} จะมีค่าระดับการปนเปื้อนยังไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของทองแดงและเหล็กในช่วงฤดูฝนก็เป็นประเด็นที่ควรศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันผลกระทบสะสมในระยะยาว

สรุป

การศึกษาพบว่าฝุ่นเมืองในพื้นที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และเหล็ก แต่ทั้งปริมาณของฝุ่นและปริมาณของโลหะหนักที่ปนเปื้อนพบอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อีกทั้งการประเมินความเสี่ยงของการรับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นก็พบว่าอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัย อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของโลหะหนักบางชนิดที่ปนเปื้อนในฝุ่นช่วงฤดูฝน เพื่อเป็นการเฝ้าระวังผลกระทบจากการสะสมในระยะยาว ควรดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งควรมีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมความเสี่ยงมากขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนเชิงรุกสำหรับการพัฒนามาตรการป้องกันมลพิษในสถานศึกษาและชุมชนโดยรอบ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และบริการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้านอากาศ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครสำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง อีกทั้งขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครสำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่และการอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Alghamdi AG, El-Saeid MH, Alzahrani AJ, Ibrahim HM. Heavy metal pollution and associated health risk assessment of urban dust in Riyadh, Saudi Arabia. PLoS One. 2022 Jan 6;17(1):e0261957.

[2] Chen H, Zhan C, Liu S, Zhang J, Liu H, Liu Z, Liu T, Liu X, Xiao W. Pollution Characteristics and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Street Dust from a Typical Industrial Zone in Wuhan City, Central China. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 2;19(17):10970.

[3] Ban Ibrahim Jaafar and Safaa A. Kadhum. (2023). Bioaccessibility and Distribution of Heavy Metals in Particles. College of Science, University of Al-Qadisiyah

[4] ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ, 13(1), หน้า 76-82.

[5] สำนักข่าว The Standard. (2567). กทม. ประกาศพื้นที่อันตรายโรงงานลักลอบเก็บ ‘กากแคดเมียม’ ย่านบางซื่อ เร่งตรวจสุขภาพประชาชนบริเวณโดยรอบ. [ออนไลน์] https://thestandard.co/bangkok-announced-cadmium-dangerous-area/ เข้าถึงเมื่อ 5 มีนาคม 2568

[6] กรมควบคุมมลพิษ. (2546). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 60 หน้า

[7] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 121 ตอนพิเศษ 104ง ลงวันที่ 22 กันยายน 2547

[8] U.S. Environmental Protection Agency. (1996). EPA Method 3050B (SW-846): Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. U.S. EPA. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf

[9] U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health. (2019). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. NIOSH. https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html

20R2-05

การจัดการพื้นที่และธาตุอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไข่น้ำภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

Optimizing Wolffia Production Efficiency through Area and Nutrient Management within the Framework of Circular Economy

วิจิตรา สุจริต[1*] หาญโชค บุญเวียงพันธ์[2] ธนกร ราชพิลา[3] และ ณัฐพงษ์ วงษ์มา[3]
Wichidtra Sudjarid[1*] Harnchoke Butwiengpun[2] Tanakorn Rachapila[3] and Nattapong Wongma[3]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000
[2]คุณครู แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสกลนคร สกลนคร 47000
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000
*โทรศัพท์ : 0841284421, E-mail : wichidtra.s@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการบริหารจัดการพื้นที่และธาตุอาหารต่อประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ (Wolffia globosa) ภายใต้ระบบการเพาะเลี้ยงแบบปิด ตามแนวทางการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (มกษ. 9001-2564) ดำเนินการทดลองโดยใช้ธาตุอาหาร 7 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไฮโดรโปรนิกส์ ปุ๋ยอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน น้ำหมักปลา และสารสกัดจากพืช 2 สูตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมธาตุอาหารพบว่า ไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วง pH 6.5–9.66 โดยน้ำหมักปลามีค่า pH ต่ำที่สุดเริ่มต้นที่ 5.93 และเพิ่มขึ้นถึง 7.36 ภายใน 6 วัน ขณะที่ชุดอื่น ๆ มีค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงช่วง 8.5–9.66 ความสามารถในการเจริญเติบโตแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยไฮโดรโปรนิกส์มีอัตราการเจริญเติบโตรวมรายวัน (GR) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SRG) สูงสุด รองลงมาคือธาตุอาหารเคมีอินทรีย์ และน้ำหมักปลา ในขณะที่ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนมีค่า GR และ SRG ติดลบ บ่งชี้ถึงอัตราการตายหรือจมตัวที่สูง สำหรับปริมาณโปรตีนพบว่าไข่น้ำที่เลี้ยงด้วยปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์และน้ำหมักปลามีค่าปริมาณโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยอินทรีย์เคมี การทดลองแสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารที่สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่พืชดูดซึมได้รวดเร็วช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการสะสมโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งพื้นที่นำร่องได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP สำหรับพืชอาหารสะท้อนถึงการจัดการพื้นที่การผลิตไข่น้ำที่ปลอดภัยและสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ : ไข่น้ำ; การเพาะเลี้ยง; การจัดการพื้นที่; ธาตุอาหาร; ประสิทธิภาพการผลิต; เศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of area and nutrient management on the cultivation efficiency of *Wolffia globosa* under a closed culture system, following the Good Agricultural Practices for Food Crops (GAP 9001-2564) standard. The experiment involved seven types of nutrient treatments: hydroponic fertilizer, organic-chemical fertilizer, photosynthetic microorganisms, vermicompost, fish fermentation, and two formulations of plant extracts, along with a control group without added nutrients. The results showed that *Wolffia* could grow within a pH range of 6.5–9.66. The fish fermentation treatment initially had the lowest pH of 5.93, which increased to 7.36 within six days. In contrast, the other treatments

experienced a rapid rise in pH, reaching a range of 8.5–9.66. Growth performance results indicated that hydroponic fertilizer yielded the highest total daily growth rate (GR) and specific growth rate (SGR), followed by organic-chemical fertilizer and fish fermentation. Vermicompost, however, exhibited negative GR and SGR values, suggesting high mortality or sinking rates. Regarding protein content, *Wolffia* cultivated with hydroponic fertilizer and fish fermentation water showed the highest protein levels, followed by cultivation with organic-chemical fertilizer. The findings demonstrated that nutrient sources capable of releasing nitrogen in plant-available forms effectively enhanced both growth and protein accumulation. Additionally, the pilot cultivation area was certified under the GAP standard for food crops, reflecting safe management practices in *Wolffia* production that align with the circular economy concept.

Keywords : *wolffia globosa*; cultivation; area management; nutrient management; production efficiency; circular economy

บทนำ

ไข่น้ำ (*Wolffia spp.*) เป็นพืชน้ำขนาดเล็กที่เจริญเติบโตบนผิวน้ำในแหล่งน้ำจืดธรรมชาติ ไข่น้ำได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในฐานะผักพื้นบ้านที่ชาวชนบทในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนำมาใช้เป็นแหล่งอาหาร [1] เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อยู่ในวงศ์ Lemnaceae กลุ่มเดียวกับแหนเป็ด มีลักษณะเป็นเม็ดสีเขียวขนาด 0.5 - 1.5 มม. ไม่มีรากลอยบนผิวน้ำ [2] โดยใช้สายพันธุ์ไข่น้ำท้องถิ่น (*Wolffia globosa*) ที่เพิ่มจำนวนได้รวดเร็วด้วยระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าประมาณ 1.8 - 2.2 วัน [3] เนื่องจากไข่น้ำมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอุดมไปด้วยโปรตีนช่วง 20 - 45% ของน้ำหนักแห้งอุดมด้วยสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น เบต้าแคโรทีนและสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ [4] มีศักยภาพเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกสำหรับมนุษย์ [5] ปัจจุบันไข่น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเริ่มลดน้อยลงจากการเก็บมาใช้บริโภคและมลภาวะทางการเกษตรแม้ไข่น้ำบางส่วนอาจสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะดังกล่าว แต่ก็เผชิญข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยทางอาหารและการยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากความกังวลเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก สารพิษ สารเคมีตกค้าง เชื้อโรค หรือไข่พยาธิ รวมถึงการมีตัวเบียนต่าง ๆ ปะปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ไข่น้ำที่เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติมักมีความแปรปรวนสูงในด้านปริมาณผลผลิตและปริมาณโปรตีน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ฤดูกาล ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำ และปริมาณแสงที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง [6] ในประเทศไทยไข่น้ำมักพบมากในช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงฤดูร้อน แต่จะเจริญเติบโตได้ไม่ดีในช่วงฤดูฝนเนื่องจากน้ำฝนที่ตกชุกทำให้ธาตุอาหารในน้ำเจือจาง และความเข้มข้นของแสงลดลงจนไม่เพียงพอต่อการสร้างอาหารและรงควัตถุสีเขียวในเซลล์พืช ซึ่งการเพาะเลี้ยงไข่น้ำเริ่มเป็นที่สนใจในชุมชนเพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนราคาถูกและปลอดภัยของท้องถิ่นโดยใช้กระบวนการปรับปรุงวัสดุที่มีในท้องถิ่นสู่ธาตุอาหาร ซึ่งแนวคิดนี้สอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนที่มุ่งใช้ทรัพยากรหมุนเวียนในชุมชนอย่างคุ้มค่า ลดของเสียและค่าใช้จ่าย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการบริหารจัดการพื้นที่และธาตุอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงไข่น้ำ (*Wolffia spp.*) ตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (มกษ.9001-2564) เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ในการรับรองมาตรฐานการเกษตรที่ดีในพืชอาหารประเภทไข่น้ำในพื้นที่นำร่องและสามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรต่อไปได้

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่และบ่อเพาะเลี้ยง

ไข่น้ำควรเพาะเลี้ยงในน้ำนิ่งและแสงรำไร อุณหภูมิ 25–35°C ในน้ำสะอาดที่มี pH 6.5–7.5 ผ่านการกรองด้วยทรายกรองช้าใช้บ่อซีเมนต์ปูน HDPE ลดการรั่วซึมและป้องกันการละลายของ $Ca(OH)_2$ เติมน้ำลึก 30 ซม. และจัดการพื้นที่ตามการปฏิบัติที่ดีสำหรับพืชอาหาร มกษ.9001-2564 มีข้อกำหนดหลักที่ต้องผ่านทุกข้อ จำนวน 36 ข้อ

การเตรียมพันธุ์และการปล่อยเลี้ยง

แหล่งพันธุ์ไข่น้ำเก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติในพื้นที่ต้นน้ำ อำเภอกุดบาก จังหวัดสกลนคร นำมาล้างทำความสะอาดสิ่งเจือปนข้อนเฉพาะไข่น้ำ “แม่พันธุ์” ลงปล่อยในบ่อเลี้ยง อัตราประมาณ 200 กรัม/ 1 ตารางเมตร การติดตั้งเครื่องเติมอากาศขนาดเล็กในบ่อโดยวางหัวเติมอากาศในแนวนอนกลางบ่อช่วยเพิ่มออกซิเจนและป้องกันไข่น้ำจม ช่วยกระตุ้นการแตกหน่อ

การให้ปุ๋ยและธาตุอาหาร

การทดลองเพาะเลี้ยงไข่น้ำทดสอบสูตรธาตุอาหาร 7 สูตร โดยควบคุมค่า EC ช่วง 0.5 – 1.0 mS/cm ประกอบไปด้วยประเภทเคมีคือ 1) ปุ๋ยไฮโดรโปรนิกส์ [3] ประเภทเคมี-อินทรีย์คือ 1) ปุ๋ยอินทรีย์เคมี ประเภทอินทรีย์คือ 1) จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 2) ปุ๋ยน้ำมูลไส้เดือน 3) น้ำหมักปลา 4) สารสกัด A (น้ำหมักพืชผักสีเขียว) และ 5) สารสกัด B (น้ำหมักเศษอาหาร) และชุดการทดลองที่ควบคุมไม่มีการเติมธาตุอาหารใด ๆ ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตรวมรายวันและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะตามวิธี Said, D. S. et.al., 2022 [7] สมการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบประกอบไปด้วย pH EC และ โปรตีน

อัตราการเจริญเติบโตรวมรายวัน (Daily total growth rate: GR) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$\text{การเจริญเติบโตรวมรายวัน (GR) (กรัม/วัน)} = \frac{W_t - W_O}{t} \quad (1)$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate: SGR) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

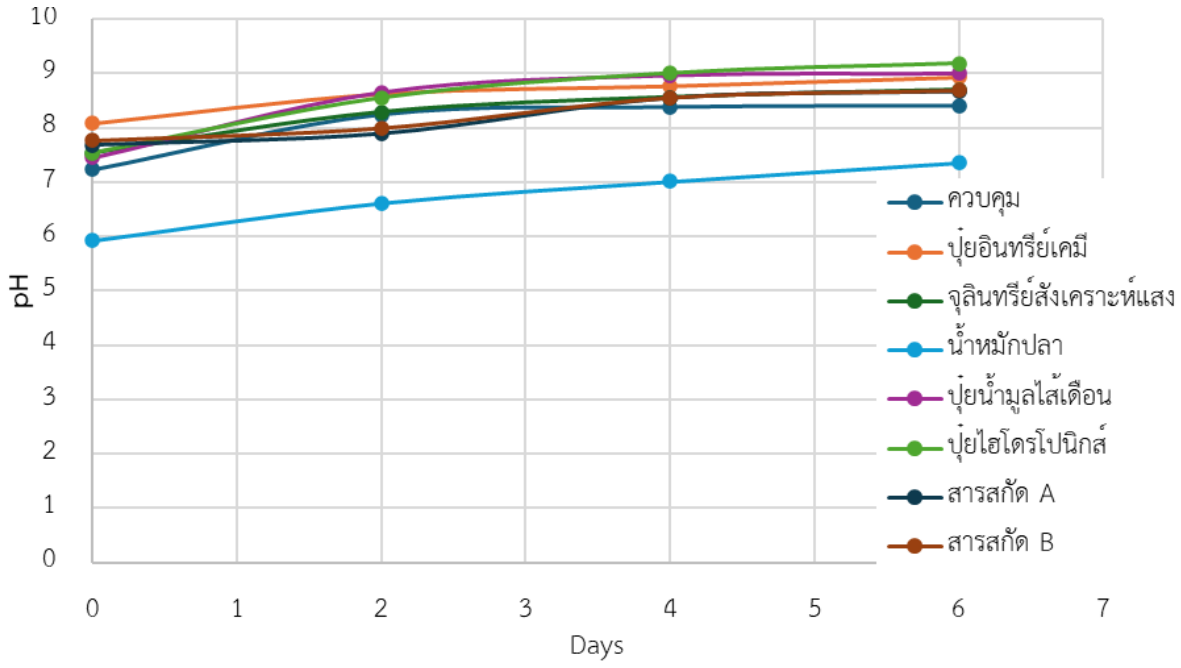
$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) (\%)} = \left(\frac{Ln\ W_t - Ln\ W_0}{t}\right) \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่ W_t คือน้ำหนักที่เวลา t (กรัม); W_0 คือน้ำหนัก ณ วันเริ่มต้น (กรัม); t คือ ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง (วัน)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

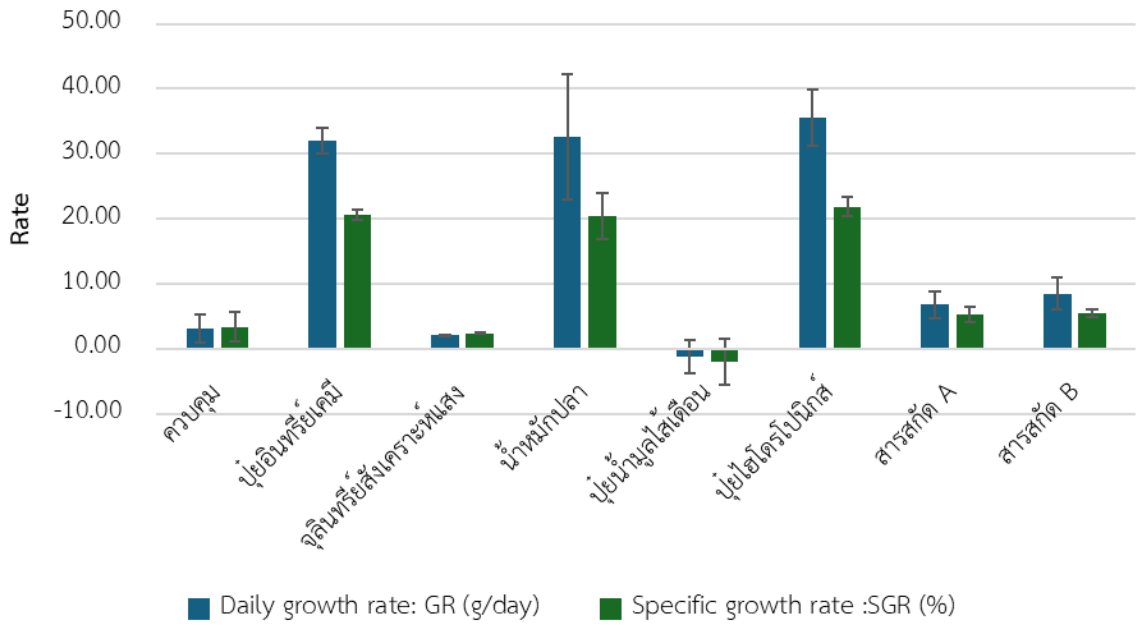
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมช่วง pH 5 - 7 แต่ในระบบเพาะเลี้ยงแบบปิดไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ใน pH สูงถึง 9.66 ค่า รูปที่ 1 แสดงค่า pH ของน้ำในแต่ละชุดทดลองตลอดระยะเวลา 6 วัน พบว่าน้ำหมักปลามีค่า pH ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยเริ่มต้นที่ประมาณ 5.93 และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงประมาณ 7.36 ในวันที่ 6 ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับการเติมธาตุอาหารทั้งในรูปแบบปุ๋ยเคมี จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ และสารสกัด A และ B หรือชุดควบคุมมีค่า pH เริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 7.22 – 9.66 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2–3 วันแรก ก่อนจะคงที่ในช่วงประมาณ 8.5 – 9.66 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การเพิ่มขึ้นของ pH อย่างรวดเร็วในกลุ่มที่เติมปุ๋ยอินทรีย์เคมีและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ไข่น้ำสามารถดำรงชีวิตได้ในช่วงค่า pH ระหว่าง 5 ถึง 9 แต่จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อค่า pH อยู่สูงกว่าช่วง 6.5 – 7.5 [8] แต่มีก็พบว่าไข่น้ำเจริญเติบโตได้ที่ pH 10.30 ในธาตุอาหารสังเคราะห์ [9]



รูปที่ 1 ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำภายใต้ธาตุอาหารต่างชนิด

ความสามารถในการเจริญเติบโตของไข่น้ำชนิด *W. globosa*

ธาตุอาหารทั้ง 3 ประเภท จำนวนทั้งหมด 7 ชนิด (รูปที่ 2) พบว่าประเภทเคมีมีอัตราการเจริญเติบโตรวมรายวัน (GR) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของไข่น้ำ (SRG) สูงที่สุด คือ 35.53 กรัม/วัน และ 21.81 %/วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตดังกล่าวมีค่าต่ำกว่า 1.8 เท่าใน GR และ 0.67 เท่าใน SRG [7] ประเภทเคมีอินทรีย์มีค่า GR และ SRG สูงสุดในลำดับที่สองคือ 32.04 กรัม/วัน และ 20.62 21.81 %/วัน ตามลำดับ และประเภทสารอินทรีย์พบน้ำหมักปลามีค่า GR และ SRG สูงสุดในลำดับที่สองคือ 32.56 กรัม/วัน และ 20.44 %/วัน ตามลำดับ แต่พบปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนมีค่า GR และ SRG ติดลบที่ -1.22 กรัม/วัน และ -2.02 %/วัน แสดงถึงอัตราการตายหรือจมตัวสูงนั้นเอง ซึ่งในการทดลองที่ควบคุมที่ไม่มีการเติมธาตุอาหารพบว่าค่า GR และ SRG เท่ากับ 3.05 กรัม/วัน และ 3.34 %/วัน ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารประเภทเคมีมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของไข่น้ำได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sree et al. (2015) [10] ที่ระบุว่าธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ที่มีอยู่ในธาตุอาหารเคมีสามารถส่งเสริมการแบ่งตัวของเซลล์และการสังเคราะห์ชีวมวลในพืชน้ำขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ธาตุอาหารประเภทอินทรีย์แม้จะมีธาตุอาหารหลักเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากอยู่ในรูปแบบที่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพก่อน ทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาสู่ระบบช้ากว่า จึงส่งผลต่ออัตราการเติบโตที่ต่ำลง [11] กรณีที่พบว่าปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนทำให้ไข่น้ำมีอัตราการตายสูงนั้นอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุสูงเกินระดับที่ไข่น้ำสามารถทนได้ [12] เนื่องจากไข่น้ำมีความไวต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียในน้ำโดยเฉพาะในสภาวะที่มีค่า pH สูง



รูปที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตรายวันและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของไข่น้ำในธาตุอาหารต่างชนิด

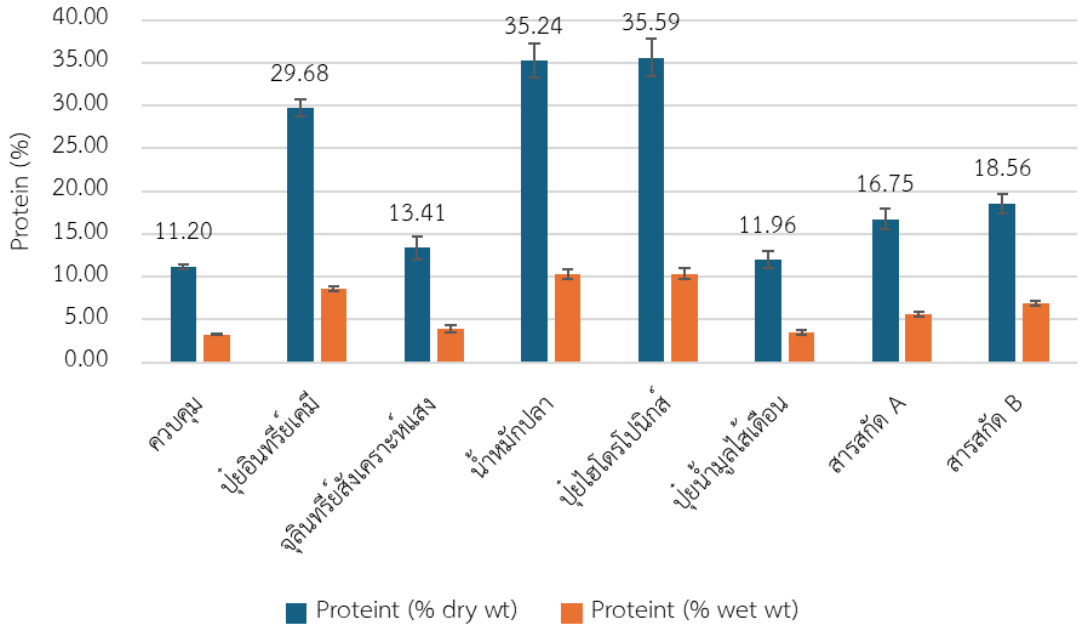
ผลของชนิดธาตุอาหารต่อปริมาณโปรตีนของไข่น้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของไข่น้ำทั้ง 7 ชนิด พบว่าปริมาณโปรตีนสูงที่สุด 3 ลำดับแรกคือ ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ น้ำหมักปลา และ ปุ๋ยอินทรีย์เคมี เท่ากับ 35.59 35.24 และ 29.68 % dry wt. ตามลำดับ ชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมธาตุอาหาร มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดที่ 11.20% dry wt. ส่วนชุดที่ใช้ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง มีค่าโปรตีนใกล้เคียงกันที่ 11.96% และ 13.41% dry wt. ตามลำดับ ส่วนชุดสารสกัด A มีค่าโปรตีน 16.75% dry wt. ซึ่งแนวโน้มของปริมาณโปรตีนในรูปน้ำหนักสด (wet wt.) สอดคล้องกับรูปน้ำหนักแห้ง โดยแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการสะสมโปรตีนสัมพันธ์กับประเภทของธาตุอาหารที่ใช้ การใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์และน้ำหมักปลาสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้มากที่สุด การเพิ่มขึ้นของโปรตีนอาจเกิดจากการที่ปุ๋ยเหล่านี้มีองค์ประกอบไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว เช่น ไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับการสร้างกรดอะมิโนและโปรตีนในพืช [1, 11] ในขณะที่ชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเติมธาตุอาหารมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด สะท้อนถึงการขาดแหล่งธาตุไนโตรเจนและธาตุอาหารจำเป็น ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนถูก

จำกัด เช่นเดียวกับชุดที่เติมปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ซึ่งแม้ว่าจะเป็นแหล่งอินทรียวัตถุ แต่การปลดปล่อยธาตุอาหารจำเป็นอาจเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ หรือมีองค์ประกอบที่ไม่สมดุลสำหรับการสร้างโปรตีน [12] นอกจากนี้ ยังพบว่าชุดที่ใช้สารสกัด A และ B มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าชุดควบคุม แต่ต่ำกว่าชุดปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์และน้ำหมักปลา แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเหล่านี้อาจมีธาตุอาหารบางชนิดที่ช่วยเสริมการเจริญเติบโตของไข่น้ำได้บ้าง แต่ไม่สามารถทดแทนธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์โปรตีนได้

การรับรองมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (มกษ. 9001-2564)

การจัดการพื้นที่เพาะปลูกโดยยึดหลักเกณฑ์และข้อกำหนดข้อหลักจำนวน 36 ข้อ ข้อรอง จำนวน 54 ข้อ และข้อแนะนำจำนวน 17 ข้อ รวมสรุปมาตรฐานจำนวน 107 ข้อ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลิตผลที่ได้มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค แบ่งออกเป็นรายด้านดังนี้ 1) ด้านแหล่งน้ำที่ใช้ในแปลงปลูก ต้องเลือกใช้น้ำที่สะอาดไม่มีการปนเปื้อนจากแหล่งมลพิษและมีคุณภาพตามเกณฑ์น้ำบริโภคหรือเทียบเท่า หากมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนต้องมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง และจัดเก็บผลการวิเคราะห์เป็นหลักฐานเพื่อการตรวจสอบย้อนกลับในภายหลัง 2) สำหรับพื้นที่ปลูกพืช ต้องพิจารณาเลือกพื้นที่ที่ไม่อยู่ในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน เช่น ใกล้โรงงานอุตสาหกรรม หรือบริเวณที่มีการใช้สารเคมีเกษตรในปริมาณสูง 3) การจัดการวัตถุอันตรายทางการเกษตร ต้องใช้สารเคมีทางการเกษตรตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด หลีกเลี่ยงการเก็บรักษาในลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อน และต้องมีระบบการจัดการขยะหรือเศษสารเคมีอย่างปลอดภัยตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง 4) การจัดการกระบวนการผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว ต้องเลือกใช้เมล็ดพันธุ์หรือวัสดุปลูกจากแหล่งที่เชื่อถือได้ และบริหารจัดการปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย น้ำ และวัสดุการเกษตรต่าง ๆ อย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนและส่งเสริมความปลอดภัยของผลิตผล 5) ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ต้องดำเนินการโดยยึดหลักสุขลักษณะที่ดีเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของผลิตผล รวมถึงมีการจัดเก็บผลผลิตอย่างเหมาะสมในภาชนะที่สะอาด และแยกผลิตผลตามคุณภาพอย่างชัดเจน 6) กระบวนการพักผลิตผล การขนย้าย และการเก็บรักษาต้องรักษาความสะอาดของสถานที่อย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษาผลิตผลก่อนถึงมือผู้บริโภค 7) บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตจะต้องได้รับการอบรมด้านสุขลักษณะส่วนบุคคล และมีความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) เพื่อให้สามารถดำเนินงานได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐาน และ 7) การจัดทำเอกสาร บันทึกข้อมูล และระบบการตรวจสอบย้อนกลับได้ ซึ่งพื้นที่นำร่องได้รับการรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรการปฏิบัติที่ดีสำหรับพืชอาหาร มกษ.9001-2564 รหัสรับรอง กษ. 03-9001-47-533-000001



รูปที่ 3 ผลของธาตุอาหารต่อปริมาณโปรตีนในไข่น้ำ

สรุป

การศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และผลของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต รวมถึงปริมาณโปรตีนของไข่น้ำสายพันธุ์ *Wolffia globosa* ภายใต้ระบบการเพาะเลี้ยงแบบปิด การทดลองพบว่าไข่น้ำยังสามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า pH สูงถึง 9.66 น้ำหมักปลาเป็นชุดทดลองที่มีค่า pH ต่ำที่สุด โดยเริ่มต้นที่ 5.93 และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 7.36 ในวันที่ 6 ขณะที่ชุดทดลองที่เติมธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ มีค่า pH เริ่มต้นสูงกว่าและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในช่วงสองถึงสามวันแรก ก่อนจะคงที่ในช่วงค่า pH ประมาณ 8.5 ถึง 9.66 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสามารถในการเจริญเติบโต พบว่าธาตุอาหารประเภทเคมีส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตรวมรายวัน (GR) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SRG) ของไข่น้ำสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มธาตุอาหารเคมี-อินทรีย์ และกลุ่มสารอินทรีย์ที่ใช้น้ำหมักปลา ในขณะที่การใช้ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนส่งผลให้ค่า GR และ SRG ติดลบ แสดงถึงการตายหรือจมตัวของไข่น้ำอย่างชัดเจน สำหรับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมธาตุอาหาร พบว่าอัตราการเจริญเติบโตอยู่ในระดับต่ำ ในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในไข่น้ำ พบว่าการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์และน้ำหมักปลาสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนได้สูงที่สุด รองลงมาคือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เคมี ในขณะที่ชุดควบคุมและชุดที่ใช้ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือนหรือจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารสกัด A และ B ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนได้บ้าง แต่ยังไม่สามารถเทียบเท่ากับการใช้ธาตุอาหารในรูปแบบเคมีหรืออินทรีย์เคมีได้ สำหรับการจัดการพื้นที่เพาะปลูก ได้ดำเนินการภายใต้แนวทางมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (GAP พืชอาหาร) ตามข้อกำหนด มกษ. 9001-2564 โดยครอบคลุมการควบคุมแหล่งน้ำ พื้นที่ปลูก การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร การบริหารจัดการกระบวนการผลิต การเก็บเกี่ยวและการขนย้าย ตลอดจนการอบรมบุคลากร และการจัดทำบันทึกข้อมูลเพื่อรองรับการตรวจสอบย้อนกลับอย่างครบถ้วน พื้นที่นำร่องที่ดำเนินการได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP อย่างเป็นทางการ สะท้อนถึงการจัดการพื้นที่ที่เหมาะสมภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างเป็นรูปธรรม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการจัดการห่วงโซ่อุปทานระบบการผลิตผักปลอดภัยแบบครบวงจรด้วยกระบวนการบริหารจัดการแปลงรวม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริม ววน. และหน่วย บพท.

เอกสารอ้างอิง

[1] Appenroth, K. J., Sree, K. S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M., & Jahreis, G. (2020). Nutritional value of the duckweed species of the genus Wolffia (Lemnaceae) as human food. Frontiers in Chemistry, 8, 497. https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00497

[2] Landolt, E. (1986). *The family of Lemnaceae—A monographic study: Vol. 1: Morphology, karyology, ecology, geographic distribution, systematic position, nomenclature, descriptions* (p. 566). Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel.

[3] อารักษ์ ธีรอำพน. 2560. ผลของปัจจัยบางประการต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการเก็บรักษาไข่น้ำด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีนารี. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] Chirapart, A., & Suttinun, O. (2019). Phytochemical constituents and antioxidant properties of duckweed (Wolffia spp.). Journal of Applied Phycology, 31(4), 2269–2276. https://doi.org/10.1007/s10811-018-1737-9

[5] Bhathumnavin, K. และ McGarry, M. G. 1971. Wolffia arrhiza as a possible source of inexpensive protein. Nature. 232: 495–497.

[6] ชนกพร พัวไพโรจน์. (2542). การพัฒนาการผลิตไข่น้ำเพื่อใช้เป็นอาหารมนุษย์ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[7] Said, D. S., Chrismadha, T., Mayasari, N., Febrianti, D. และ Suri, A. R. M. S. 2022. *Nutrition value and growth ability of aquatic weed Wolffia globosa as alternative feed sources for aquaculture system*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 950: 012044. https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012044

[8] Hasan, M. R., & Chakrabarti, R. (2009). Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 531, p. 123). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

[9] Kumar, M., Patel, A. B., & Prusty, S. (2022). Determining the nutrient removal capacity of duckweed Wolffia globosa under artificial conditions. Indian Journal of Weed Science, 54(2), 216–219. https://doi.org/10.5958/0974-8164.2022.00041.7

[10] Sree, K. S., Adelmann, K., Garcia, C., Lam, E., & Appenroth, K. J. (2015). Natural variance of growth parameters in different Wolffia globosa clones. Plant Biology, 17(Suppl 1), 50–55. https://doi.org/10.1111/plb.12231

[11] Cui, W., & Cheng, J. J. (2015). Growing duckweed for biofuel production: A review. Plant Biology, 17(Suppl 1), 16–23. https://doi.org/10.1111/plb.12216

[12] Leng, R. A., Stambolie, J. H., & Bell, R. (1995). Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. Livestock Research for Rural Development, 7(1).

20R2-06

การประเมินและจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตคอยล์ของเครื่องปรับอากาศตามระบบ ISO 45001

Risk Assessment and Management in Air Conditioner Coil Manufacturing Processes Based on ISO 45001

ระวีวรรณ ใบขุนทด[1*] นันท์นภัสร อินยิ้ม[2] และ เลิศเลขา ศรีรัตนะ[3]

Raveevan Baikuntod[1*] Nannapasorn Inyim[2] and Lerdlekha Sriratana[3]

[1]นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

*โทรศัพท์ : 08 7157 6969 E-mail : 6614350007@rumail.ru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชี้บ่งอันตราย ประเมินความเสี่ยง และเสนอมาตรการจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตคอยล์ของโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความเสี่ยงในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตทั้ง 12 ขั้นตอน ซึ่งมีการใช้เครื่องจักร สารเคมี และกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุหรือส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน การประเมินความเสี่ยงดำเนินการตามระเบียบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2543 และระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ISO 45001:2018 ผลการวิเคราะห์พบว่า มีอันตรายที่อาจเกิดขึ้นรวมทั้งสิ้น 47 ลักษณะ และมีประเด็นที่ต้องประเมินความเสี่ยง 114 ประเด็น โดยประเด็นที่มีความเสี่ยงในระดับสูง คือ ควันฟูมจากงานเชื่อม (มีคะแนนสูงที่สุด 88 คะแนน) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจโดยตรง รองลงมาคือเสียงดังจากเครื่องจักรในงานบากมุม (84 คะแนน) ที่อาจทำให้เกิดภาวะสูญเสียการได้ยิน สำหรับอันตรายลักษณะอื่น ๆ มีคะแนนความเสี่ยงอยู่ในระดับเล็กน้อยและระดับที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ แม้ผลการประเมินจะไม่พบความเสี่ยงในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ แต่ในกรณีที่พบความเสี่ยงในระดับสูง จะต้องมีการจัดการด้วยมาตรการที่เหมาะสม อาทิ การปรับปรุงระบบระบายอากาศ การจัดหาอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลให้เพียงพอ การติดตั้งระบบลดเสียงดัง และการฝึกอบรมพนักงานให้มีความตระหนักรู้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยในการทำงานอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตคอยล์เครื่องปรับอากาศ; การประเมินความเสี่ยง; มาตรการควบคุมความเสี่ยง

Abstract

This study aims to identify hazards, assess risks, and propose practical risk management measures in the coil production process of an air conditioner manufacturing plant. The focus is on evaluating risks in each of the 12 production stages, which involve the use of large machines, chemicals, and activities that may pose safety and health hazards to workers. The risk assessment was conducted in accordance with the Ministry of Industry Regulations B.E. 2543 (2000) and the Occupational Health and Safety Management System ISO 45001:2018. The analysis identified a total of 47 potential hazards and 114 specific risk issues requiring assessment. Among these, the highest risk level was associated with welding fumes (scoring 88), which pose a direct impact on the respiratory system. This was followed by loud noise from corner-cutting machines (scoring 84), which may lead to hearing loss. Other hazards were assessed to be at a low or acceptable risk levels. Although no unacceptable risk was found, the high-risk issues still require appropriate control measures, such as improving ventilation systems, providing adequate personal protective equipment (PPE), installing noise reduction devices, and conducting employee training to raise awareness of potential hazards. These actions are essential for promoting sustainable workplace safety.

Keywords: coil manufacturing process; risk assessment; risk control measures

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง และยังคงมีศักยภาพในการขยายตัวเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะในประเทศไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (สศอ.)[1] ระบุว่า ในช่วงฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2566 ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรม (MPI) ของอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศในประเทศอยู่ที่ระดับ 144.39 เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.1 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ซึ่งเป็นระดับการผลิตที่สูงที่สุดในรอบ 8 ปี

คอยล์นับเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบเครื่องปรับอากาศ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตคอยล์จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรและสารเคมีหลายประเภท ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้น การชี้บ่งอันตราย การวิเคราะห์ และการประเมินความเสี่ยงจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย เพื่อป้องกันและลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน[2]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชี้บ่งอันตราย ประเมินความเสี่ยง และจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยงของกระบวนการผลิตคอยล์ โดยอิงจากบริษัทกรณีศึกษาที่เป็นหนึ่งในกลุ่มบริษัทระดับโลก ดำเนินการผลิตเครื่องปรับอากาศขนาดความเย็นตั้งแต่ 1.0–20.0 ตัน มีสายการผลิตเฉพาะสำหรับการผลิตคอยล์ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตประกอบด้วย 12 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การตัดแผ่นเหล็กหนาด้วยเครื่องตัดแก๊ส การตัดแผ่นเหล็กบางด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ การบากมุมด้วยเครื่อง Chamfer การพ่นทรายตกแต่งผิวโลหะด้วยแรงดันสูง การพ่นน้ำยากันสนิม การม้วนแผ่นเหล็กด้วยเครื่อง การขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC การเชื่อมตะเข็บยาว การเชื่อมจุดในขั้นต้น การติดตั้งและเชื่อมชิ้นส่วนภายใน การเชื่อมรอบสุดท้าย และการทดสอบการรั่วซึมโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ฮีเลียม และแรงดันน้ำ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดอันตราย เช่น อันตรายจากการทำงานกับเครื่องจักรขนาดใหญ่ ฟูมโลหะจากการเชื่อม การสัมผัสกับสารเคมี อันตรายจากความร้อน และความเสี่ยงจากการระเบิด เป็นต้น ดังนั้น การศึกษาความเสี่ยงอย่างเป็นระบบจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้สามารถจัดการกับอันตรายเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินความเสี่ยงในการศึกษานี้ได้ยึดแนวทางตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543[3] และเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงตามข้อกำหนดของ ISO 45001: 2018[4] ข้อ 6.1.1 ถึง 6.1.3 ซึ่งเน้นการชี้บ่งอันตราย วิเคราะห์ความเสี่ยง และกำหนดมาตรการควบคุมอย่างเป็นระบบ อีกทั้งได้อ้างอิงทฤษฎีด้านความปลอดภัยที่สำคัญ เช่น ทฤษฎี Bird and Loftus (1976)[5] เพื่อเน้นว่าอุบัติเหตุเกิดจากหลายสาเหตุ ไม่ใช่เพียงเหตุเดียว ทำให้การวิเคราะห์ความเสี่ยงลึกซึ้งและรอบด้านมากขึ้น ทฤษฎี 3E (Engineering, Education, Enforcement)[6] สำหรับใช้กำหนดมาตรการควบคุมความเสี่ยงอย่างครอบคลุม ทั้งในด้านเทคนิค การให้ความรู้ และการควบคุมภายในองค์กร ทั้งนี้ ระบบ ISO 45001:2018 ยังใช้หลักการ PDCA (Plan-Do-Check-Act) ซึ่ง

สนับสนุนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในด้านความปลอดภัย ด้วยการวางแผน ตรวจสอบ และแก้ไขปัญหาในกระบวนการอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูง ซึ่งควรได้รับการแก้ไขโดยเร่งด่วนเพื่อป้องกันผลกระทบระยะยาวต่อสุขภาพของพนักงาน

อุปกรณ์และวิธีการ

การชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงดำเนินการตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 และเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงในระบบ ISO 45001: 2018 โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ศึกษาขั้นตอนของกระบวนการผลิตคอยล์จากวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)
2. ค้นหาอันตรายในแต่ละขั้นตอนโดยใช้หลักการในการชี้บ่งจากเกณฑ์แบบฟอร์มการชี้บ่งอันตราย
3. ประเมินความเสี่ยงโดยพิจารณาจากเกณฑ์การประเมินโอกาสเกิดและความรุนแรงของอันตราย ดังนี้
   การประเมินโอกาส (Likelihood, L) : จำนวนผู้มีโอกาสได้รับอันตราย (L1 คะแนน 1-5); ความถี่หรือระยะเวลาสัมผัสแหล่งอันตราย (L2 คะแนน 1-4); การป้องกันที่แหล่งกำเนิดอันตราย (L3 คะแนน 1-4); เอกสาร/มาตรฐาน/การฝึกอบรม (L4 คะแนน 1-4); การตรวจสอบอุปกรณ์/การปฏิบัติ (L5 คะแนน 1-4)
   การประเมินความรุนแรง (Consequence, C) : ผลกระทบต่อบุคคล (C1คะแนน 1-4); ผลกระทบต่อชุมชน (C2 คะแนน 1-4); ความเสียหายต่อทรัพย์สิน (C3 คะแนน 1-4); ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (C4 คะแนน 1-4)
   การคำนวณระดับความเสี่ยง (Risk Level, R_L) : $R_L = (L1+L2+L3+L4+L5) \times (C1+C2+C3+C4)$
4. จัดระดับความเสี่ยง โดยมีเกณฑ์พิจารณา: ระดับความเสี่ยงเล็กน้อย (คะแนน 20-55); ยอมรับได้ (คะแนน 56-85); สูง (คะแนน 86-132); ยอมรับไม่ได้ (คะแนน 133-320)
5. นำเสนอมาตรการในการจัดการความเสี่ยง สำหรับประเด็นที่มีระดับความเสี่ยงสูง

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์และชี้บ่งอันตรายในกระบวนการผลิตคอยล์ของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าในกิจกรรมการทำงานทั้งหมด 12 กิจกรรม (กำหนดรหัสเป็น R1 ถึง R12) มีอันตรายที่อาจเกิดขึ้นรวมทั้งสิ้น 47 ลักษณะ โดยบางอันตรายสามารถพบได้ในทุกกิจกรรม เช่น อันตรายจากเครนชนสิ่งกีดขวางหรือผู้ปฏิบัติงาน และอันตรายจากเหล็กหล่นขณะยก ซึ่งสะท้อนถึงความเสี่ยงที่มีความต่อเนื่องตลอดกระบวนการผลิต เมื่อพิจารณาความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับอันตรายแต่ละลักษณะในกิจกรรมต่าง ๆ พบว่ามีประเด็นความเสี่ยงที่ต้องประเมินจำนวนทั้งสิ้น 114 ประเด็น โดยการประเมินดำเนินการตามเกณฑ์การประเมินโอกาสเกิดและระดับความรุนแรงของผลกระทบ จากนั้นคำนวณคะแนนระดับความเสี่ยงในแต่ละประเด็น มีผลคะแนนความเสี่ยงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนระดับความเสี่ยงของแต่ละกิจกรรมการทำงาน

รายการที่	อันตรายที่อาจเกิดขึ้น	คะแนนระดับความเสี่ยงของแต่ละกิจกรรมการทำงาน											
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
1	เครนอาจชนสิ่งกีดขวางหรือผู้ปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียง	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
2	เหล็กหล่นทับตามร่างกายขณะยก	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
3	รับสัมผัสสารเคมีจากแก๊วรั่วไหล เข้าสู่ร่างกายได้	36	42						42				
4	เกิดการระเบิดพนักงานได้รับบาดเจ็บตามร่างกาย	70											
5	ความร้อนจากการตัดเหล็กอาจทำให้เกิดไฟไหม้	60											

ตารางที่ 1 คะแนนระดับความเสี่ยงของแต่ละกิจกรรมการทำงาน (ต่อ)

รายการที่	อันตรายที่อาจเกิดขึ้น	คะแนนระดับความเสี่ยงของแต่ละกิจกรรมการทำงาน											
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
	แสงจ้าจากการเชื่อมอาจเป็นอันตรายต่อดวงตา ผลกระทบต่อการมองเห็น แสบตา เคืองตา	30											
7	สัมผัสกับฝุ่นโลหะและเขม่าที่จากการตัดเหล็กก่อให้เกิดปัญหาระบบทางเดินหายใจ	35											
8	เหล็กหล่นทับตามร่างกายขณะเคลื่อนย้าย	56											
9	กล้ามเนื้ออาจได้รับบาดเจ็บจากการใช้แรงเข็นรถ	42											
10	โดนโซ่เครนกระแทกตามร่างกาย		56										
11	วาล์วแก๊สชำรุดทำให้สารเคมีรั่วอาจเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ		42							42	42	42	
12	ผิวหนังไหม้จากการสัมผัสชิ้นงานที่มีความร้อนจากการตัดเหล็กทำให้ผิวหนังผุพอง		30						42	42	42	42	
13	มืออาจโดนกระแทกจาการหมุนของหัวจับดอกกัด			25									
14	เสียงดังอาจทำให้สูญเสียการได้ยินชั่วคราว/ถาวร			84									
15	มืออาจโดนหนีบจากการจากการกดชิ้นงาน			25									
16	เครื่องจักรหนีบ ดึง ทับตามร่างกาย			45					35	35	35	35	
17	เศษเหล็กกระเด็นเข้าตาได้รับบาดเจ็บ			40									
18	ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกของจมูก คอ และทางเดินหายใจอย่างรุนแรง				49								
19	ปวดเมื่อยตามร่างกายเนื่องจากยืนทำงานเป็นเวลานาน				25					28	28	28	
20	เม็ดผงเหล็กกระเด็นเข้าตา					36							
21	ได้รับสัมผัสฝุ่นเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ					65							
22	ลื่นล้มจากการ จากเม็ดเหล็กที่ตกลงบนพื้น					42							
23	ได้รับสัมผัสสารเคมีที่อันตรายจากเม็ดเหล็กที่เกิดที่ใช้ในการพ่น					49							
24	ห้องพ่นทรายระบบระบายอากาศไม่ดีทำให้ร้อนอบอ้าวอาจทำให้พนักงานเจ็บป่วยได้					28							
25	อาจทำให้พนักงานได้สูญเสียการได้ยินชั่วคราว/ถาวรได้					53	48	48					
26	หากมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณที่เปียกชื้นหรือมีการรั่วของกระแสไฟฟ้า					63							
27	เครื่องม้วนหนีบมือ หรือตามร่างกาย						63						

ตารางที่ 1 คะแนนระดับความเสี่ยงของแต่ละกิจกรรมการทำงาน (ต่อ)

รายการที่	อันตรายที่อาจเกิดขึ้น	คะแนนระดับความเสี่ยงของแต่ละกิจกรรมการทำงาน											
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
28	ถูกเครื่องจักรฟาดหากมีการปรับตั้งเครื่องจักรไม่ถูกต้อง หรือมีชิ้นส่วนของเครื่องจักรหลุด						63						
29	แผ่นหล็กกระเด็นโดนร่างกายทำให้เกิดบาดแผลได้						63						
30	เศษเหล็กบาดหรือทิ่มมือ							20					
31	ผิวหนังระคายเคืองหากได้รับสัมผัสน้ำยาหล่อเย็น							30					
32	น้ำยาหล่อเย็นกระเด็นเข้าตาทำให้เกิดการระคายเคืองได้							56					
33	ท่าทางในการทำงานก้ม เอี่ยวบิด เกิดความเมื่อยล้า						20	20	35	35	35	35	
34	แผ่นเหล็กหนีบ/หล่นทับตามร่างกาย							49	42				
35	โดนเคลม/เหล็กเหล็กทับมือและเท้า									28	28	28	
36	โดนไฟดูดหากเครื่องจักรไม่พร้อมใช้งาน								56	59	59	59	
37	รังสี/แสงจ้าจากงานเชื่อมเกิดอันตรายและก่อให้เกิดโรคผิวหนังและดวงตา								56	56	56	56	
38	เสียงดังจากการเจียรอาจทำให้สูญเสียการได้ยินชั่วคราว/ถาวร								56	56	56		
39	ใบเจียรหลุดกระเด็นโดนตามร่างกาย ทำให้ได้รับบาดเจ็บ								49				
40	สะเก็ดไฟกระเด็นโดนตามร่างกายอาจทำให้เกิดไฟลุกไฟไหม้ได้								49	49	49	49	
41	ควันฟูมจากงานเชื่อมมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ								88	88	88	88	
42	ศรีษะกระแทกโดนท่อขณะเชื่อมได้รับบาดเจ็บ								42	42	42	42	
43	ใบเจียรกระเด็นเข้าตา								56	56	56	56	
44	มืออาจโดนกระแทกจาการสบัดของสายส่งก๊าซ												20
45	ร่างกายได้รับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนและฮีเลียมมากเกินไปอาจทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย												25
46	ถูกไฟฟ้าซ๊อตได้หากมีการต่อระบบสายไฟในการทดสอบไม่ถูกต้อง												45
47	ลื่นหรือล้มจากน้ำที่ใช้ทดสอบทำให้บาดเจ็บตามร่างกาย												25

หมายเหตุ รหัสกิจกรรมการทำงาน :

R1 หมายถึง ตัดแผ่นเหล็กหนาโดยเครื่องตัดแก๊ส

R2 หมายถึง ตัดแผ่นเหล็กบางโดยเครื่องตัดเลเซอร์

R3 หมายถึง บากมุมด้วยเครื่อง Chamfer

R4 หมายถึง พ่นทรายด้วยความเร็วสูงเพื่อทำการตกแต่งแผ่นเหล็ก
R5 หมายถึง เคลือบน้ำยากันสนิมพ่นน้ำยากันสนิม
R6 หมายถึง ม้วนแผ่นเหล็กด้วยเครื่อง
R7 หมายถึง เครื่อง CNC
R8 หมายถึง เชื่อมตะเข็บยาว
R9 หมายถึง เชื่อมจุดขั้นตอนแรก
R10 หมายถึง ติดตั้งส่วนประกอบชิ้นงานภายในชิ้นงานและเชื่อมยึดติดตั้งกับชิ้นงาน
R11 หมายถึง เชื่อมชิ้นงานรอบสุดท้าย
R12 หมายถึง ทดสอบรั่วโดยใช้แก๊สไนโตรเจน ฮีเลียมและใช้แรงดันน้ำเพื่อทดสอบรอยรั่วจากการเชื่อมของชิ้นงาน

ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูง (เกณฑ์คะแนนสำหรับความเสี่ยงสูง คือ 86-132) ได้แก่ กิจกรรมเชื่อมตะเข็บท่อตามยาว (R8) กิจกรรมเชื่อมจุดขั้นตอนแรกเพื่อเชื่อม Distributor, Tube Support และ Flange เข้ากับ Shell (R9) กิจกรรมเชื่อมประกอบ Shell กับ Tube Sheet (R10) และกิจกรรมเชื่อมชิ้นงานรอบสุดท้าย (R11) ซึ่งทั้ง 4 กิจกรรม มีคะแนนความเสี่ยงเท่ากัน และมีคะแนนสูงที่สุด คือ 88 คะแนน โดยมีลักษณะของอันตราย คือ ควันฟูมจากการเชื่อม ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบทางเดินหายใจ

กิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูงรองลงมา คือ เสียงดังจากกิจกรรมการบากมุมด้วยเครื่อง Chamfer (R3) ที่อาจทำให้สูญเสียการได้ยินชั่วคราวหรือถาวร มีคะแนนความเสี่ยง 84 คะแนน

สำหรับอันตรายลักษณะอื่น ๆ มีคะแนนความเสี่ยงอยู่ในระดับเล็กน้อย (เกณฑ์คะแนนสำหรับความเสี่ยงเล็กน้อย คือ 20-55) และระดับที่ยอมรับได้ แต่ต้องทบทวนมาตรการควบคุมความเสี่ยง (เกณฑ์คะแนนสำหรับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ คือ 56-85) แบ่งเป็น

ความเสี่ยงระดับเล็กน้อย เช่น อาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจากการใช้แรงในการเข็นรถ การทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสม (ก้ม เอี้ยว บิดตัว) ซึ่งก่อให้เกิดความเมื่อยล้า รวมถึงความเสี่ยงจากการลื่นล้มเนื่องจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการทดสอบ ทำให้เกิดการบาดเจ็บทางร่างกาย

ความเสี่ยงในระดับที่ยอมรับได้ เช่น การสัมผัสฝุ่นที่อาจเข้าสู่ร่างกายจนส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ การโดนเครื่องจักร เช่น เครื่องม้วนหนีบมือ โดนโซ่เครนกระแทก น้ำยาหล่อเย็นกระเด็นเข้าตา ทำให้เกิดการระคายเคือง

จากผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าปัญหาด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยในกระบวนการผลิตคอยล์ของเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร และการเชื่อมโลหะ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อพนักงานได้สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมและการใช้เครื่องจักรที่มีเสียงดัง

ควันจากการเชื่อมมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของพนักงาน สะท้อนถึงความจำเป็นในการปรับปรุงระบบระบายอากาศและมาตรการควบคุมให้มีการใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ทั้งนี้ มาตรการควบคุมที่แหล่งกำเนิดของอันตรายมีความจำเป็นต่อการลดความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะกลุ่มอาการที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสสารเคมีและแหล่งความร้อน ซึ่งสามารถส่งผลให้พนักงานมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง ตา และจมูกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50.1[7]

ในส่วนของเสียงดังจากเครื่องจักร เช่น เครื่องบากมุม ซึ่งพบว่ามีความเสี่ยงสูงที่อาจทำให้พนักงานเกิดภาวะสูญเสียการได้ยินทั้งแบบชั่วคราวและถาวรได้ จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง (Noise Dampening System) ควบคู่กับการจัดหาอุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน เช่น ที่ครอบหูหรือที่อุดหู ซึ่งต้องได้รับการตรวจสอบคุณภาพและการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แม้บริษัทจะมีระบบการจัดการความปลอดภัยที่อิงตามมาตรฐานสากลแล้ว แต่ยังคงพบความเสี่ยงในระดับสูงที่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะในกิจกรรมงานเชื่อมซึ่งมีอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานโดยตรง ทั้งในด้านของสารฟูมโลหะ ความร้อน แสงเชื่อม และเสียงรบกวน

จากการสนทนากลุ่มร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัย พบว่ามีความจำเป็นต้องจัดทำแผนควบคุมและลดความเสี่ยงสำหรับกิจกรรมดังกล่าว โดยแนะนำให้ดำเนินการใน 2 ด้านหลักคือ

1. มาตรการควบคุมทางวิศวกรรม ได้แก่ การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation: LEV) บริเวณจุดเชื่อม เพื่อกำจัดควันฟูมตั้งแต่แหล่งกำเนิด

2. การบริหารจัดการด้านความปลอดภัย ได้แก่ การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ การปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานให้เหมาะสมและปลอดภัยยิ่งขึ้น และการจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากควันฟูม การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล และการจัดให้มีการตรวจสุขภาพประจำปี โดยเฉพาะในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ

สรุป

การประเมินความเสี่ยงในกระบวนการผลิตคอยล์ของเครื่องปรับอากาศ ตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 และตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 ครอบคลุม 12 กิจกรรมหลัก พบอันตรายที่อาจเกิดขึ้นรวมทั้งสิ้น 47 ลักษณะ และมีประเด็นความเสี่ยงรวม 114 ประเด็น แบ่งเป็น

ความเสี่ยงเล็กน้อย จำนวน 64 ประเด็น คิดเป็นร้อยละ 56.14 เช่น อาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจากการใช้แรงในการเข็นรถ การทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสม (ก้ม เอี้ยว บิดตัว) ซึ่งก่อให้เกิดความเมื่อยล้า รวมถึงความเสี่ยงจากการลื่นล้มเนื่องจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการทดสอบ ทำให้เกิดการบาดเจ็บทางร่างกาย

ความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ จำนวน 46 ประเด็น คิดเป็นร้อยละ 40.35 เช่น การสัมผัสฝุ่นที่อาจเข้าสู่ร่างกายจนส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ การโดนเครื่องจักร เช่น เครื่องม้วนหนีบมือ โดนโซ่เครนกระแทก น้ำยาหล่อเย็นกระเด็นเข้าตาทำให้เกิดการระคายเคือง

ความเสี่ยงสูง จำนวน 4 ประเด็น คิดเป็นร้อยละ 3.15 ซึ่งทั้งหมดเกี่ยวข้องกับควันฟูมจากกระบวนการเชื่อม ที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของพนักงาน เช่น อาการระคายเคืองจมูก ลำคอ หายใจติดขัด หรือเหนื่อยง่าย

ประเด็นความเสี่ยงระดับสูงที่เกี่ยวข้องกับควันฟูมจากการเชื่อม ถูกตรวจพบใน 4 กิจกรรมหลัก ได้แก่ (1) การเชื่อมตะเข็บท่อตามยาว (2) การเชื่อม Distributor, Tube Support และ Flange เข้ากับ Shell (3) การเชื่อมประกอบ Shell กับ Tube Sheet และ (4) การเชื่อมขั้นตอนสุดท้าย (Final Welding)

กิจกรรมงานเชื่อมมีความเสี่ยงสูงสุดจากควันฟูม ซึ่งควรได้รับการควบคุมอย่างเร่งด่วน โดยมีคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานให้ดำเนินการในสองแนวทางหลัก ได้แก่ ด้านวิศวกรรม คือการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) เพื่อกำจัดควันฟูมตั้งแต่แหล่งกำเนิด และด้านการบริหารจัดการ ได้แก่ การบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ปรับปรุงวิธีการทำงานให้ปลอดภัย จัดอบรมเกี่ยวกับอันตรายจากควันฟูมและการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล รวมถึงการตรวจสุขภาพประจำปีในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งมาตรการเหล่านี้จะช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับหลักการของระบบ ISO 45001:2018

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (สศอ.) เปิดเผยว่า ในประเทศไทยในช่วงฤดูร้อนของปีพ.ศ. 2566 ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรม

[2] เพ็ญพรรณ เพ็ชรสว่าง การวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา บริษัทผลิต อุปกรณ์การแพทย์ (2562)

[3] ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่ง อันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 17 พฤศจิกายน 2543.ราชกิจจานุเบกษา. หน้า 1-28

[4] เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงระบบ ISO 45001: 2018 (International Organization for Standardization. (2018). Occupational health and safety management systems (ISO 45001). Geneva, Switzerland: Author.)

[5] Bird, F. E., & Loftus, R. G. (1976). *Loss Control Management*. Georgia: Institute Press.

[6] Heinrich, H. W., Petersen, D., & Roos, N. R., *Industrial Accident Prevention: A Safety Management Approach*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

[7] พรรณี นันทะแสง, กาญจนา นาถะพินธุ ปัญหาสุขภาพและสภาพแวดล้อมในการทำงานของช่างเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า อำเภอเมืองจังหวัดหนองบัวลำภู (2555)

20R2-07

การพัฒนาแบบตรวจสอบความปลอดภัยในการขนส่ง: กรณีศึกษากิจการขนส่งอะไหล่รถยนต์โดยใช้รถส่วนบุคคลแห่งหนึ่ง

Developing a Transportation Safety Inspection Form: A Case Study of Automotive Parts Delivery Business Using Private Vehicles

รติรัตน์ จูแพ[1*] นันท์นภัสร อินยิ้ม[2] และ เลิศเลขา ศรีรัตนะ[3]
Ratirat Chuphae[1*] Nannapasorn Inyim[2] and Lerdlekha Sriratana[3]
[1*]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และ [3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240
*โทรศัพท์: 065-2465922, E-mail: 6614350014@rumail.ru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาแบบตรวจสอบความปลอดภัยในการขนส่ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงาน ความน่าเชื่อถือขององค์กร และความปลอดภัยของบุคลากร ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม แม้ว่าแบบตรวจสอบจะมีความสำคัญในการควบคุมมาตรฐานความปลอดภัยในกระบวนการขนส่ง อีกทั้งยังใช้เป็นหลักฐานประกอบการปฏิบัติตามกฎหมายและการส่งเสริมวัฒนธรรมความปลอดภัย แต่ในปัจจุบันยังไม่มีแบบตรวจสอบที่เป็นมาตรฐานกลางจากภาครัฐส่งผลให้แต่ละบริษัท โดยเฉพาะธุรกิจขนาดเล็กหรือบริษัทที่เพิ่งเริ่มดำเนินกิจการต้องจัดทำแบบตรวจสอบเอง ซึ่งมักขาดความครอบคลุมและส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบริหารความปลอดภัย การวิจัยนี้ดำเนินการกับกรณีศึกษาซึ่งเป็นบริษัทขนส่งขนาดเล็กทำการพัฒนาแบบตรวจสอบจากการวิเคราะห์บริบทองค์กร กฎหมายที่เกี่ยวข้อง และมาตรฐานระบบการจัดการความปลอดภัยด้านการจราจรทางถนน โดยนำแนวคิดวงจรคุณภาพของเดมมิ่งมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดหัวข้อการตรวจสอบที่ครอบคลุมทั้งด้านการวางแผน การดำเนินงาน การตรวจสอบ และการป้องกันอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉิน พร้อมทั้งประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบ ผลการศึกษาพบว่า แบบตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับดีมากในด้านความสะดวกในการใช้งานและความสามารถในการวัดและประเมินผล และมีคุณภาพในระดับดี ในด้านความครอบคลุม ความชัดเจน การนำไปใช้ได้จริง ความถูกต้องและเป็นมาตรฐาน ความสอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัย ความสามารถในการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยง ความสามารถในการพัฒนาระบบตรวจสอบ รวมถึงเหมาะสมกับบริบทขององค์กรด้านการขนส่ง สะท้อนให้เห็นว่าแบบตรวจสอบนี้ช่วยส่งเสริมมาตรฐานด้านความปลอดภัยที่สามารถประยุกต์ใช้ในบริบทของธุรกิจขนส่งขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : แบบตรวจสอบด้านความปลอดภัย; การขนส่ง; ระบบการจัดการความปลอดภัยด้านการจราจรทางถนน

Abstract

This study aims to develop a transportation safety inspection form, which is a crucial factor influencing operational efficiency, organizational credibility, and the safety of personnel, assets, and the environment. Although safety checklists play an important role in controlling safety standards within the transport processes and also serve as documentation for legal compliance and promoting a culture of safety, there is currently no standardized inspection form provided by government. As a result, individual companies, particularly small businesses or startups, must develop their own checklists. These often lack comprehensiveness and lead to inefficiencies in safety management. This research was conducted as a case study involving a small private transport company. The checklist was developed based on an analysis of the organizational context, relevant legal requirements, and ISO 39001: Road Traffic Safety Management Systems. Deming's quality cycle (Plan-Do-Check-Act) was applied as a framework to ensure the checklist comprehensively addressed planning, operations, inspections, and the prevention of accidents or emergencies. The quality of the checklist was also evaluated. The findings revealed that the developed checklist demonstrated a very high level of quality in terms of ease of use and effectiveness in measurement and evaluation. It also showed a high level of quality in terms of comprehensiveness, clarity, practical

applicability, accuracy and standardization, alignment with safety standards, the ability to reduce accidents and risks, the potential to enhance inspection systems, and suitability within the context of transport organizations. These results suggest that the developed inspection form can effectively support the establishment of safety standards that are adaptable and practical for small-scale transport businesses.

Keywords : safety inspection form; transportation; road traffic safety management systems

บทนำ

การขนส่งสินค้าเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ที่เชื่อมโยงภาคการผลิตและภาคการจัดจำหน่ายสินค้าไปยังลูกค้า ซึ่งต้องการทั้งความรวดเร็วและความปลอดภัย ในปัจจุบัน ผู้ประกอบการธุรกิจขนส่งโดยเฉพาะธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กนิยมใช้รถยนต์ส่วนบุคคล เนื่องจากมีความสะดวก ดำเนินการได้รวดเร็ว และช่วยลดต้นทุน อย่างไรก็ตาม การใช้รถยนต์ส่วนบุคคลเพื่อการขนส่งนั้นมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ขับขี่ สินค้า ผู้ใช้ถนนรายอื่น รวมถึงตัวผู้ประกอบการเอง ปัญหาหลักที่พบในการขนส่งด้วยรถส่วนบุคคล ได้แก่ การบรรทุกสินค้าเกินขนาดหรือไม่มั่นคง การขาดอุปกรณ์ความปลอดภัยที่จำเป็น ความไม่พร้อมของรถและผู้ขับขี่ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายของสินค้า หรือการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ การขาดมาตรการตรวจสอบด้านความปลอดภัยก่อนการขนส่งยังเป็นปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงเหล่านี้ เนื่องจากการตรวจสอบมีความซับซ้อนและต้องการความละเอียดถี่ถ้วน การพัฒนาแบบตรวจสอบจึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยให้กระบวนการตรวจสอบเป็นระบบ ครอบคลุมองค์ประกอบที่จำเป็น ลดโอกาสผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันอุบัติเหตุ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาแบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบ โดยนำหลักการวงจรบริหารงานคุณภาพของเดมมิ่ง (Plan-Do-Check-Act: PDCA) [1] มาใช้เป็นกรอบแนวทางในการพัฒนาแบบตรวจสอบที่เหมาะสมกับบริบทขององค์กร และสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยบุคลากรจัดการด้านความปลอดภัยในการขนส่งให้สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้กรณีศึกษาจากบริษัทขนส่งเอกชนขนาดเล็กแห่งหนึ่ง ซึ่งดำเนินกิจการขนส่งอะไหล่รถยนต์ด้วยรถส่วนบุคคล มีจำนวนรถขนส่งในนามบริษัท 4 คัน และรถขนส่งในนามผู้เข้าร่วมกับบริษัทกรณีศึกษา 60 คัน ปัจจุบัน บริษัทดังกล่าวยังขาดแบบฟอร์มการตรวจสอบด้านความปลอดภัยที่เป็นมาตรฐาน ทำให้ไม่มีระบบการตรวจสอบที่ชัดเจน ส่งผลให้เกิดช่องว่างในการบริหารความปลอดภัย ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสี่ยงในการดำเนินงาน เช่น การตรวจสอบที่ไม่ครอบคลุม การละเลยปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย มีโอกาสที่อุบัติเหตุอาจเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้น การพัฒนาแบบฟอร์มตรวจสอบด้านความปลอดภัยจึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยยกระดับมาตรฐานด้านความปลอดภัยให้กับสถานประกอบการ ทำให้การตรวจสอบมีความเป็นระบบและมาตรฐานที่ชัดเจน ลดข้อผิดพลาดในการตรวจสอบ ป้องกันอุบัติเหตุ และเพิ่มความมั่นใจให้ผู้ปฏิบัติงานและลูกค้า การมีมาตรฐานด้านความปลอดภัยที่ดีจะช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพของระบบขนส่ง ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานด้านการขนส่งเป็นไปอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาปัญหาและความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการขนส่งอะไหล่รถยนต์ด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล
2. วิเคราะห์หลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบความปลอดภัยในการขนส่งสินค้า
3. พัฒนาแบบตรวจสอบความปลอดภัยในการขนส่งอย่างเป็นระบบตามแนวทาง PDCA
4. ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบตรวจสอบในบริบทของบริษัทขนส่งขนาดเล็ก

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ :

1. แบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่ง พัฒนาโดยใช้แนวทาง PDCA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการขนส่งให้มีมาตรฐานสูงสุด

2. แบบสอบถาม (Questionnaire) เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น พร้อมทั้งรวบรวมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงและพัฒนา โดยแบบสอบถามดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรง (IOC : index of item objective congruence) จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้ :

1. การวิเคราะห์บริบทขององค์กรและระบบการตรวจสอบด้านความปลอดภัยที่มีอยู่ของบริษัทกรณีศึกษา พร้อมทั้งศึกษากฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปพัฒนาแบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่ง

2. การพัฒนาแบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่ง ให้สอดคล้องกับบริบทขององค์กร กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง โดยใช้หลักการ PDCA มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการพัฒนาแบบตรวจสอบด้วยวงจรคุณภาพ PDCA

ขั้นตอน	รายละเอียด	การดำเนินการตรวจสอบ
Plan (วางแผน)	กำหนดมาตรฐานความปลอดภัย และวางแผนการตรวจสอบ	1. วิเคราะห์บริบทองค์กร กฎหมายที่เกี่ยวข้อง 2. ศึกษามาตรฐานความปลอดภัย (ISO 39001) 3. ออกแบบกระบวนการตรวจสอบ (Checklist)
Do (ดำเนินการ)	ดำเนินการตรวจสอบ และปฏิบัติตามแผนที่กำหนด	1. ตรวจสอบการดำเนินการตามแผนการที่กำหนด 2. ตรวจสอบสภาพรถขนส่งและอุปกรณ์ความปลอดภัย
Check (ตรวจสอบ)	ตรวจสอบผลลัพธ์ของการดำเนินงาน และระบุจุดที่ต้องปรับปรุง	1. วิเคราะห์ข้อมูลและอ้างอิงมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 2. ตรวจสอบผลการปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัย 3. อ้างอิงข้อกำหนดด้านความปลอดภัยขององค์กร
Act (ปรับปรุง)	ปรับปรุงมาตรการตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่อง	1. ปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบด้านความปลอดภัย 2. ฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจกระบวนการตรวจสอบ

3. การประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบ โดยผู้ประเมิน ได้แก่ ผู้บริหารงานทั่วไป ผู้ช่วยผู้บริหารคลังสินค้าและจัดส่ง หัวหน้างานคลัง หัวหน้างานขนส่ง และบุคลากรด้านความปลอดภัยในการขนส่ง (TSM) จำนวนอย่างละ 1 ท่าน รวมถึงรวบรวมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงและพัฒนา โดยใช้แบบสอบถามซึ่งประกอบด้วยประเด็นคำถามหลัก 10 ด้าน คือ ความครอบคลุมของรายการตรวจสอบ ความชัดเจนของเนื้อหาและคำอธิบาย ความสามารถในการนำไปใช้จริง ความถูกต้องและความเป็นมาตรฐาน ความสะดวกในการใช้งาน ความสอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัย ความสามารถในการวัดผลและประเมินผล ความสามารถในการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยง ความสามารถในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการตรวจสอบด้านความปลอดภัย และความเหมาะสมกับบริบทองค์กรขนส่งอะไหล่รถยนต์

ผลการทดลองและวิจารณ์

การพัฒนาแบบตรวจสอบที่มีความสอดคล้องกับบริบทขององค์กร กฎหมายที่เกี่ยวข้อง และมาตรฐาน ISO 39001: ระบบการจัดการความปลอดภัยด้านการจราจรทางถนน มีรายละเอียดดังนี้

ความสอดคล้องกับบริบทขององค์กร ประกอบด้วย :

1. ระบบติดตามและควบคุมการขนส่ง
2. มาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัย
3. ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ เพื่อให้เหมาะสมกับการขนส่งอะไหล่รถยนต์ที่มีลักษณะและขนาดแตกต่างกัน
4. เส้นทางการขนส่ง เครือข่ายเส้นทางการขนส่งขององค์กรครอบคลุม ถนนสายหลักและสายรองทั่วประเทศ
5. จุดพักรถและสถานีเติมเชื้อเพลิง
6. เส้นทางพิเศษสำหรับกรณีฉุกเฉิน
7. มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง
8. ความร่วมมือกับพันธมิตรทางธุรกิจ
9. วิสัยทัศน์และเป้าหมายขององค์กร
10. การบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในการขนส่ง

ความสอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐาน ISO 39001 ได้แก่ :

1. ความเชื่อมโยงกับข้อกำหนดทางกฎหมายพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 และข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก ระบุชัดเจนถึงหน้าที่ของผู้ประกอบการในการดูแลยานพาหนะ และพนักงานขับรถ

2. ความเชื่อมโยงกับข้อกำหนด ISO 39001:2012 ว่าด้วยระบบการจัดการความปลอดภัยจราจรทางถนน (RTSMS) มีข้อกำหนดสำคัญที่องค์กรต้องปฏิบัติตาม ดังนี้ หมวด 4–บริบทขององค์กร (Context of the Organization) หมวด 6–การวางแผน (Planning) และ หมวด 9–การประเมินสมรรถนะ (Performance Evaluation)

แบบตรวจสอบความปลอดภัยในการขนส่งที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยรายการตรวจสอบ 55 ข้อย่อย ที่สะท้อนบริบทขององค์กรและข้อกำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทั้ง 55 ข้อ แบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ

ส่วนที่ 1 : นโยบายและแนวทางการบริหารจัดการ มีรายการตรวจสอบ 6 ข้อ (ข้อที่ 1 - ข้อที่ 6)

ส่วนที่ 2 : การปฏิบัติตามข้อกำหนดกฎหมาย มีรายการตรวจสอบ 4 ข้อ (ข้อที่ 7 - ข้อที่ 10)

ส่วนที่ 3 : มาตรการด้านความปลอดภัยในการขนส่ง มีรายการตรวจสอบ 4 ข้อ (ข้อที่ 11 - ข้อที่ 14)
ส่วนที่ 4 : การตรวจสอบด้านพนักงานขับรถ มีรายการตรวจสอบ 3 ข้อ (ข้อที่ 15 - ข้อที่ 17)
ส่วนที่ 5: การบริหารจัดการการตรวจสอบด้านความปลอดภัย มีรายการตรวจสอบ 38 ข้อ (ข้อที่ 18 - ข้อที่ 55)

ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องของรายการตรวจสอบ กับบริบทขององค์กร กฎหมายและมาตรฐาน ISO 39001 สรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความสอดคล้องของรายการตรวจสอบ กับบริบทขององค์กร กฎหมายและมาตรฐาน ISO 39001

กฎหมาย / มาตรฐาน	ข้อกำหนด	ความสอดคล้องของแบบตรวจสอบ
พ.ร.บ. ขนส่งทางบก พ.ศ. 2522	ตรวจสภาพรถ อบรมพนักงานขับรถ การป้องกันการใช้สารเสพติด	แบบตรวจสอบมีรายการที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อ 12, 15, 38–39
ISO 39001:2012	หมวด 4 – บริบทองคกร	รายการ 1–10: การวิเคราะห์ระบบ เส้นทาง พันธมิตร
	หมวด 6 – การวางแผน	รายการ 4–5: เป้าหมาย, ตัวชี้วัด
	หมวด 8 – การดำเนินงาน	รายการ 13–47: การควบคุม การอบรม การตรวจสอบ
	หมวด 9 – การประเมินผล	รายการ 18–19: การติดตามและปรับปรุง
	หมวด 10 – การปรับปรุง	รายการ 51–55: การรายงานและแก้ไขเหตุการณ์

ผู้วิจัยได้ทดลองนำแบบตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นไปใช้งานจริงในการตรวจสอบระบบการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา มีผลการตรวจสอบดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยที่พัฒนาขึ้น และผลการทดลองใช้ตรวจสอบกับบริษัทกรณีศึกษา

หัวข้อการตรวจสอบ	การดำเนินการ	
ส่วนที่ 1 : นโยบายและแนวทางการบริหารจัดการ	มี	ไม่มี
1. องค์กรมีการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยมีการใช้มาตรฐานสากลใดบ้าง เช่น (ISO 39001)	☐	☑
2. องค์กรของท่านมีนโยบายเกี่ยวกับความปลอดภัยในการขนส่ง	☑	☐
3. มีการเผยแพร่นโยบายดังกล่าวไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอกองค์กร	☑	☐
4. องค์กรมีการกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดด้านความปลอดภัย	☑	☐
5. มีการทบทวนมาตรการด้านความปลอดภัยในการขนส่ง เช่น Internal Audit, External Audit, การประชุมทบทวนฯ เป็นต้น และมีรอบระยะเวลาในการทบทวนฯ เช่น รายเดือน รายปี	☐	☑
6. มีหน่วยงานหรือทีมงานที่รับผิดชอบด้านความปลอดภัยในการขนส่งโดยเฉพาะ	☑	☐
ส่วนที่ 2 : การปฏิบัติตามข้อกำหนดกฎหมาย	มี	ไม่มี
7. องค์กรมีการปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและความปลอดภัยหรือไม่	☑	☐
8. องค์กรจัดให้มีบุคลากรจัดการด้านความปลอดภัยในการขนส่ง ซึ่งต้องมีคุณสมบัติและผ่านการฝึกอบรมตามหลักสูตร ระยะเวลา และมีหน้าที่ตามที่อธิบดีประกาศกำหนด	☑	☐
9. บริษัทมีการอัพเดตและติดตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงานขนส่ง	☑	☐
10. องค์กรมีการปรับปรุงแนวทางปฏิบัติให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของกฎหมายหรือไม่	☑	☐
ส่วนที่ 3 : มาตรการด้านความปลอดภัยในการขนส่ง	มี	ไม่มี
11. มีการกำหนดมาตรการเพื่อป้องกันอุบัติเหตุในการขนส่ง	☑	☐
12. มีมาตรการตรวจสอบความปลอดภัยของรถขนส่งก่อนออกเดินทาง ระหว่าง และหลังเดินทาง	☑	☐
13. องค์กรมีการใช้เทคโนโลยีในการติดตามและควบคุมความปลอดภัยของรถขนส่ง เช่น GPS Tracking,	☑	☐
14. มีการกำหนดข้อจำกัดในการขับขี่ เช่น ความเร็ว, ช่วงเวลาการทำงานของพนักงานขับรถ	☑	☐
ส่วนที่ 4 : การตรวจสอบด้านพนักงานขับรถ เช่น คุณสมบัติ	มี	ไม่มี
15. องค์กรมีการอบรมหรือฝึกซ้อมด้านความปลอดภัยให้กับพนักงานขับรถและเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	☑	☐
16. มีมาตรการคัดกรองและติดตามพฤติกรรมของพนักงานขับรถ	☑	☐
17. มีการให้รางวัลหรือบทลงโทษสำหรับพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการขนส่งหรือไม่	☑	☐

ส่วนที่ 5: การบริหารจัดการ การตรวจสอบด้านความปลอดภัย	มี	ไม่มี
18. องค์กรมีการตรวจสอบและประเมินผลมาตรการด้านความปลอดภัยเป็นระยะหรือไม่	☐	☑
19. มีการนำข้อมูลจากการตรวจสอบมาปรับปรุงมาตรการด้านความปลอดภัยหรือไม่	☑	☐
20. แบบตรวจสอบ ครอบคลุมการตรวจรถบรรทุกดังนี้ รถยนต์ส่วนบุคคล / รถกระบะ, รถบรรทุก 4 ล้อ	☑	☐
21. แบบตรวจสอบฯสามารถรับรองการตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่งขององค์กรและสอดคล้องกับกฎหมาย ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยในด้านการขนส่ง	☑	☐
22. แบบรายงานการตรวจสอบรถประจำวัน	☑	☐
23. แบบรายงานการตรวจสอบอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยประกอบการขนส่ง	☑	☐
24. บันทึกการตรวจสอบเอกสารประกอบตัวรถ	☑	☐
25. บันทึกการตรวจสอบประกันขนส่งสินค้า	☑	☐
26. การจัดให้มีแผนการบำรุงรักษารถตามกำหนดรอบระยะทางหรือระยะเวลาในการใช้รถ	☑	☐
27. มีใบอนุญาตขับรถตามประเภทรถยนต์ตามที่กฎหมายกำหนด	☑	☐
28. มีประสบการณ์การขับรถตามประเภทรถที่ผู้ว่าจ้างต้องการไม่น้อยกว่า 1 ปี	☑	☐
29. มีอายุมากกว่าอายุที่สามารถขอรับใบขับขี่ตามประเภทรถอย่างน้อย 1 ปี และไม่เกิน 60 ปี	☑	☐
30. มีวุฒิการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ขึ้นไปหรืออ่านออกเขียนได้	☑	☐
31. ผ่านการตรวจสุขภาพตามข้อกำหนดของผู้ว่าจ้าง โดยต้องมีรายการตรวจสุขภาพตามที่กำหนด เป็นขั้นต่ำพนักงานขับรถอายุมากกว่า 60 ปี ต้องได้รับการตรวจสุขภาพเพิ่มเติมตามความเสี่ยง	☑	☐
32. ผ่านการอบรมหลักสูตรการขับรถปลอดภัยเชิงป้องกันอุบัติเหตุ (Safety Driving Course) และมีการทบทวนอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง	☐	☑
33. ผ่านการทดสอบความรู้เกี่ยวกับกฎระเบียบการจราจร หรือ กฎข้อบังคับว่าด้วยการใช้ทางหลวง	☑	☐
34. ผ่านการประเมินความสามารถและทัศนคติด้านการขับรถ	☑	☐
35. ไม่ถูกห้ามจากการเป็นพนักงานขับรถจากบริษัทที่สังกัดในธุรกิจเดียวกัน	☑	☐
36. ผ่านการตรวจสอบประวัติอาชญากรรม (ผู้สมัครให้ข้อมูลเบื้องต้นด้วยตนเองในตอนสมัครงานและผู้ว่าจ้าง อาจทำการตรวจสอบภายหลัง)	☑	☐
37. แต่งกายตามมาตรฐานที่ผู้ว่าจ้างกำหนด	☑	☐
38. รายงานการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์	☑	☐
39. การสุ่มตรวจหาสารเสพติด	☑	☐
40. แผนการอบรมพนักงานขับรถ	☑	☐
41. มีการอบรมและมีมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับคนขับรถและผู้ดูแลยานพาหนะ โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับวิธีการตรวจสอบยานพาหนะ การสังเกตความผิดปกติต่าง ๆ เป็นต้น	☑	☐
42. การกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่ง โดยคำนึงถึงประเภทและชนิดของรถและความชำนาญเส้นทางของผู้ขับรถ	☑	☐
43. การกำหนดแผนปฏิบัติการเดินรถและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเดินรถ เช่น การแจ้งเตือนจุดเสี่ยงหรือจุดอันตราย หรือการกำหนดจุดพักรถระหว่างที่เหมาะสม	☑	☐
44. การตรวจสอบข้อมูลระหว่างการเดินทาง เช่น การใช้ความเร็ว ระยะเวลาการขับรถต่อเนื่องการหยุดพักระหว่างการเดินทาง	☑	☐
45. การจัดเก็บข้อมูลเส้นทางและการเดินทาง การใช้ความเร็วของรถ ระยะเวลาการขับรถ การหยุดพักระหว่างการเดินทาง	☑	☐
46. การกำหนดรูปแบบและแนวทางในการบรรทุกคนโดยสารและสัมภาระ การกำหนดรูปแบบ และแนวทางในการบรรทุก	☑	☐
47. การตรวจสอบความปลอดภัยในการบรรทุก ทั้งในด้านจำนวนหรือปริมาณ หรือขนาด รวมถึงการใช้อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย	☑	☐
48. มีการกำหนดรูปแบบและแนวทางการตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉิน ขั้นตอนการดำเนินการ ข้อมูลการติดต่อสื่อสารกับหน่วยงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง และวิธีจัดการเหตุที่เหมาะสม	☑	☐
49. มีการจัดทำแผนฉุกเฉินและแผนสำรองที่เหมาะสมกับสภาพของธุรกิจและสถานประกอบการ	☑	☐
50. จัดให้มีการซ้อมแผนฉุกเฉินต่าง ๆ ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้อย่างสม่ำเสมอ	☑	☐
51. มีการทบทวนแผนฉุกเฉินและแผนสำรองต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ	☑	☐
52. มีมาตรการในการรายงานเหตุการณ์ที่ผิดปกติ จุดบกพร่อง หรือจุดเสี่ยง	☑	☐
53. มีการรายงานและวิเคราะห์อุบัติเหตุหรือเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นหรือไม่	☑	☐

54. มีมาตรการในการตรวจสอบและวิเคราะห์หาสาเหตุ การดำเนินการแก้ไข และการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์เพื่อไม่ให้เกิดเหตุซ้ำอีก	☑	☐
55. มีการจัดเก็บรักษารายงานและเอกสารต่าง ๆ เกี่ยวกับเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ	☑	☐

จากการใช้แบบตรวจสอบกับบริษัทขนส่งกรณีศึกษา พบว่า บริษัทฯ มีหัวข้อที่ยังไม่ได้ดำเนินการ จำนวน 4 ข้อ แบ่งเป็น

ด้านนโยบายและแนวทางการบริหารจัดการ - องค์กรไม่ได้จัดทำระบบบริหารคุณภาพ ISO 39001 (ข้อที่ 1) และไม่มีการทบทวนมาตรการด้านความปลอดภัยในการขนส่ง การประชุมทบทวนฯ และการกำหนดรอบระยะเวลาในการทบทวนฯ (ข้อที่ 5)

ด้านการบริหารจัดการ การตรวจสอบด้านความปลอดภัย - องค์กรไม่มีการตรวจสอบและประเมินผลมาตรการด้านความปลอดภัยเป็นระยะ (ข้อที่ 18) และขาดการดำเนินการฝึกอบรมหลักสูตรการขับรถปลอดภัยเชิงป้องกันอุบัติเหตุ และการทบทวนอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง (ข้อที่ 32)

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อบกพร่องทั้ง 4 ข้อข้างต้น ซึ่งสามารถสรุปสาระสำคัญที่จะนำไปสู่การปรับปรุงพัฒนากระบวนการตรวจสอบด้านความปลอดภัยขององค์กรกรณีศึกษา ดังนี้

1. องค์กรกำลังเผชิญกับความท้าทายด้านการบริหารจัดการความปลอดภัยในการขนส่ง เนื่องจากยังไม่มีระบบการบริหารจัดการความปลอดภัยตามมาตรฐาน ISO 39001 อย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งยังขาดคณะกรรมการความปลอดภัย การทบทวน และการอบรมด้านความปลอดภัยที่ต่อเนื่อง

2. ภายใต้การดำเนินธุรกิจการขนส่ง องค์กรมีภารกิจในการปฏิบัติตามกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 และข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก ระบุชัดเจนถึงหน้าที่ของผู้ประกอบการในการดูแลยานพาหนะและพนักงานขับรถ เช่น การตรวจสอบสภาพรถก่อนใช้งาน การฝึกอบรมด้านความปลอดภัยแก่พนักงาน การควบคุมไม่ให้พนักงานใช้สารเสพติดหรือแอลกอฮอล์ และต้องมีเอกสารการประกันภัยและการขึ้นทะเบียนถูกต้อง

มาตรฐาน ISO 39001 ว่าด้วยระบบการจัดการความปลอดภัยจราจรทางถนน (RTSMS) มีข้อกำหนดสำคัญที่องค์กรสอดคล้อง ได้แก่

หมวด 4 – บริบทขององค์กร (Context of the Organization) องค์กรต้องเข้าใจความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เช่น ผู้รับจ้าง และลูกค้า พร้อมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยภายในและภายนอกที่ส่งผลต่อความปลอดภัย

หมวด 6 – การวางแผน (Planning) ต้องมีการประเมินความเสี่ยงและโอกาส และมีวัตถุประสงค์ด้าน RTS (Road Traffic Safety) ที่สามารถวัดผลได้

หมวด 9 – การประเมินสมรรถนะ (Performance Evaluation) ต้องมีการตรวจติดตาม (Monitoring) ตรวจสอบ (Audit) และทบทวนจากผู้บริหาร (Management Review)

3. การใช้หลักการวงจรบริหารงานคุณภาพ PDCA เพื่อพัฒนาแบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่ง จะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อองค์กรมีการวางระบบที่เป็นรูปธรรม และการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง รวมถึงการให้ความร่วมมือในทุกระดับ การพัฒนาแบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยตามแนวทางดังกล่าวจึงไม่เพียงแต่เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นกลไกสนับสนุนการบริหารจัดการความปลอดภัยอย่างยั่งยืน

4. องค์กรต้องมีนโยบายส่งเสริมด้านความปลอดภัยที่ชัดเจน เพื่อนำไปสู่สนับสนุนทรัพยากรเพื่อการดำเนินการด้านความปลอดภัย รวมถึงการจัดอบรมด้านความปลอดภัยเชิงป้องกัน เช่น Safety Driving

จากการทดลองใช้แบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยนี้ ทำให้องค์กรสามารถเข้าใจถึงปัญหาด้านการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในการขนส่งขององค์กรเอง และสามารถดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องได้ตรงประเด็นและครบถ้วน

การประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น โดยผู้ประเมิน 5 ท่าน ให้คะแนนตามมาตราส่วน Likert Scale 5 ระดับ (1=ปรับปรุง, 2=พอใช้, 3=ปานกลาง, 4=ดี, 5=ดีมาก) จากนั้นนำผลการประเมินจากผู้ประเมินทั้ง 5 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบ ตามเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพคือ : ดีมาก (คะแนน 4.50 – 5.00) ดี (คะแนน 3.50 – 4.49) ปานกลาง (คะแนน 2.50 – 3.49) พอใช้ (คะแนน 1.50 – 2.49) ปรับปรุง (คะแนน 0 – 1.49) มีผลการประเมินคุณภาพในแต่ละด้าน ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าแบบตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยในแต่ละประเด็นอยู่ในเกณฑ์ดี ถึง ดีมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ = 4.1, S.D = 0.10) ทั้งนี้ มีประเด็นที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงและพัฒนาแบบตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ได้แก่

ความสอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัย ควรเพิ่มรายการตรวจสอบที่อ้างอิงตามข้อกำหนด ISO 39001 หมวด 4, 6 และ 9 เช่น เป้าหมาย RTS การวางแผนความเสี่ยง และการประเมินผล

ความสามารถในการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยง ควรเพิ่มกระบวนการวิเคราะห์พฤติกรรมคนขับ เช่น แบบประเมินอาการอ่อนล้า ความเครียด และการใช้โทรศัพท์ระหว่างขับรถ

ความสามารถในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพแบบตรวจสอบ ควรมีการพัฒนาแบบตรวจสอบในรอบถัดไปให้ครอบคลุมบริบทใหม่ เช่น สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เทคโนโลยีที่ใช้ ฯลฯ และบันทึกการแก้ไขในระบบฐานข้อมูลขององค์กร

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น

หัวข้อประเมิน	ค่า $\bar{X}$	ค่า S.D.	คุณภาพ
1. ความครอบคลุมของรายการตรวจสอบ	4.4	0.69	ดี
2. ความชัดเจนของเนื้อหาและคำอธิบาย	4.2	0.84	ดี
3. ความสามารถในการนำไปใช้จริง	4.2	0.69	ดี
4. ความถูกต้องและความเป็นมาตรฐาน	4.1	0.77	ดี
5. ความสะดวกในการใช้งาน	4.5	0.64	ดีมาก
6. ความสอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัย	3.6	0.55	ดี
7. ความสามารถในการวัดผลและประเมินผล	4.5	0.55	ดีมาก
8. ความสามารถในการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยง	3.7	0.64	ดี
9. ความสามารถในการพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจสอบด้านความปลอดภัย	3.8	0.63	ดี
10. ความเหมาะสมกับบริบทองค์กรการขนส่งอะไหล่รถยนต์	4.3	0.50	ดี
ค่าเฉลี่ยรวม	4.1	0.10	ดี

สรุป

จากการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาแบบตรวจสอบด้านความปลอดภัยในการขนส่ง พบว่า แบบตรวจสอบที่จัดทำขึ้นมีความสอดคล้องกับบริบทขององค์กร กฎหมายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 และข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก รวมถึงมาตรฐาน ISO 39001 ว่าด้วยระบบการจัดการความปลอดภัยจราจรทางถนน (RTSMS) โดยแบ่งองค์ประกอบของแบบตรวจสอบออกเป็น 5 ส่วนหลัก รวมทั้งหมด 55 รายการ ทั้งนี้ มีผลจากการนำแบบตรวจสอบไปใช้ในองค์กรกรณีศึกษา พบว่ามีหัวข้อที่องค์กรยังไม่ได้ดำเนินการจำนวน 4 ข้อ ได้แก่ ขาดระบบบริหารจัดการตามมาตรฐาน ISO 39001 ไม่มีการทบทวนมาตรการความปลอดภัยอย่างสม่ำเสมอ ขาดการประเมินผลมาตรการด้านความปลอดภัยเป็นระยะ และไม่มีการอบรมหลักสูตรการขับรถอย่างปลอดภัยเชิงป้องกันอย่างต่อเนื่อง ข้อบกพร่องดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า องค์กรยังเผชิญความท้าทายในการบริหารจัดการความปลอดภัยที่เป็นระบบ และยังขาดกลไกสนับสนุนในระดับนโยบายและการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม การใช้แบบตรวจสอบนี้ช่วยให้องค์กรสามารถประเมินตนเองได้อย่างเป็นระบบ เข้าใจจุดอ่อนที่ต้องปรับปรุง และสามารถดำเนินการแก้ไขได้อย่างตรงจุด

การประเมินคุณภาพของแบบตรวจสอบ พบว่าแบบตรวจสอบมีคุณภาพในระดับดีมาก ในเรื่องความสะดวกในการใช้งานและความสามารถในการวัดผลและประเมินผล และมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ในด้านความครอบคลุมของรายการตรวจสอบ ความชัดเจนของเนื้อหาและคำอธิบาย สามารถนำไปใช้ได้จริง มีความถูกต้องและเป็นมาตรฐาน สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัย มีความสามารถในการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยง สามารถช่วยพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจสอบด้านความปลอดภัย รวมถึงเหมาะสมกับบริบทขององค์กรด้านการขนส่ง โดยมีคะแนนในภาพรวม (เฉลี่ยทั้ง 10 ด้าน) อยู่ในระดับดี ทั้งนี้ การพัฒนาแบบตรวจสอบนี้ใช้หลักการ PDCA (Plan–Do–Check–Act) เป็นพื้นฐาน ส่งเสริมให้องค์กรมีเครื่องมือในการบริหารจัดการความปลอดภัยและมีระบบการตรวจสอบที่เป็นรูปธรรม เพื่อยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยในการขนส่งให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Deming, W. E. (2004). *Out of the Crisis*. MIT Press.

[2] ISO. (2012). *ISO 39001: Road traffic safety (RTS) management systems – Requirements with guidance*

[3] Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1-55.

[4] กรมการขนส่งทางบก. (2522). พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522. กรุงเทพมหานคร: สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี.

20R2-08

การผลิตถ่านไฮโดรชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

Hydrochar Production from Oil-Extracted Hemp Seeds Residue via Hydrothermal Carbonization Process

ศศิธร ใสปา[1], บุญญา ชาญนอก[2], สุพจน์ บุญแรง[3], สุรศักดิ์ นุ่มมีศรี[4], รจพรรณ นิรัญศิลป์[5] และ ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท[6*]
Sasithorn Saipa[1], Boonya Charnnok[2], Supot Boonrang[3], Surasak Nummeesri[4], Rotjapun Nirunsin[5] and Chayanon Sawatdeenarunat[6*]
[1]นักศึกษา, [6]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน) วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180
[4]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180
[5]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (พลังงานทดแทน) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
*โทรศัพท์ : 063 664 5146, E-mail : chayanon_saw@g.cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นศึกษาศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันในการผลิตถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน เพื่อผลิตแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล จากการศึกษาพบว่า ถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้ที่สภาวะอุณหภูมิควบคุม เท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเกิดปฏิกิริยา 60 นาที จะให้ค่า HHV เท่ากับ 22.20 ± 0.96 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่า HHV ที่สูงกว่าถ่านหินลิกไนต์ (16.20 เมกะจูล/กิโลกรัม) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ร่วมกันกับถ่านหินทั่วไป อีกทั้งยังสัดส่วนพลังงานที่ผลิตได้ ร้อยละ 76.18 ± 2.73 (โดยน้ำหนัก) หรือ 14375 ± 515 เมกะจูล/ตัน-แห้ง เมื่อทำการพิจารณาโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ตัวอย่างสามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ เท่ากับ 3411 ± 122 กิกะจูล/ปี เมื่อพิจารณาความสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทก๊าซหุงต้ม ได้เท่ากับ 67940 ± 2435 กิโลกรัม/ปี หรือ 1915894 ± 68677 บาท/ปี ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนทางด้านพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการจัดการของเสีย อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่เน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดตลอดห่วงโซ่การผลิตกัญชง ตั้งแต่การสกัดน้ำมันจนถึงการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป

คำสำคัญ : วัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมัน, ถ่านไฮโดรชาร์, กระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

Abstract

This study aimed to investigate the potential of hemp seed residues, left over after oil extraction, for hydrochar production through the hydrothermal carbonization (HTC) process. The goal was to create an alternative biomass fuel source to replace fossil fuels. The results showed that hydrochar produced under controlled conditions at 170 °C for 60 minutes yielded a high heating value (HHV) of 22.20 ± 0.96 MJ/kg higher than that of lignite coal (16.20 MJ/kg). This indicates that the hydrochar can be used for co-combustion with conventional coal.

Additionally, the energy yield of the hydrochar was 76.18 ± 2.73% by weight or 14375 ± 515 MJ/ton-dry. When applied to a sample industrial facility in Chiang Mai Province, it was estimated that approximately 3411 ± 122 GJ/year of thermal energy could be generated per year. This would be equivalent to replacing 67940 ± 2435 kilograms of liquefied petroleum gas (LPG) annually, corresponding to energy cost savings of about 1915894 ± 68677 THB/year. The use of hemp seed residues for hydrochar production reduces energy costs and waste management problems but also aligns with the principles of the circular economy, which emphasizes maximizing resource utilization throughout the entire hemp production chain from oil extraction to waste management.

Keywords : Oil-extracted hemp seeds residue, Hydrochar, Hydrothermal carbonization process

บทนำ

ในปัจจุบัน การจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจทั้งในระดับประเทศและระดับนานาชาติ เนื่องจากปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การสะสมของเสีย และการสูญเสียทรัพยากรที่มีศักยภาพ [1] หนึ่งในวัสดุเหลือทิ้งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากคือ วัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว (Oil-extracted Hemp Seed Residue, HSR) [2] เนื่องจากอุตสาหกรรมกัญชง (*Cannabis sativa L.*) ที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทย โดยเฉพาะในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการส่งเสริมการปลูกกัญชงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยา [3] อย่างไรก็ตามหลังกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกัญชงจะเหลือวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการประมาณร้อยละ 65 – 70 ของน้ำหนักเมล็ดกัญชงก่อนผ่านกระบวนการสกัดน้ำมัน ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์ในปริมาณที่น้อย เช่น ด้านอาหารและโภชนาการ (ใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์โปรตีนสูง) และด้านการเกษตร (สารควบคุมศัตรูพืชทางชีวภาพ) เป็นต้น [4] โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมาให้เกิดมูลค่าเพิ่มจึงเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง โดยกระบวนการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในวงการวิจัยสำหรับการแปรรูปชีวมวลเหลือทิ้งคือ กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชัน (Hydrothermal Carbonization, HTC) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อน (150 – 250 องศาเซลเซียส) และความดันในสภาวะที่มีน้ำเป็นตัวกลาง เพื่อเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็น ถ่านไฮโดรชาร์ (Hydrochar) [5] ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันมีข้อดีหลายประการ เช่น (1) ไม่ต้องทำให้วัสดุแห้งก่อนการแปรรูป จึงเหมาะกับวัสดุที่มีความชื้นสูง (2) ใช้พลังงานต่ำกว่า เมื่อเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสหรือแก๊สซิฟิเคชัน และ (3) ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติปรับปรุงดิน เช่น ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสารอาหาร เป็นต้น [6] ซึ่งงานวิจัยที่มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ประกอบไปด้วย Kraszkiewicz et al. (2019) [7] ที่ได้ทำการศึกษาการนำชีวมวลเหลือทิ้งกัญชงมาผลิตเป็นแหล่งเชื้อเพลิงพลังงานสูงที่มีค่าความร้อนสูง (HHV) เท่ากับ 18.09 เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง และมีปริมาณขี้เถ้าต่ำเพียงร้อยละ 2.5 สามารถอัดแท่งเผาไหม้ได้ดี แต่ยังต้องพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและระบบเผาไหม้เพื่อลดมลพิษให้เป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อม และ Prade et al. (2011) [8] ที่ได้ทำการศึกษาศักยภาพการนำชีวมวลเหลือทิ้งกัญชงมาผลิตเป็นพืชพลังงานในช่วงอากาศหนาวเย็นของยุโรปเหนือ โดยจะให้ผลผลิตพลังงานสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ (185 กิกะจูล/ไร่) และในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนสำหรับผลิตเชื้อเพลิงแข็ง (154 กิกะจูล/ไร่) โดยผลผลิตของวัสดุเหลือทิ้งกัญชงจะให้ค่าพลังงานที่สูงกว่าพืชพลังงานทั่วไปในพื้นที่ เช่น ฟางข้าวสาลีสูงกว่าร้อยละ

120 (ผลิตเชื้อเพลิงแข็ง) และถั่วเหลืองสูงกว่าร้อยละ 24 (ผลิตก๊าซชีวภาพ) รวมไปถึงงานวิจัยของ Kanchanatip et al. (2023) [9] ที่ได้ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตถ่านไฮโดรชาร์วัสดุเหลือทิ้งกัญชง จากการศึกษาพบว่า ที่สภาวะอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนชีวมวลต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 จะให้ผลผลิตถ่านไฮโดรชาร์ที่ดีที่สุด โดยถ่านไฮโดรชาร์ที่ได้มีค่าความร้อนสูงถึง 24.65 เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง (เพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบตั้งต้นร้อยละ 41) และมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงถ่านลิกไนต์ แต่มีปริมาณขี้เถ้าต่ำกว่าจากข้อมูลข้างต้นสามารถชี้ให้เห็นว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งกัญชงเป็นเชื้อเพลิงคุณภาพสูงใช้ทดแทนถ่านหินอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาศักยภาพการผลิตถ่านไฮโดรชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชัน เพื่อประเมินศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าของเสียที่ไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทน พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแบบยั่งยืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำวัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมาแปรรูปผลิตเป็นถ่านไฮโดรชาร์ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดปัญหาการสะสมของเสียทางการเกษตร แต่ยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งผ่านกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพที่ทันสมัย นอกจากนี้การศึกษางานวิจัยดังกล่าวยังสนับสนุนแนวคิดแบบ BCG Model (Bio-Circular-Green Economy Model) โดยเฉพาะทางเศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) อย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งการเปลี่ยนของเสียให้เป็นทรัพยากรที่มีคุณค่า ซึ่งสอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน

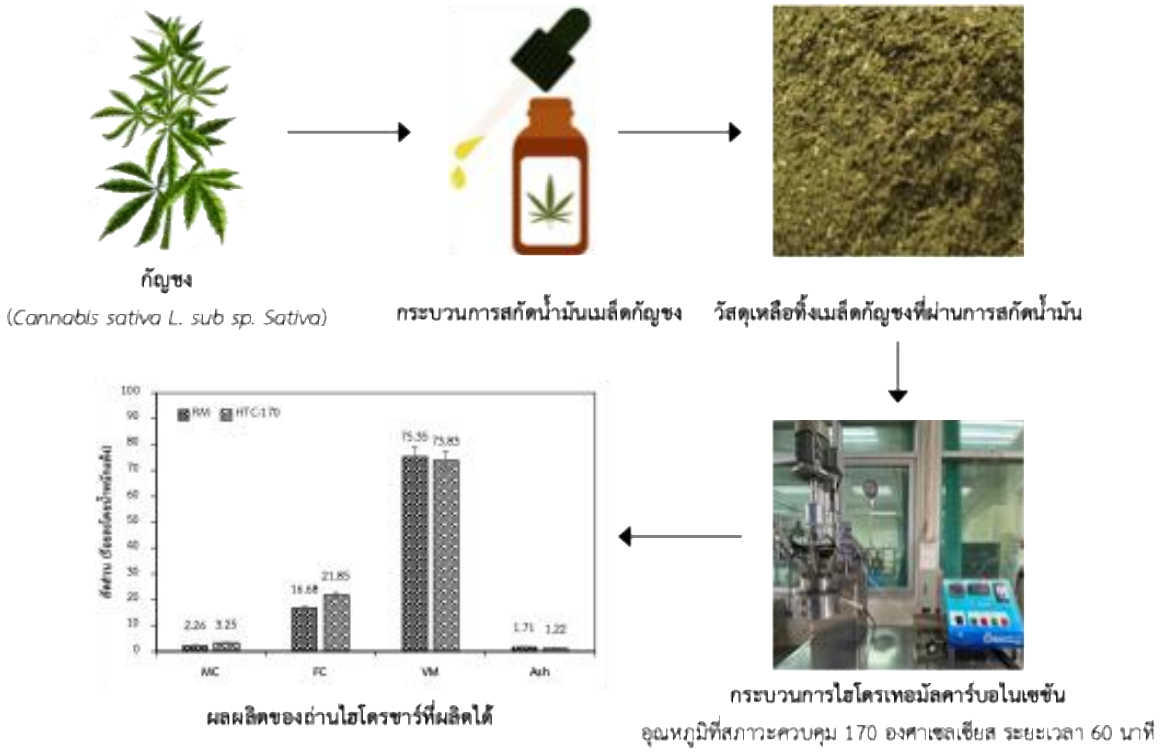
อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน คือ วัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว (Oil-extracted Hemp Seed Residue, HSR) ซึ่งได้รับการสนับสนุนมาจากคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยการเก็บตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการอบแห้งไล่ความชื้นสภาวะอุณหภูมิที่ 45 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 ชั่วโมง จนชีวมวลมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 [6, 9] โดยก่อนการนำตัวอย่างชีวมวลไปใช้งานทางผู้วิจัยจะทำการเก็บรักษาตัวอย่างชีวมวลไว้ในถุงสุญญากาศและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณสมบัติของชีวมวลไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและคุณสมบัติภายใน [6] สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบตั้งต้นชีวมวลด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงปริมาณ (Proximate analysis) ประกอบไปด้วย ค่าความชื้น (Moisture Content, MC) สารระเหย (Volatile Matter, VM) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) และปริมาณขี้เถ้า (Ash) และวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) [4, 6, 7] ดังแสดงในตารางที่ 1

2. การผลิตถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันดำเนินการที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ทรงกระบอกที่มีปริมาตรใช้งาน เท่ากับ 500 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วและ Deionized Water เท่ากับ 25 กรัม : 250 มิลลิลิตร หรืออัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร [8, 9] ที่สภาวะอุณหภูมิเกิดปฏิกิริยาควบคุม เท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที หลังจากนั้นตัวอย่างในสถานะของแข็งและสถานะของเหลวจะถูกแยกออกจากกันโดยการกรองผ่านกระดาษกรองในกรวยบุชเนอร์ และอบแห้งกำจัดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง [10, 11] โดยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันจะทำการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ส่วนที่เป็นสถานะของแข็งเท่านั้นจะไม่มีการพิจารณาส่วนที่เป็นของเหลวที่เกิดขึ้นหลังจากที่ผ่านกระบวนการแยกส่วนแล้ว [7, 8, 10]



ภาพที่ 1 การผลิตถ่านไฮโดรชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

3. วิธีการวิเคราะห์

สำหรับหลังเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันจะได้ผลผลิตออกเป็น 2 สถานะ คือ สถานของแข็ง (ถ่านไฮโดรชาร์, HC) และสถานะของเหลว (Process Water, PW) โดยการพิจารณาในครั้งนี้จะทำการพิจารณาเฉพาะผลผลิตที่เป็นสถานะของแข็งเท่านั้น โดยถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงปริมาณ (Proximate analysis) ประกอบไปด้วย ค่าความชื้น (Moisture Content, MC) สารระเหย (Volatile Matter, VM) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) และปริมาณขี้เถ้า (Ash) รวมทั้งการพิจาณาพฤติกรรมการเผาไหม้ โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analyzer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น TGA 8000 ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาช่วง 25 – 900 องศาเซลเซียส และอัตราการการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส/นาที ตามมาตรฐาน ASTM D7582-15 [7, 8] และวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ Bomb Calorimeter ยี่ห้อ LECO รุ่น AC 350 ประเทศสหรัฐอเมริกา ตามมาตรฐาน ASTM D5865-13 [6, 7] ซึ่งการทดสอบแต่ละค่าพารามิเตอร์จะทำซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยพร้อมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันจำเป็นต้องพิจารณามีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญดังแสดงในสมการ (1) – สมการ (2) [6, 9]

ผลผลิตไฮโดรชาร์ (ร้อยละ) = (มวลถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้ (กรัม) / มวลของวัตถุดิบตั้งต้น (กรัม)) x 100 (1)

ผลผลิตพลังงานที่ผลิตได้ (ร้อยละ) = ผลผลิตไฮโดรชาร์ x ($HHV_{ถ่านไฮโดรชาร์}$ / $HHV_{วัตถุดิบตั้งต้น}$) (2)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับคุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัย คือ วัสดุเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว (HSR) ดังแสดงผลในตารางที่ 1 พบว่า วัตถุดิบตั้งต้นที่ได้จากกระบวนการแปรรูปผลผลิตจากเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมีค่า MC, VM, FC และ Ash เท่ากับ ร้อยละ 2.26 ± 0.33, 75.35 ± 2.13, 16.68 ± 1.25 และ 1.71 ± 0.38 ตามลำดับ และ HHV เท่ากับ 18.87 ± 1.16 เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง ซึ่งถือว่าค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้นแสดงถึงศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นแหล่ง

เชื้อเพลิงทดแทนพลังงานฟอสซิล โดยเฉพาะแหล่งเชื้อเพลิงใช้ทดแทนในการผลิตพลังงานทางความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kanchanatip et al. (2023) [9] ที่ได้ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตถ่านไฮโดรชาร์วัสดุเหลือทิ้งกัญชง จากการศึกษาพบว่าวัสดุเหลือทิ้งกัญชงตั้งต้นก่อนนำไปผลิตถ่านไฮโดรชาร์ มีค่า MC, VM, FC และ Ash เท่ากับ ร้อยละ 10.74, 65.15, 18.83 และ 5.28 ตามลำดับ และ HHV เท่ากับ 18.87 ± 1.16 เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับงานวิจัยในครั้งนี้

2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

สำหรับคุณสมบัติของถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน จะแสดงดังในตารางที่ 1 จากการศึกษาพบว่า ค่าความร้อนสูง (HHV) เพิ่มขึ้นจาก 18.87 ± 1.16 เป็น 22.20 ± 0.96 เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 17.6 ซึ่งสูงกว่าผลการศึกษาของ Kanchanatip et al. (2023) [9] (20.12 เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง) และมีค่า HHV สูงกว่าถ่านหินลิกไนต์ (16.20 เมกะจูล/กิโลกรัม) [6] ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ร่วมกันกับถ่านหินทั่วไป เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทถ่านหินแพตเซคและครอฟท์ [12] โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบพื้นฐานแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนคงตัว (FC) จากร้อยละ 16.68 ± 1.25 เป็นร้อยละ 21.85 ± 1.56 และการลดลงของสารระเหย (VM) จากร้อยละ 75.35 ± 2.13 เป็นร้อยละ 73.83 ± 2.23 ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสตามที่ระบุในงานวิจัยของ Saipa et al. (2024) [6] และ Kraszkiewicz et al. (2019) [7] นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณขี้เถ้าลดลงจากร้อยละ 1.71 ± 0.38 เป็นร้อยละ 1.22 ± 0.16 เนื่องจากกกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันจะช่วยละลายแร่ธาตุบางส่วนออกไปในน้ำที่เกิดปฏิกิริยา (Process Water, PW) [6, 9] โดยผลผลิตถ่านไฮโดรชาร์ เท่ากับ 647.74 ± 12.01 กิโลกรัม/ตัน-แห้ง (ร้อยละ 64.77 ± 1.20) และให้ผลผลิตพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ ร้อยละ 76.18 ± 2.73 ของพลังงานวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ Kanchanatip et al. (2023) [9] ที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งกัญชงหลังการเก็บเกี่ยว โดยสรุปแล้วถ่านไฮโดรชาร์จากกระบวนการนี้ถือว่ามีศักยภาพสูงในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณภาพสูงในการทดแทนแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยการเพิ่มค่าความร้อนสูงและลดองค์ประกอบที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะปริมาณเถ้าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนและหลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

คุณสมบัติ	หน่วย	RM	HTC-170
ปริมาณความชื้น (MC)	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	2.26 ± 0.33	3.25 ± 0.29
ปริมาณสารระเหย (VM)	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	75.35 ± 2.13	73.83 ± 2.23
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC)	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	16.68 ± 1.25	21.85 ± 1.56
ปริมาณขี้เถ้า (Ash)	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	1.71 ± 0.38	1.22 ± 0.16
ค่าความร้อนสูง (HHV)	เมกะจูล/กิโลกรัม-แห้ง	18.87 ± 1.16	22.20 ± 0.96
ผลผลิตถ่านไฮโดรชาร์	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	NA	64.77 ± 1.20
	กิโลกรัม-แห้ง/ตัน-แห้ง	1000	647.74 ± 12.01
ผลผลิตพลังงานที่ผลิตได้	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	NA	76.18 ± 2.73
	เมกะจูล/ตัน-แห้ง	NA	14,375 ± 515

หมายเหตุ : 1. RM คือ วัตถุดิบตั้งต้นก่อนผ่านกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน
2. HTC-170 คือ ถ่านไฮโดรชาร์ที่ได้หลังกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส
3. NA คือ Not Applicable

3. พลังงานที่ผลิตได้จากถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

สำหรับการพิจารณาปริมาณพลังงานที่ผลิตได้จากถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชันจากวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ถ่านไฮโดรชาร์จะให้สัดส่วนพลังงานที่ผลิตได้มากถึงร้อยละ 76.18 ± 2.73 (โดยน้ำหนัก) หรือ 14,375 ± 515 เมกะจูล/ตัน-แห้ง เมื่อทำการพิจารณาถึงศักยภาพในการผลิตพลังงานทางความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วในการทดแทนแหล่งพลังงานทางความร้อนของกระบวนการแปรรูปกัญชง โดยสัดส่วนของวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ประมาณ 650 กรัม/กิโลกรัม (เมล็ดกัญชา) [13] ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาสามารถผลิตวัตถุดิบตั้งต้นเมล็ดกัญชาได้เท่ากับ 365 ตัน/

ปี [14] ดังนั้นปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 237 ตัน/ปี เมื่อนำมาผลิตเป็นถ่านไฮโดรชาร์สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ เท่ากับ 3,411 ± 122 กิกะจูล/ปี เมื่อพิจารณาความสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas, LPG) ได้เท่ากับ 67,940 ± 2,435 กิโลกรัม/ปี หรือ 1,915,894 ± 68,677 บาท/ปี เมื่อค่าความร้อนของก๊าซหุงต้ม เท่ากับ 50.20 เมกะจูล/กิโลกรัม [15] และราคาก๊าซหุงต้ม เท่ากับ 28.20 บาท/กิโลกรัม [16] ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนทางด้านพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการจัดการของเสียแบบดั้งเดิม อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่เน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดตลอดห่วงโซ่การผลิตกัญชง ตั้งแต่การสกัดน้ำมันจนถึงการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป

สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นศึกษาศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมันในการผลิตถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน เพื่อผลิตแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล จากการศึกษาพบว่า ถ่านไฮโดรชาร์ที่ผลิตได้ที่สภาวะอุณหภูมิควบคุม เท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเกิดปฏิกิริยา 60 นาที จะให้ค่า HHV เท่ากับ 22.20 ± 0.96 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่า HHV ที่สูงกว่าถ่านหินลิกไนต์ (16.20 เมกะจูล/กิโลกรัม) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ร่วมกันกับถ่านหินทั่วไป อีกทั้งยังสัดส่วนพลังงานที่ผลิตได้ ร้อยละ 76.18 ± 2.73 (โดยน้ำหนัก) หรือ 14,375 ± 515 เมกะจูล/ตัน-แห้ง เมื่อทำการพิจารณาในโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาสามารถผลิตวัตถุดิบตั้งต้นเมล็ดกัญชาได้เท่ากับ 365 ตัน/ปี สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ เท่ากับ 3,411 ± 122 กิกะจูล/ปี เมื่อพิจารณาความสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทก๊าซหุงต้ม ได้เท่ากับ 67,940 ± 2,435 กิโลกรัม/ปี หรือ 1,915,894 ± 68,677 บาท/ปี ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนทางด้านพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการจัดการของเสีย อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่เน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดตลอดห่วงโซ่การผลิตกัญชง ตั้งแต่การสกัดน้ำมันจนถึงการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ภายใต้งบประมาณด้านวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรมประเภททุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 เลขที่สัญญา สกสว. 30/68 โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพหลากหลายรูปแบบจากวัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมัน และขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (วิทยาเขตแม่ริม) จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบตั้งต้น คือ วัสดุเหลือทิ้งเมล็ดกัญชงที่ผ่านการสกัดน้ำมัน รวมไปถึงต้องขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการก๊าซชีวภาพและไบโอรีไฟเนอรี่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่) จังหวัดสงขลา ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการผลิตถ่านไฮโดรชาร์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอไนเซชัน

เอกสารอ้างอิง

[1] Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. Environmental Research. 209: 112285.

[2] Funke, A., & Ziegler, F. (2010). Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 4(2), 160 – 177.

[3] Chiang Mai Provincial Agriculture Office. (2023). Hemp cultivation and industrial development in Northern Thailand. Chiang Mai Agricultural Journal. 15(2): 45 – 60.

[4] Adesina, I., Bhowmik, A., Sharma, H., & Shahbazi, A. (2020). A review on the utilities of hemp in agriculture and industry. Agriculture. 10(4): 129 – 138.

[5] Libra, J. A., Ro, K. S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., & Emmerich, K. H. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes, and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels. 2(1): 71 – 106.

[6] Saipa, S., Charnnok, B., Nitayavardhana, S., Reungsang, A., Chaiprapat, S., & Sawatdeenarunat, C. (2024). Integration of solid-state anaerobic digestion and hydrothermal carbonization. BioEnergy Research. 17(3): 1918 – 1929.

[7] Kraszkiewicz, A., Kachel, M., Parafiniuk, S., Zajac, G., Niedziółka, I., & Sprawka, M. (2019). Assessment of the possibility of using hemp biomass (*Cannabis sativa L.*) for energy purposes: a case study. Applied Sciences. 9(20): 4437.

[8] Prade, T., Svensson, S. E., Andersson, A., & Mattsson, J. E. (2011). Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. Biomass and Bioenergy. 35(7): 3040 – 3049.

[9] Kanchanatip, E., Prasertsung, N., Thasnas, N., Grisdanurak, N., & Wantala, K. (2023). Valorization of cannabis waste via hydrothermal carbonization: solid fuel production and characterization. Environmental Science and Pollution Research. 30(39): 90318 – 90327.

[10] Matassa, S., Esposito, G., Pirozzi, F., & Papirio, S. (2020). Exploring the biomethane potential of different industrial hemp (*Cannabis Sativa L.*) biomass residues. Energies. 13(13): 3361.

[11] Pengpit, P., Chotchutima, S., Chaiprapat, S., Yoyrurob, S., & Charnnok, B. (2024). Enhancing bioenergy and feed production in Southern Thailand: An approach through Leucaena cultivation and hydrothermal carbonization. Renewable Energy. 237: 121673.

[12] Palamanit, A., Khongphakdi, P., Tirawanichakul, Y., & Phusunti, N. (2019). Investigation of yields and qualities of pyrolysis products obtained from oil palm biomass using an agitated bed pyrolysis reactor. Biofuel Research Journal. 6(4): 1065 – 1079.

[13] Adesina, I., Bhowmik, A., Sharma, H., & Shahbazi, A. 2020. A review on the current state of knowledge of growing conditions, agronomic soil health practices and utilities of hemp in the United States. Agriculture. 10(4): 129. https://doi.org/10.3390/agriculture10040129

[14] ประชาชาติธุรกิจ. 2565. *“ซาลัส” ทุ่ม 900 ล้าน ที่เชียงใหม่ “กัญชา – กัญชง” ผลิตยาส่งอาเซียน.* สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2568, จาก https://today.line.me/th/v2/article/1DXDEZz

[15] Johnson, E. P. (2012). Carbon footprints of heating oil and LPG heating systems. Environmental Impact Assessment Review. 35: 11 – 22. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.01.004

[16] Bank of Thailand. (2025). Price of Certain Manufactured Goods. Retrieved January 6, 2025, from https://app.bot.or.th/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=90&language=ENG

20R2-10

การลดทรัพยากรและของเสียโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต: กรณีศึกษา โรงงานขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง

Resources and Wastes Minimization by Production Process Improvement: A Case Study of The Tamai Don Yanang Rice Vermicelli Factory

วรมิญช์ พันธุรัตน์[1*] จิรศักดิ์ จารุพงศ์[2] และ จินดามณี นิสยันต์[3]
Voramin Punturat[1*] Jeerasak Jarupong[2] and Jindamanee Nissayan[3]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000
[2]กรรมการผู้จัดการ; [3]ผู้จัดการ บริษัท พีเค ซิสเต็ม แอนด์ อินโนเวชั่น จำกัด 40000 ขอนแก่น 40000
*โทรศัพท์ : 063-9310095, โทรสาร : 042-503558, E-mail : voramin@npu.ac.th

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีสะอาดได้รับการประยุกต์ใช้ในการระบุปัญหาและสาเหตุ ตลอดจนการเสนอและพิจารณาทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดทรัพยากรและของเสียสำหรับโรงงานผลิตเส้นขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง จากการทดลองทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนและปิดฝาหม้อต้ม 8.6 % ลดการใช้น้ำจากการเปลี่ยนท่อล้างเส้นขนมจีน 39.86 % ลดการใช้น้ำล้างทำความสะอาดหลังการผลิต 40 % และลดการสูญเสียเส้นขนมจีน 23.33 % จากการติดตั้งตะแกรงรองรับ ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสัดส่วน

คำสำคัญ : เทคโนโลยีสะอาด; ทรัพยากรการผลิต; ของเสีย; เส้นขนมจีน; ก๊าซเรือนกระจก

Abstract

The application of clean technology was applied to identify issues and root causes, as well as to propose and evaluate approaches for improving production process to reduce resource consumption and wastes in the Ta Mai Don Ya Nang rice vermicelli factory. Installation of thermal insulation and lid closure led to an 8.6% reduction in electricity consumption. Water consumption was reduced by 39.86% through modifications to the noodle washing equipment and by 40% in post-production cleaning processes. Additionally, the installation of a supporting sieve reduced rice noodle loss by 23.33%. These improvements contributed to cost savings and a proportional reduction in greenhouse gas emissions.

Keywords : cleaner technology; production resources; wastes; rice vermicelli; greenhouse gas emissions

บทนำ

โรงงานผลิตเส้นขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง ตั้งอยู่ที่ ตำบลนาทราย อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม นำเข้าแป้งขนมจีนและดำเนินการผลิตเส้นขนมจีนส่งขายในตลาดท้องถิ่นและร้านอาหารในจังหวัดนครพนมและรอบข้าง มีกำลังการผลิต 1 ,000 กิโลกรัม/วัน มีทรัพยากรสนับสนุนการผลิตหลักได้แก่ไฟฟ้าและน้ำประปา เกิดน้ำทิ้งและเส้นขนมจีนที่หลุดทิ้งจากการผลิตโดยไม่สามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการใหม่ได้ โยงใยสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission) จากการผลิตซึ่งกำลังเป็นที่ตระหนัก ทั้งนี้โรงงานขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง มีความต้องการที่จะลดต้นทุนด้านการใช้น้ำและพลังงานสำหรับการผลิต

เส้นขนมจีน เนื่องจากเล็งเห็นแนวโน้มของราคาพลังงานที่อาจจะสูงขึ้น และสร้างภาพลักษณ์การผลิตขนมจีนอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หากแต่กระบวนการผลิตมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมปัจจัยให้คงที่ตามวิธีการผลิตเฉพาะของโรงงาน โดยจากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าโรงงานยังไม่มีการวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณความเหมาะสมของการใช้ทรัพยากรสนับสนุนการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังปัจจุบันไม่สะดวกในการลงทุนปรับเปลี่ยนแหล่งพลังงานที่สามารถทำให้ประหยัดและโครงสร้างพื้นฐานในการหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในกิจการ จึงต้องการศึกษาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้คุ้มค่าและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดการลดความสิ้นเปลือง ลดของเสีย และใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology) ภายใต้แนวคิด เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว (The Bio-Circular-Green (BCG) Economy) เป็นแนวทางที่สามารถลดปัญหาต้นทุนและสร้างความยั่งยืนต่อ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม [1, 2] เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับเนื่องจากเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาในการผลิตที่ต้นเหตุ เทคโนโลยีสะอาดมีความสอดคล้องกับแนวคิด BCG ในส่วนของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนและระบบเศรษฐกิจสีเขียว เป้าหมายของเทคโนโลยีสะอาดได้เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและการลดของเสียที่แหล่งกำเนิดเป็นหลัก หรือการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเหลือทิ้งให้ต้องกำจัดน้อยที่สุด ด้วยทางเลือกการปรับเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนและวิธีการผลิต เครื่องจักร หรือ แหล่งพลังงาน โดยทางเลือกในการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนมีความสอดคล้องกับสาเหตุหลักของความไม่คุ้มค่าหรือสูญเสียในกระบวนการผลิต 4 ประเด็นหลัก ได้แก่ คน เครื่องจักร วิธีการ และ วัตถุดิบ อาจมีการประเมินสาเหตุจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้องอีกด้วย เทคโนโลยีสะอาดได้รับการประยุกต์ในกระบวนการผลิตอาหารประเภทเส้นที่คล้ายคลึงกัน ดังเช่น โรงงานผลิตเส้นขนมจีนหมักในจังหวัดศรีสะเกษประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production) ในการลดความสูญเปล่าสำหรับลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้ 5.21 % [3] ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตอันส่งผลต่อการลดใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ยังมีกรณีศึกษาการลดของเสียโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป [4] ซึ่งมีการประเมินข้อมูลการใช้ทรัพยากร ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต และของเสียที่เกิดขึ้น พบสาเหตุการสิ้นเปลืองน้ำล้างทำความสะอาดจากการไม่มีเกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพหลังการล้าง ส่งผลต่อเนื่องถึงพฤติกรรมการปฏิบัติงานรวมถึงข้อจำกัดของเครื่องจักร เมื่อใช้ทางเลือกการปรับปรุงโดยการกำหนดระเบียบปฏิบัติ การอบรมพนักงาน และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีเครื่องจักร สามารถลดการใช้น้ำล้างทำความสะอาดได้ 41.46 % ต่อเนื่องถึงการลดการใช้เวลาและน้ำยาล้าง นอกจากการลดการสูญเสียยังมีวิธีการนำสิ่งที่เป็นของเสียกลับเข้ามาสู่กระบวนการเพื่อลดการใช้ทรัพยากรใหม่ เช่น การลดการใช้น้ำในองค์กรโดยใช้ทางเลือกการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดกลับมาหมุนเวียนใช้ในระบบชักโครกห้องน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำได้ 45.16 % ระยะเวลาคืนทุนจากการใช้ทางเลือกปรับปรุงคุณภาพน้ำ 2 ปี 5 เดือน [5]

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่จะหาวิธีและแนวทางในการลดต้นทุนด้านทรัพยากรและการลดของเสีย รวมถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าสำหรับการผลิตเส้นขนมจีน ภายใต้ข้อจำกัดของการดำเนินกิจการของโรงงานดังกล่าว ดังนั้นสาเหตุของความสิ้นเปลืองและไม่คุ้มค่าของการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจะได้รับการวิเคราะห์ ตามขั้นตอนวิธีการของเทคโนโลยีสะอาด ต่อเนื่องด้วยการเสนอแนวทางการปรับปรุงที่สอดคล้องกับความสะดวกในการผลิตของโรงงานและการทดลองทางเลือกการปรับปรุงกระบวนการ พร้อมทั้งการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจในการวางนโยบายหรือลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยนให้โรงงานสามารถลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้การ ปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เปลี่ยนแปลงจากการปรับปรุงกระบวนผลิตจะได้รับการประเมินสำหรับประกอบการรายงานผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย เพื่อสร้างภาพลักษณ์และเพิ่มความสามารถการแข่งขันในอนาคต เกิดการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาข้อมูลการผลิตเบื้องต้น

ขั้นตอนกระบวนการผลิตและองค์ประกอบของกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนได้รับการประเมิน จำแนกประเภทของข้อมูลออกเป็น 4 ด้าน ตามลักษณะปัจจัยการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ ลักษณะของวัตถุดิบ เครื่องจักร วิธีการทำงาน/ข้อกำหนด และพฤติกรรมของพนักงาน นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกจะนำมาประเมินร่วมด้วย ปริมาณของวัตถุดิบ ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและทรัพยากรสนับสนุนการผลิต ตลาดจนของเสียที่เกิดขึ้น จะได้รับการวัดปริมาณการใช้หรือปริมาณที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบต่อหน่วยกำลังการผลิตเส้นขนมจีน โดยมีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่การเริ่มต้นผลิตจนถึงได้เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมส่งขายและกิจกรรมสนับสนุนกระบวนการผลิต เช่น การเตรียมสภาพแวดล้อม และ การกำจัดของเสีย

2. การระบุปัญหาการสิ้นเปลืองหรือความไม่คุ้มค่าในการผลิต

พิจารณาปริมาณการใช้ทรัพยากรและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์ประเด็นความสิ้นเปลืองหรือไม่คุ้มค่าในการผลิต ทำการสังเกตลักษณะของปัญหาความสูญเสียหรือไม่คุ้มค่าในขั้นตอนการผลิตและพิจารณาสาเหตุการเกิดของปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Ishikawa Diagram) [6] ในการจำแนกสาเหตุหลักของปัญหาตามปัจจัยองค์ประกอบ 5 ด้านดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อการศึกษาข้อมูลผลิตเบื้องต้น ทำการพิจารณาสาเหตุรองในแต่ละหมวดหมู่ของสาเหตุหลักให้ลึกที่สุดเพื่อการวิเคราะห์วิธีการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาอย่างสอดคล้องกับสาเหตุ

3. การวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาและการประเมินการใช้ทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการ

แนวทางการแก้ไขปัญหาและการพัฒนาได้รับการนำเสนออย่างสอดคล้องกับสาเหตุรองที่วิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา โดยการหาข้อมูลด้านทฤษฎี และตัวอย่างการปฏิบัติที่ดี ในอุตสาหกรรมที่คล้ายคลึงกัน แนวทางที่เสนอแนะจะได้รับการประเมินกลั่นกรองความเป็นไปได้และความสะดวกในการเลือกใช้ทางเลือกร่วมกับฝ่ายบริหารของโรงงานอีกครั้งเพื่อทำการทดลอง

4. **การทดลองใช้ทางเลือกและการประเมินผล**

ทางเลือกการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ผ่านการตัดสินใจเลือกร่วมกับทางโรงงานจะได้รับการติดตั้งอุปกรณ์หรือกำหนดวิธีการปฏิบัติใหม่ และทำการทดลองเพื่อหาความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้นภายหลังจากการใช้ทางเลือกการปรับปรุง ในกรณีที่ปริมาณการใช้ทรัพยากรและปริมาณของเสียลดลง ทางเลือกจะได้รับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการดำเนินการร่วมด้วย

5. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงหลังจากการใช้ทางเลือกปรับปรุงกระบวนการผลิต คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณทรัพยากรและของเสียที่เปลี่ยนแปลง และ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามสมการ (1) [7]

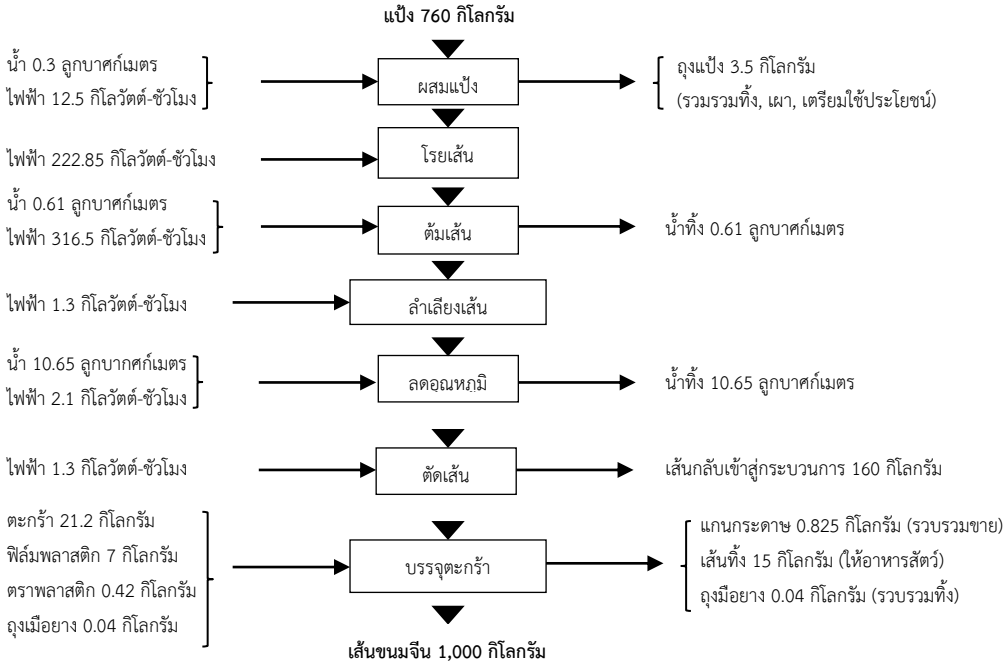
$$\text{GHG Emission} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

GHG Emission	คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ $KgCO_2e$)
Activity Data (AD)	คือ ข้อมูลกิจกรรม (หน่วยปริมาณวัดได้ของกิจกรรม)
Emission Factor (EF)	คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($KgCO_2e$ /หน่วยปริมาณวัดได้ของกิจกรรม)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. กระบวนการผลิต การใช้ทรัพยากร และการเกิดของเสีย

กระบวนการผลิตเส้นขนมจีนของโรงงาน สามารถระบุขั้นตอนการผลิต พร้อมทั้งปริมาณวัตถุดิบและทรัพยากร ขาเข้า ขาออก และของเสียที่เกิดขึ้นได้ ภายใต้กำลังการผลิตเส้นขนมจีน 1,000 กิโลกรัม/วัน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน ปริมาณวัตถุดิบ ทรัพยากร และของเสีย

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรไฟฟ้าอำนวยความสะดวกและน้ำล้างทำความสะอาดโรงงานต่อการทำงานที่กำลังการผลิตเส้นขนมจีน 1,000 กิโลกรัม/วัน เช่นกัน พบว่ามีการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างโรงงาน พัดลม และ ไฟฟ้าสูบน้ำทิ้ง เท่ากับ 1.4 3.3 และ 0.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ และใช้น้ำล้างทางความสะอาด 1.25 ลูกบาศก์เมตร และกลายเป็นน้ำทิ้งทั้งหมด

2. การระบุปัญหาการสิ้นเปลืองหรือความไม่คุ้มค่าในการผลิต

ลักษณะของปัญหาการสิ้นเปลือง ความไม่คุ้มค่าในการผลิต และต้องการปรับปรุง สามารถระบุลักษณะของสาเหตุที่สอดคล้องกับสาเหตุหลัก ซึ่งพบสิ่งที่ต้องการปรับปรุง 3 ประเด็น จากจุดสังเกตที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ การใช้ไฟฟ้ามาก การใช้น้ำและการเกิดน้ำเสียมาก และการมีเส้นขนมจีนเสียทิ้งจำนวนมาก ซึ่งมีลักษณะดังนี้

2.1 การใช้ไฟฟ้ามาก

ในฤดูหนาว สาเหตุภายนอกจากสิ่งแวดล้อมภายนอกส่งผลต่อสาเหตุด้านวัตถุดิบ กล่าวคือ น้ำมีอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อการต้มน้ำสำหรับต้มเส้นที่ใช้เวลานาน สาเหตุด้านอุปกรณ์ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าของมอร์เตอร์ที่ใช้ลำเลียงเส้นให้ได้ความเร็วตามกำหนด จำนวนของตัวทำความร้อน (Heater) และกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ สำหรับการต้มและรักษาอุณหภูมิของน้ำ เพื่อการผลิตตามคุณภาพของโรงงาน ส่วนในสาเหตุด้านวิธีการจัดการพบว่าต้องเปิดเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นเส้นขนมจีนและสูบน้ำเสียทิ้งตลอดเวลา

2.2 การใช้น้ำและทิ้งเป็นน้ำเสียมาก

สาเหตุด้านวัตถุดิบ น้ำซึ่งมีอุณหภูมิตามบรรยากาศ หากอุณหภูมิสูงอาจเย็นไม่พอในการลดอุณหภูมิเส้นขนมจีน ทำให้ต้องใช้น้ำเยอะ ในด้านวิธีการผลิต ต้องใช้น้ำแรงที่ระดับล้างเมืองของเส้นขนมจีนได้ อย่างไรก็ตามโรงงานยังไม่มีการประเมินความเหมาะสมของปริมาณและระดับความแรงของการใช้น้ำล้างเส้นลดอุณหภูมิ ในส่วนของการล้างทำความสะอาดโรงงาน ยังไม่มีการประเมินการใช้เวลาและปริมาณน้ำใช้ที่เหมาะสมเช่นกัน อีกทั้งยังไม่มีระบบหมุนเวียนน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์ทดแทน จำเป็นต้องสูบน้ำทิ้งออกจากโรงงานทั้งหมด

2.3 มีเส้นขนมจีนทิ้งเยอะ

ในกระบวนการตัดเส้นขนมจีนซึ่งเป็นวัตถุดิบ บางเส้นมีความสั้นไม่สามารถจับออกได้ จึงติดกับอุปกรณ์ตกทิ้งไป ด้านอุปกรณ์เครื่องจักร สายพานลำเลียงเส้นไม่มีขอบกั้น ไม่มีการรองตกของเส้น ทำให้เส้นตกลงพื้น ไม่สามารถนำกลับมาเข้าสู่กระบวนการได้ใหม่ ส่วนในด้านการปฏิบัติงานของพนักงาน อาจไม่มีความชำนาญหรือระมัดระวังเพียงพอในการจับเส้นบรรจุ ทำให้เส้นขาดหลุด จึงตกทิ้งเป็นจำนวนมาก

3. การเสนอแนะแนวทางที่สอดคล้องกับสาเหตุและแนวทางที่พิจารณาเลือกใช้

ทางเลือกการปรับปรุงที่มีความสอดคล้องกับสาเหตุที่ศึกษาจากหัวข้อข้างต้นได้รับการนำเสนอและพิจารณาร่วมกับทางโรงงาน หากแต่ยังมีข้อจำกัดด้านการจัดการและการลงทุน จึงพิจารณาคัดเลือกทดลองใช้เพียงทางเลือกตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการการผลิตที่พิจารณาเลือกใช้

สาเหตุ	สาเหตุย่อย	แนวทางการจัดการที่เลือกจัดทำ
เครื่องจักร	มีจำนวน Heater และกำลังไฟ Heater ที่ต้องใช้	ใช้ฉนวนกันความร้อน ติดหม้อต้ม รักษาอุณหภูมิ อาจลดการเปิด Heater ลงได้
	ไม่มีขอบกั้นเส้นตกจากสายพาน	ติดตั้งตาข่ายถี่รองรับการตกของเส้น
	จำนวนและขนาดของรูฉีดน้ำล้างเส้น ยังไม่ได้ทดสอบความเหมาะสม**	ลดขนาดและจำนวนของรูฉีดน้ำล้างเส้น ให้ใช้น้ำล้างน้อยลงแต่ได้ระดับความแรงที่ต้องการ**
วิธีการ	การทำความสะอาดหลังการผลิต ใช้เวลาและปริมาณน้ำ ยังไม่ได้ทดสอบความเหมาะสม	ปรับเปลี่ยนและวางแผนการล้างทำความสะอาดใหม่ ติดตั้งอุปกรณ์คุมน้ำที่ปลายสายยาง
	การเปิดน้ำล้างเส้น ไม่ได้ทดสอบความเหมาะสม	ทดสอบการปรับระดับน้ำล้างให้เบาลง ให้ได้อุณหภูมิและความแรง ถึงจุดที่เหมาะสมกับการล้างเส้น
	ต้องรักษาความแรง ล้างเมือกแป้ง	ทดสอบการปรับระดับน้ำล้างให้เบาลง ให้ได้อุณหภูมิและความแรง ถึงจุดที่เหมาะสมกับการล้างเส้น
	การต้มน้ำไม่ได้ปิดฝาหม้อทั้งหมด อาจทำให้สูญเสียความร้อน**	ปิดฝาหม้อต้มให้มิดชิดกว่าเดิมในระหว่างการต้ม

4. ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตจากทางเลือกที่พิจารณาเลือกใช้

4.1 การติดตั้งฉนวนหม้อต้มน้ำและปิดฝาหม้อระหว่างการต้ม

ก่อนการดำเนินงาน หม้อต้มเส้นขนมจีนมีลักษณะเป็นอ่างสเตนเลสเปลือยและเปิดฝาหม้อต้มน้ำเพียง 2/3 ของปากหม้อ (รูปที่ 2a) จึงดำเนินการติดตั้งฉนวนเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว รอบหม้อต้มน้ำพร้อมกับปิดฝาหม้อต้มน้ำทั้งหมดในขณะเตรียมอุณหภูมิน้ำให้ได้ระดับการทำงานได้ (รูปที่ 2b) จากการวัดอุณหภูมิรอบนอกหม้อต้มน้ำพบว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ 40 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ยหลังจากการติดตั้งฉนวน ทำให้มีการเก็บกักความร้อนภายในมากขึ้นทำให้การต้มน้ำเพื่อเตรียมต้มเส้นขนมจีนใช้เวลาลดลง 20 นาที และลดจำนวนการใช้ Heater ลงได้ 1 ตัวตลอดระยะเวลาของกระบวนการผลิต สามารถลดการใช้ไฟฟ้าสำหรับการต้มเส้นขนมจีนลงได้ 8.6 % ประหยัดค่าไฟได้ 5,347.5 บาท/เดือน ระยะเวลาคืนทุน (จากเพียงการทดลองลงทุน 1,000 บาท) ประมาณ 6 วัน เปรียบเทียบเป็นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 0.025 $KgCO_2e$





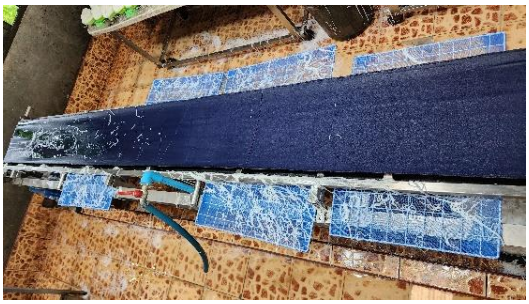
รูปที่ 2 การดำเนินงานก่อนและหลังติดตั้งฉนวนกันความร้อนหม้าต้มน้ำและการปิดฝาระหว่างการต้ม

4.2 การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ล้างเส้นขนมจีน

การเปิดน้ำล้างเส้นขนมจีนใช้ท่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว จำนวน 7 ท่อ เจาะรูเพื่อฉีดน้ำล้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิของเส้นขนมจีนและสามารถฉีดล้างเมือกที่ติดเส้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูประมาณ 1 มิลลิเมตร จำนวน 30-31 รู เส้นที่ผ่านกระบวนการล้างมีอุณภูมิที่ประมาณ 29 องศาเซลเซียส วัดอัตราการไหลของน้ำล้างได้ 0.63 ลิตร/นาที ทดลองปรับปรุงโดยการเปลี่ยนท่อ PVC ใหม่ (รูปที่ 3) โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร จำนวน 25 รู สามารถลดการเปิดวาล์วน้ำลงได้ แต่ ยังมีความแรงของน้ำในการล้างที่เหมาะสมใกล้เคียงกับก่อนการปรับปรุง ตรวจวัดคุณอุณหภูมิและคุณภาพของเส้นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมตามปกติ อัตราการไหลของน้ำล้างลดลงเหลือ 0.38 ลิตร/นาที ประหยัดน้ำได้ 39.68 % ประหยัดค่าน้ำ 1,512 บาท/เดือน ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 1.4 วัน (ค่าลงทุน 70 บาท) เปรียบเทียบเป็นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 0.003 $kgCO_2e$



รูปที่ 3 การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ฉีดล้างเส้น



รูปที่ 4 การติดตั้งตาข่ายรองรับเส้นตก

4.3 การติดตั้งตาข่ายถี่รองรับการตกของเส้น

โดยปกติในกระบวนการหยิบเส้นขนมจีนเข้าบรรจุมีเส้นตกออกลงสู่พื้นโดยไม่สามารถเก็บเข้าสู่กระบวนการใหม่อีกครั้ง วันละ 15 กิโลกรัม และต้องล้างไปกับน้ำทิ้ง เมื่อทำการติดตั้งตาข่ายถี่รองรับการตกของเส้น สามารถรองรับและนำกลับเข้าสู่กระบวนการใหม่ได้ประมาณ 3.5 กิโลกรัม/วัน (รูปที่ 4) หรือ 2,100 บาท/เดือน ระยะเวลาคืนทุน 2 วัน (ค่าลงทุน 150 บาท) กรณีนี้ไม่ได้ประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดของเสียเนื่องจากมีผู้รับเศษเส้นขนมจีนไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ทั้งหมด

4.4 การปรับเปลี่ยนขั้นตอนการล้างทำความสะอาดหลังเสร็จสิ้นการผลิต

การล้างทำความสะอาดพื้นที่หลังจากการผลิตในแต่ละวันยังไม่มีการวางแผนการล้าง การทำงานซ้ำซ้อนช่วยล้างทำความสะอาด อีกทั้งบางครั้งมีการล้างทำความสะอาดก่อนการผลิต เพื่อความสะอาดมากที่สุดตามความเห็นของพนักงาน ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาด 1.25 ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้ทำการวางแผนการล้างทำความสะอาดและติดตั้งอุปกรณ์ปลายสายยางเพื่อลดการเปิดน้ำทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ (รูปที่ 5) ดังนี้

1. พนักงานโซนงานจับเส้น เมื่อทำงานเสร็จแล้ว ไม่ต้องล้างสายพานและโต๊ะ ให้ล้างตัวแล้วออกจากพื้นที่ทำงานได้เลย
2. ทำการล้างพื้นที่ทำงานเมื่องานทุกอย่างเสร็จหมดแล้วเพียงครั้งเดียว

2.1 การล้าง ให้ใช้หัวปืนอัดแรงดันล้าง เป็นหลัก โดยล้างจาก หม้อต้ม สายพาน และโต๊ะ ล้างสิ่งที่อยู่เหนือพื้นให้เสร็จทั้งหมดก่อน ล้างส่วนพื้นที่ทำงานทุกส่วนให้เสร็จเพียงครั้งเดียว โดยไม่ล้างซ้ำซ้อน (รูปที่ 6)

2.2 การล้างพื้นให้ใช้ไม้รีดน้ำ ไล่เส้นที่ตกอยู่บนพื้นไปให้หมดก่อน โดยไม่ต้องใช้น้ำช่วย เมื่อเสร็จแล้วจึงใช้ปืนอัดแรงดันล้างพื้น เป็นขั้นตอนสุดท้าย (รูปที่ 7)

สามารถลดปริมาณน้ำได้ประมาณ 0.5 ลบ.ม./วัน (120 บาท/เดือน) ลดปริมาณน้ำล้างทำความสะอาดได้ 40% มีค่าใช้จ่ายการลงทุน ประมาณ 100 บาท ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 25 วัน เปรียบเทียบเป็นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 0.00024 $kgCO_2e$ และยังมีความสะอาดเพียงพอ



รูปที่ 5 อุปกรณ์ปลายสายยาง



รูปที่ 6 ปืนอัดแรงดัน



รูปที่ 7 แปรงรีดไล่น้ำ

สรุป

กระบวนการสืบหาสาเหตุของปัญหาความสิ้นเปลือง ความไม่คุ้มค่า การเกิดของเสีย และการเสนอทางเลือกปรับเปลี่ยนเพื่อลดการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต ที่สอดคล้องกับสาเหตุตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด ตลอดจนการทดลองปฏิบัติตามแนวทางที่พิจารณาเลือกใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต สำหรับโรงงานผลิตเส้นขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง สามารถลดการใช้ทรัพยากรไฟฟ้าจากกระบวนการต้มน้ำเส้นขนมจีนได้ 8.6 % ลดปริมาณการใช้น้ำจากกระบวนการล้างเส้นขนมจีน 39.86 % และลดการใช้น้ำล้างทำความสะอาดหลังการผลิตได้ 40 % และลดการสูญเสียเส้นขนมจีนทิ้งไปได้ 23.33 % ด้วยการติดตั้ง ปรับเปลี่ยน อุปกรณ์ และการวางแผนปรับปรุงวิธีการทำงาน อย่างสอดคล้องกับสาเหตุของปัญหาและเหมาะสมกับความต้องการของโรงงาน ส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายด้านทรัพยากรไฟฟ้าและน้ำ และลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 9,080 บาท/เดือน ตลอดจนสามารถประเมินเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 0.03 KgCO2e ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวอย่างการพิจารณาปรับปรุงกระบวนการในส่วนอื่น หรือเป็นขั้นตอนแนวทางในการศึกษาสาเหตุและวิธีการปรับปรุงอย่างสอดคล้องกับสาเหตุเพื่อความยั่งยืนในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงต่อไป ซึ่งนอกจากการลดทรัพยากรและของเสียที่แหล่งกำเนิดยังสามารถใช้วิธีการหมุนเวียนใช้การสูญเสียเข้าสู่กระบวนการหรือนำไปใช้ประโยชน์ประเภทอื่นเพื่อเพิ่มมูลค่ากลับสู่ธุรกิจหรือชุมชนโดยรอบโรงงาน และลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้ผลการประเมินการปล่อยลดก๊าซเรือนกระจกยังสามารถใช้ต่อยอดภาพลักษณ์ด้านการป้องกันมลพิษสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าของธุรกิจอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 5 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมภายใต้โครงการการยกระดับ SMEs ด้วยการประยุกต์ใช้โมเดลเศรษฐกิจ BCG ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567 ร้านอาหารและโรงงานผลิตเส้นขนมจีนตาหมาย ดอนยานาง สำหรับการดูแลและให้ความร่วมมือตลอดการศึกษา และขอขอบุคณคณะผู้ช่วยทำการศึกษาทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ม.ป.ป.. เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology-CT) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. https://greenindustry.diw.go.th/. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2568.

[2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ม.ป.ป.. BCG คืออะไร?. https://www.bcg.in.th/. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2568.

[3] กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และ ณัฐวุฒิ พลศรี. 2566. การประยกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน เพื่อลดระยะเวลากระบวนการผลิต กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสนขนมจีนหมัก. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย. 9(1): 21-28.

[4] มณีรัตน์ นกยุงทอง. 2562. เทคโนโลยีสะอาดสำหรับการลดของเสียในกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[5] วสรรณ์ กันเชื้อ, สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ, ปีติ พูนไชยศรี และ ปราโมช เชี่ยวชาญ. 2559. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดโดยนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ในระบบชักโครก: กรณีศึกษาบริษัทผลิตเครื่องประดับแห่งหนึ่ง. วารสารสุขภาพกับการจัดการสุขภาพ. 3(2): 39-50.

[6] Disrupt Technology Venture. ม.ป.ป.. แก้ปัญหาให้ตรงจุดด้วยวิธีง่าย ๆ กับ Why-Why สไตล์ญี่ปุ่น. https://www.disruptignite.com/blog/5-whys-or-why-why-analysis. สืบค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2568.

[7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การ มหาชน). 2565. ข้อกำหนดในการคำนวณและ รายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 6 (พิมพ์ครั้งที่ 8). องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.

20R2-11

การคายประจุแบตเตอรี่ประเภทลิเธียม NMC (แบตเตอรี่ลิเธียม-แมงกานีส- โคบอลท์-ออกไซด์) ขนาดเล็ก

LIBs Type NMC (Lithium Nikel Manganese Cobalt Oxide) Small Size Discharging Study

สุมณฑา พิทักษ์เทพสมบัติ[1] และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์[1*]
Sumonta Phithakthepsombat[1] and Nurak Grisdanurak [1*]
[1]นิสิตมหาบัณฑิตศึกษา หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120
[1*]ศาสตราจารย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ : 08 764 4243, E-mail : sumonta.phi@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การเตรียมแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาวะที่พร้อมถูกรีไซเคิล โดยการคายประจุแบตเตอรี่โดยการแช่แบตเตอรี่ในสารละลายที่นำไฟฟ้า เพื่อลดการเกิดอันตรายด้านความปลอดภัยในระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง และขั้นตอนการรีไซเคิลทั้งด้านทางกลทางเคมี และขั้นตอนการบด งานวิจัยนี้เป็นศึกษาการเปรียบเทียบการคายประจุแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ประเภทแบตเตอรี่ลิเธียม-แมงกานีส-โคบอลท์-ออกไซด์ NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) แรงดันไฟฟ้า 2 ขนาด คือ 1.2V และ 3.7V โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีแตกต่างกัน 5 ความเข้มข้น คือ น้ำ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% เปรียบเทียบกับเวลา 168 ชั่วโมง (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร, Wt/V) รวมถึงประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการคายประจุแบตเตอรี่ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการคายประจุแบตเตอรี่ ผลการศึกษาพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7 % เหมาะสมที่สุดในการคายประจุแบตเตอรี่โดยใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 48 ชั่วโมง ในแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และ 120 ชั่วโมง ในแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 1.2V และการใช้อัลตร้าโซนิค (Sonicate) ที่ความถี่ 59 Hz กำลังไฟฟ้า 120 Watt ทดสอบกับแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 3.7V ใช้เวลาการคายประจุแบตเตอรี่เฉลี่ยประมาณ 90 นาที และไม่มีการกัดกร่อนบริเวณขั้วของแบตเตอรี่ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะศึกษาโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) โดยใช้โปรแกรม LCA SigmaPro Analysis พบว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7 % ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาด้านการใช้ทรัพยากร เวลา ความปลอดภัย และผลกระทบสิ่งแวดล้อม สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7 % จึงเหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้

คำสำคัญ: การคายประจุแบตเตอรี่, แบตเตอรี่ลิเธียม-แมงกานีส-โคบอลท์-ออกไซด์, แบตเตอรี่

Abstract

Preparation of Batteries for Recycling Through Discharge Using an Electrolytic Solution To ensure that batteries are in a suitable condition for recycling, they must undergo a discharge process by immersion in an electrolytic solution. This step minimizes safety risks during storage and transportation. The recycling process involves mechanical, chemical, and crushing procedures. This study focuses on comparing the discharge efficiency of lithium-ion batteries (LIBs), specifically lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) batteries, with two voltage levels 1.2V and 3.7V. The discharge process was conducted using sodium chloride (NaCl) solutions at five different concentrations over a 168-hour period. Additionally, the study evaluates the environmental impact of battery discharge to determine the optimal discharge conditions. The results

indicate that a 7% sodium chloride solution is the most suitable for battery discharge, with an average discharge time of approximately 48 hours for 3.7V batteries and 120 hours for 1.2V batteries. Furthermore, an ultrasonic (sonicate) process was tested on 3.7V batteries using a frequency of 59 Hz and a power of 120 Watts, achieving full discharge within 90 minutes without causing electrode corrosion. The environmental impact assessment was conducted using Life Cycle Assessment (LCA) with SigmaPro Analysis software. The findings reveal that the 7% sodium chloride solution has the lowest environmental impact in terms of resource consumption, time efficiency, safety, and overall ecological footprint. Based on these considerations, the 7% sodium chloride solution is deemed the most effective and sustainable option for battery discharge in this study.

Keywords: Battery Discharge, Battery Lithium Nikel Manganese Cobalt Oxide, Battery.

บทนำ

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ได้รับความสนใจและได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในส่วนของระบบกักเก็บพลังงานที่สะอาดและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง อัตราการคายประจุต่ำ อายุการใช้งานยาวนาน และไม่มีมลพิษ ทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) เป็นตัวเลือกที่ต้องการสำหรับการใช้งานด้านพลังงานที่หลากหลาย [1] เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รถยนต์ไฟฟ้า (EV) การบิน และระบบกักเก็บพลังงาน อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) อาจจะมีเกิดการลัดวงจร (Thermal Runaway) ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม หากไม่สามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้น ความร้อนอาจจะสะสมอยู่ภายในแบตเตอรี่ ส่งผลทำให้อุณหภูมิสูง เกิดประกายไฟ ไฟไหม้และการเกิดระเบิด [2] ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่าน เกิดเหตุการณ์ไฟไหม้และการระเบิดที่เกิดจากแบตเตอรี่ลัดวงจร ตัวอย่างเช่น ในปี 2013 เหตุการณ์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนลัดวงจรบนเครื่องบินโบอิ้ง 787 ส่งผลให้เกิดเพลิงไหม้ สูญเสียทางเศรษฐกิจเป็นจำนวนมาก [3] ในเดือนเมษายน ปี 2019 ที่รัฐแอริโซนา สหรัฐอเมริกา ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ (ESS) ระเบิด ทำให้เจ้าหน้าที่ดับเพลิงได้รับบาดเจ็บ 8 ราย [4] ในเดือนเมษายน ปี 2021 เกิดเหตุการณ์โศกนาฏกรรมที่เกี่ยวข้องกับไฟไหม้และ การระเบิดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต Dahongmen ในกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน มีผู้เสียชีวิต 3 ราย นักดับเพลิง 1 รายได้รับบาดเจ็บ และความสูญเสียทางเศรษฐกิจประมาณ 16.6 ล้านหยวน [5] และปัจจุบันมีความต้องการใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ทั่วโลก คาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 700 GWh เป็น 4,700 GWh ระหว่างปี 2022 ถึงปี 2030 เมื่อความต้องการเพิ่มขึ้น จึงทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่หมดอายุการใช้งานและปริมาณซากแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า (xEV) เพิ่มมากขึ้น มีการคาดการณ์ว่าในปี 2032 ประเทศไทยจะมียานยนต์ไฟฟ้าสะสมถึงกว่า 22 ล้านคัน [6] ทำให้การรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในอนาคตแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ที่ใช้แล้วมีวัสดุอันตรายและคุณค่าของโลหะบางชนิดที่มีมูลค่าในทางอุตสาหกรรม เช่น ลิเธียม แมงกานีส โคบอลต์ นิกเกิล ทองแดง ฯลฯ และยังมีส่วนประกอบของวัตถุอันตรายอีกหลายชนิด ดังนั้นการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ที่ใช้แล้ว จึงมีความจำเป็นและเป็นประโยชน์ในด้านการลดการใช้ทรัพยากร สามารถช่วยลดการใช้พลังงานถ่านหิน (ฟอสซิล) ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจและการใช้วัสดุอันมีค่าโดยมีปริมาณจำกัด ในทางกลับกันอันตรายที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ที่ใช้แล้วส่วนใหญ่ เนื่องมาจากไฟไหม้และการระเบิดที่เกิดจากการลัดวงจร และปฏิกิริยาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) เมื่อหมดอายุการใช้งานก่อให้เกิดอันตรายด้านความปลอดภัยในระหว่างขั้นตอนการรีไซเคิลด้านทางกล ทางเคมี และขั้นตอนการบด เช่นเดียวกับระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง [7] เพื่อความปลอดภัยในการรีไซเคิลแบตเตอรี่ ขั้นตอนที่สำคัญ คือการเตรียมแบตเตอรี่ (Pre-Processing) ให้อยู่ในสภาวะที่พร้อมถูกรีไซเคิลโดยปราศจากความเสี่ยง การใช้วิธีการคายประจุแบตเตอรี่ให้หมด (Dismantling to cell level) โดยเริ่มจากการแยกส่วนแบตเตอรี่จนถึงเซลล์แบตเตอรี่ จากนั้นคายประจุแบตเตอรี่โดยแช่แบตเตอรี่ในสารละลายที่นำไฟฟ้า เช่น โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคาร์บอเนต กรดกำมะถัน กรดเกลือ หรือกรดไนตริก จนกระทั่งแบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าหมด ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลในขั้นตอนต่อไป [6]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบการคายประจุแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) ประเภท NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) แรงดันไฟฟ้า 2 ขนาด คือ 1.2V และ 3.7V โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์แตกต่างกัน 5 ความเข้มข้น (น้ำ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10%) เปรียบเทียบกับเวลา 168 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับเวลา รวมถึงประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการคายประจุแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ราคาไม่แพงในการกำจัดของเสียอันตราย และปลอดภัยที่สุด

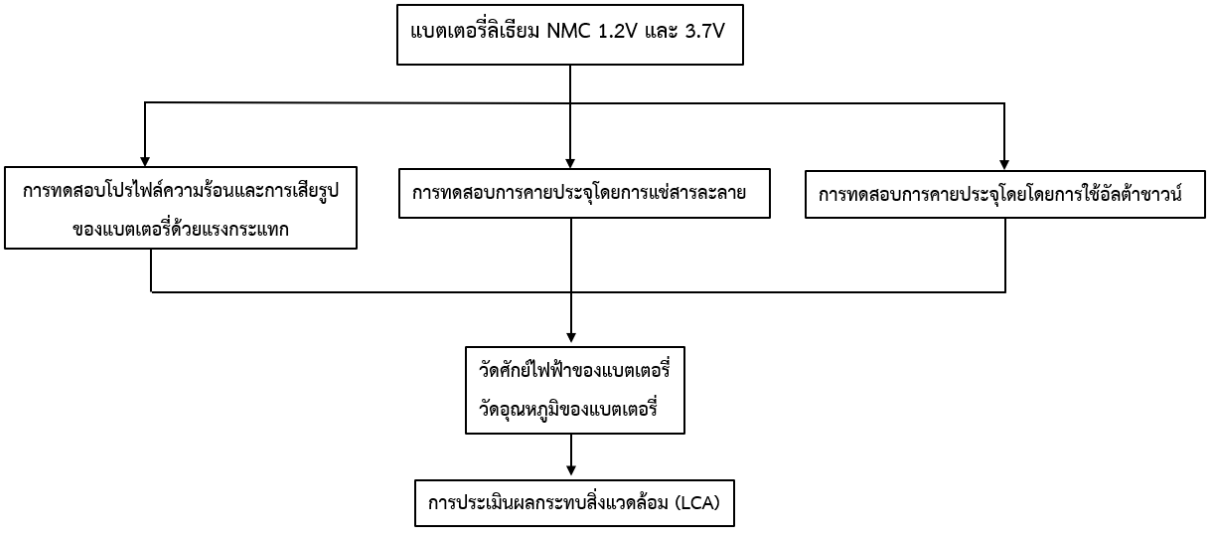
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

- แบตเตอรี่ลิเธียม-แมงกานีส- โคบอลท์-ออกไซด์ ขนาด1.2V และ 3.7V
- น้ำ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร, Wt/V)
- เครื่องเทอร์โมสแกน (Professional Thermal Imager) Uti165A
- เครื่องอัลตร้าโซนิก (Sonicate)
- Voltage Meter, Multimeter
- SigmaPro Program (LCA Analysis)

วิธีการศึกษา

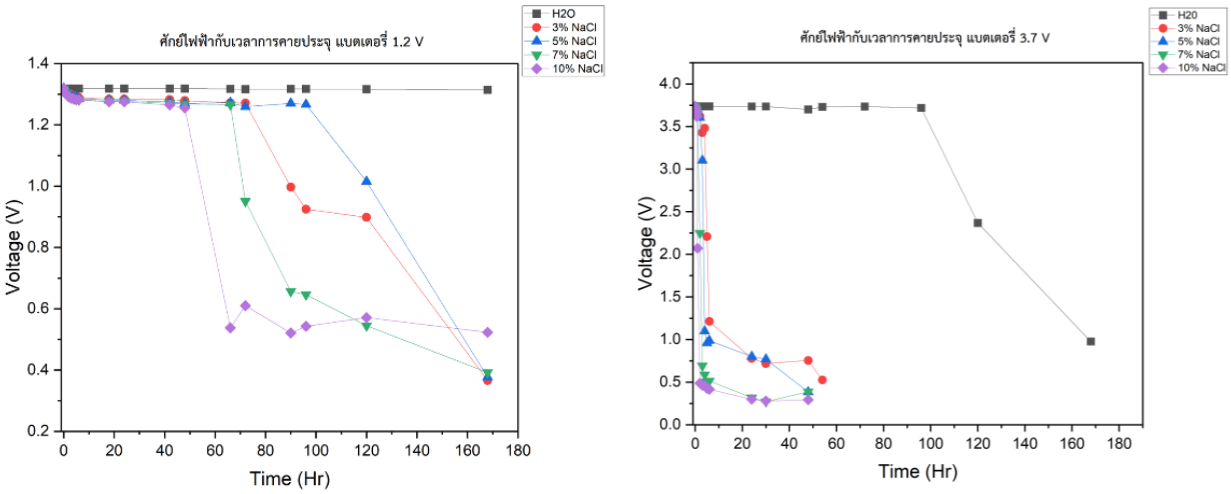
การศึกษาครั้งนี้ทดลองตั้งแต่ขั้นตอนการทดสอบโปรไฟล์ความร้อนและการเสียรูป (Impact Test) ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 1.2V และ 3.7V ด้วยแรงกระแทก วัดค่าศักย์ไฟฟ้า และอุณภูมิของแบตเตอรี่ จนค่าศักย์ไฟฟ้าและอุณภูมิของแบตเตอรี่คงที่ ขั้นตอนการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ลิเธียมโดยการแช่น้ำและสารสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3%, 5%, 7% และ 10% (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร, Wt/V) เป็นเวลา 168 ชั่วโมง วัดค่าศักย์ไฟฟ้า และอุณภูมิของแบตเตอรี่ ที่ 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง, 48 ชั่วโมง, 72 ชั่วโมง, 96 ชั่วโมง, 120 ชั่วโมง และ 168 ชั่วโมง ขั้นตอนการทดสอบการคายประจุโดยการใช้อัลตร้าโซนิก (Sonicate) การทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่โดยการใช้อัลต้าซาวน์ (Sonicate) ที่ความถี่ 59 Hz ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5% และ 7% (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร, Wt/V) วัดค่าศักย์ไฟฟ้า ที่ 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที, 60 นาที, 75 นาที, 90 นาที, 105 นาที และ 120 นาที ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของแบตเตอรี่ ทำการตรวจวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิค XRD และ XRF ดัง**รูปที่ 1** จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ศึกษาโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการคายประจุแบตเตอรี่ ด้วย Sigma Pro Program (LCA Analysis) เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการคายประจุแบตเตอรี่ลิเธียม-แมงกานีส- โคบอลท์-ออกไซด์



รูปที่ 1 วิธีการศึกษา

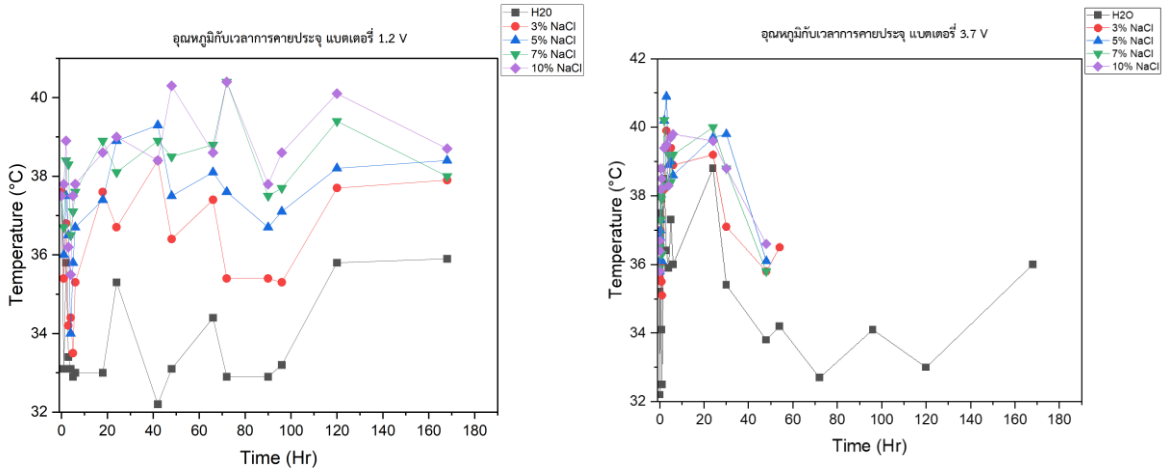
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ลิเธียม NMC 1.2V และ 3.7V โดยการแช่น้ำ และสารสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% เวลา 168 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5% และ 7% มีประสิทธิภาพในการคายประจุที่รวดเร็วและเหมาะสมที่สุด ดังแสดงใน**รูปที่ 2** และการทดสอบอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาการคายประจุแบตเตอรี่ พบว่าอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาการคายประจุแบตเตอรี่อยู่ในระหว่าง 32-41 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน**รูปที่ 3**



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าฟ้ากับเวลาในการคายประจุแบตเตอรี่ 1.2V และ 3.7V

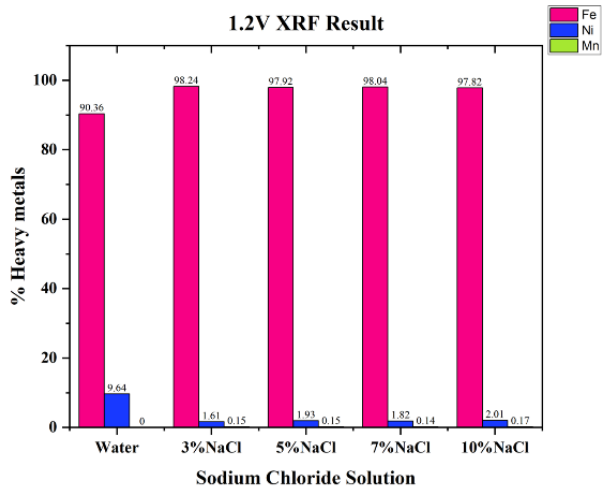
2. การทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ลิเธียม NMC 1.2V และ 3.7V ในสารสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5% และ 7% โดยอัลตร้าโซนิค (Sonicate) พบว่าการคายประจุด้วยอัลตร้าโซนิค การสั่นระดับโมเลกุลด้วยความถี่ 59 Hz กำลังไฟฟ้า 120 Watt ในสารสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7% สามารถคายประจุแบตเตอรี่ได้รวดเร็วภายใน 90 นาที



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกับเวลาในการคายประจุแบตเตอรี่ 1.2V และ 3.7V

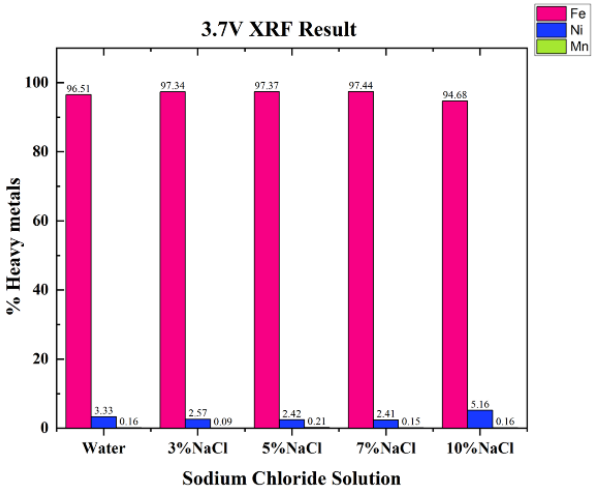
3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของแบตเตอรี่ ทำการตรวจวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิค XRD และ XRF

3.1 การวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์ X-Ray Fluorescence (XRF) ในตะกอนของแบตเตอรี่ 1.2V ในน้ำ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% พบว่าพบชนิดของโลหะ คือ เหล็ก (Fe) ประมาณ 90.36-98.24% นิกเกิล (Ni) ประมาณ 1.61-9.64% และแมงกานีส (Mn) ประมาณ 0-0.17% ดัง**รูปที่ 4**



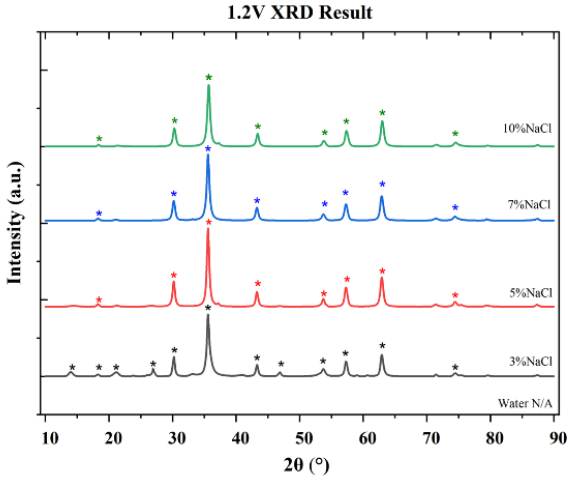
รูปที่ 4 การวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์ XRF ในตะกอนของแบตเตอรี่ 1.2V

และการวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์ X-Ray Fluorescence (XRF) ในตะกอนของแบตเตอรี่ 3.7V ในน้ำ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% พบว่าพบชนิดของโลหะ คือ เหล็ก (Fe) ประมาณ 94.68-97.44% นิกเกิล (Ni) ประมาณ 5.16-2.42% และแมงกานีส (Mn) ประมาณ 0.09-0.21% ดัง**รูปที่ 5**



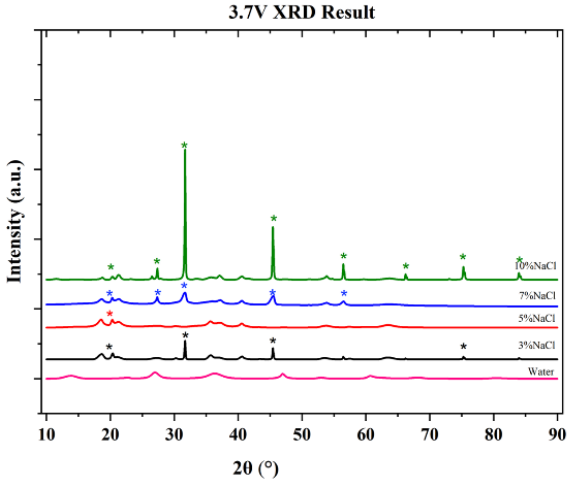
รูปที่ 5 การวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์ XRF ในตะกอนของแบตเตอรี่ 3.7V

3.2 การวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในตะกอนของแบตเตอรี่ 1.2V สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% (ในน้ำไม่สามารถตรวจวัดได้เนื่องจากปริมาณตะกอนมีจำนวนน้อยมาก) พบว่าพบชนิดของโลหะ คือ เหล็กออกไซด์ (Iron oxide) ในตะกอนของแบตเตอรี่ 1.2 V การคายประจุด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้น ดัง**รูปที่ 6**



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์ XRD ในตะกอนของแบตเตอรี่ 1.2V

และการวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในตะกอนของแบตเตอรี่ 3.7V ในน้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3%, 5%, 7% และ 10% พบว่าพบชนิดของโลหะ คือ เหล็กออกไซด์ (Iron oxide) ในตะกอนของแบตเตอรี่ 3.7V การคายประจุด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10% ดัง**รูปที่ 7**



รูปที่ 7 การวิเคราะห์ชนิดของโลหะด้วยเทคนิควิเคราะห์ XRD ในตะกอนของแบตเตอรี่ 3.7V

4. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะศึกษาโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการคายประจุแบตเตอรี่ ด้วย Sigma Pro Program (LCA Analysis) จากการคำนวนและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมพบว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7% เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคายประจุแบตเตอร์ที่สุด

จากการการศึกษาพบว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีศักยภาพในการคายประจุแบตเตอรี่โดยรวมแล้ว สามารถคายประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำแบตเตอรี่ไปรีไซเคิลขั้นตอนต่อไปอย่างปลอดภัยได้ แต่มีปัจจัยด้านอื่น ๆ เช่น เกิดก๊าซคลอรีน และเกิดการกัดกร่อนที่ขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้เกิดปัญหาด้านการตรวจวัดค่าศักย์ไฟฟ้า และเกิดตะกอนโลหะหนักในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

สรุป

สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7 % ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาด้านการใช้ทรัพยากร เวลา ความปลอดภัย และผลกระทบสิ่งแวดล้อม สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 7 % จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคายประจุแบตเตอร์ที่สุดในการศึกษาครั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนในด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang J, Guo Q, Liu S, Zhou C, Huang Z, Han D. Investigation on gas generation and corresponding explosion characteristics of lithium-ion batteries during thermal runaway at different charge states. Journal of Energy Storage. 2024;80.

[2] Shan T, Zhang P, Wang Z, Zhu X. Insights into extreme thermal runaway scenarios of lithium-ion batteries fire and explosion: A critical review. Journal of Energy Storage. 2024;88

[3] Andres C, Lauren H, Daniel P, and James S. The Boeing Company: The Grounding of the 787 Dreamliner. Journal of Organizational Behavior Education 8. 2015

[4] Lv Y, Geng X, Luo W, Chu T, Li H, Liu D, et al. Review on influence factors and prevention control technologies of lithium-ion battery energy storage safety. Journal of Energy Storage. 2023;72.

[5] Wang S, Wang Q, Xu L, Sun Y, Feng X, Wang H. A review on mechanisms, characteristics and relating hazards of vent gases from thermally abused Li-ion batteries. Journal of Energy Storage. 2024;84.

[6] รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย https://www.eppo.go.th/images/Infromation_service/studyreport/EV_plan.pdf (accessed November 11, 2020) สืบค้นวันที่ 11 กันยายน 2567

[7] Torabian MM, Jafari M, Bazargan A. Discharge of lithium-ion batteries in salt solutions for safer storage, transport, and resource recovery. Waste Manag Res. 2022;40(4):402-9

20R2-12

การแยกวัสดุปิดหลังแผงโซล่าเซลล์ ด้วยสารละลายอินทรีย์
Detachment Back Sheet (BS) from Photovoltaic (PV) Module by Organic Solvents

กานต์ธิดา เกิดดี[1*] และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์[2]
Kanthida Kerddee[1*] and Nurak Grisdanurak[2]
[1*]นักศึกษาปริญญาโท; [2]อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121
[*]E-mail : kanthidakerddee@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แยกวัสดุแผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ (Back Sheet) ออกจากตัวแผง เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการแยกองค์ประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปรีไซเคิลต่อไป พิจารณาผลการทดลองจากประสิทธิภาพการแยกออกที่ดีที่สุด โดยคำนวณจากร้อยละสัดส่วนของพื้นผิวที่มีการลอกออกต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวอย่าง รวมถึงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพร่วมด้วย จากการศึกษาพบว่าสารละลาย Ethyl Acetate ที่ความเข้มข้นบริสุทธิ์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 70°C เวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการแยกออกสูงสุดที่ร้อยละ 83.14 โดยวัสดุแผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์แยกออกจากส่วนที่เหลือของแผงอย่างชัดเจน ส่วนที่เหลือของแผงมีลักษณะคล้ายวุ้น เนื่องจากการบวมของชั้น Encapsulant ส่วนการแช่ตัวอย่างในสารละลาย Ethyl Acetate, Hexane, ไดเมททิลซัลฟอกไซด์ (DMSO), สารละลายบริษัท (NaSCN) ความเข้มข้นบริสุทธิ์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) ไม่เกิดผลใด ๆ กับตัวอย่าง ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ความสิ้นเปลือง เปรียบเทียบกับการจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเผาและการฝังกลบด้วย

คำสำคัญ : วัสดุแผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ประสิทธิภาพของการแยก, สารละลายอินทรีย์, เอทิลีนไวนิลอะซิเตด

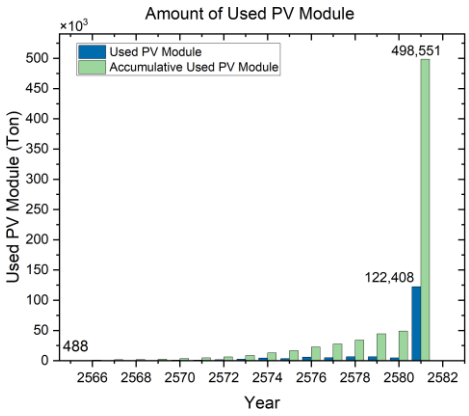
Abstract

This research aims to determine the optimal conditions for using organic solvents to separate the Back Sheet (BS) material of solar cells from the panel, as an alternative method for separating the components of solar panels for recycling. The effectiveness of the separation is evaluated based on the percentage of the surface area peeled off relative to the total surface area of the sample, along with considering physical changes. The study found that Ethyl Acetate solution at pure concentration, 100 ml volume, 70°C, for 3 hours, achieved the highest separation efficiency at 83.14%. The Back Sheet (BS) material of the solar cells was clearly separated from the rest of the panel, which appeared jelly-like due to the swelling of the encapsulant layer. Soaking the samples in Ethyl Acetate, Hexane, Dimethyl Sulfoxide (DMSO), and Sodium Thiocyanate (NaSCN) solutions at pure concentration, 100 ml, at room temperature (30°C) had no effect on the samples. Additionally, environmental impact and cost should be evaluated and compared with incineration and Secure Land Fill process.

Keywords : Back Sheet (BS), Photovoltaic Panel, Photovoltaic Module, Detachment Efficiency, Organic Solvent, Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

บทนำ

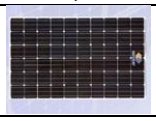
การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษามีความเหมาะสม แต่เมื่อพิจารณาถึงวงจรชีวิตซึ่งมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 20 - 25 ปี พบว่าอนาคตประเทศไทยจะประสบกับปัญหาขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ต้องจัดการในปริมาณมาก จากการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2565 – 2581 ประเทศไทยจะมีปริมาณขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะสมมากถึง 498,551 ตัน [1]



รูปที่ 1 ปริมาณขยะจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พ.ศ. 2565 - 2581

ปัจจุบันประเภทของแผงเซลล์ซิลิกอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ ชนิดผลึกซิลิกอนเชิงเดี่ยว (Monocrystalline) ชนิดผลึกซิลิกอนรวม (Polycrystalline) และชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) [2] [3] [4] แสดงดังตารางที่ 1 โดยแผงที่ได้รับความนิยมในการติดตั้งมากที่สุด คือ ชนิดผลึกซิลิกอนเชิงเดี่ยว (Monocrystalline) เนื่องจากมีประสิทธิภาพผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในพื้นที่จำกัด

ตารางที่ 1 ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประเภท	Monocrystalline	Polycrystalline	Thin Film
แผงเซลล์แสงอาทิตย์			
ลักษณะเซลล์	ลักษณะเซลล์สี่เหลี่ยมมุมตัด	เซลล์ไม่มีการตัดมุม	แผ่นบางเคลือบ
ข้อดี	- เหมาะกับการติดตั้งที่ที่มีพื้นที่จำกัด - ผลิตไฟได้ดีแม้แสงแดดน้อย	- กระบวนการผลิตง่าย ไม่ซับซ้อน - ทำงานได้ดีในที่อุณหภูมิสูง	- น้ำหนักเบา - ทนต่ออุณภูมิสูงได้ดีที่สุด
ข้อเสีย	หากแผงสกปรกมากๆ มีโอกาสเกิดไฟฟ้าลัดวงจร	อาจดูไม่สวยงาม เนื่องจากสีไม่เข้ากับสิ่งแวดล้อม	ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งเยอะ จึงจะคุ้มค่าในการติดตั้ง
ประสิทธิภาพ	15-20%	13-16%	7-13%
ราคา	แพงที่สุด	ปานกลาง	ถูกที่สุด
อายุการใช้งาน	25 ปีขึ้นไป	20 - 25 ปี	10 - 20 ปี

เมื่อพิจารณาแนวทางการจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางกฎหมายพบว่ามีข้อกำหนดสำหรับการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้ว ตามประกาศของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง มาตรการด้านการออกแบบติดตั้งและการจัดการขยะและของกากของเสีย สำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้วในประเทศ มีข้อกำหนดให้ต้องคัดแยกของเสียที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ ก่อนนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย (Secure Land Fill) หรือเผาทำลายด้วยเตาเผาเฉพาะของเสียอันตราย หรือจัดการด้วยวิธีอื่นตามกฎหมายว่าด้วยของกรมโรงงานต่อไป [5]

สอดคล้องกับการศึกษากระบวนการจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้วในปัจจุบันที่สามารถทำได้หลายวิธีการ ทั้งกระบวนการเชิงกล กระบวนการเคมี และกระบวนการความร้อน ในขณะเดียวกันประเทศไทยยังคงกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ คือ (1) มีการแยกชิ้นส่วนกรอบอลูมิเนียม และกล่องไฟฟ้า (Junction Box) ออกจากตัวแผง (2) นำแผงส่วนที่เหลือไปบด และ (3) นำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย (Secure Land Fill) ส่วนการจัดการแผงด้วยวิธีการรีไซเคิลยังอยู่ระหว่างการศึกษาความเป็นไปได้เพื่อจัดทำโรงงานต้นแบบในประเทศไทย โดยมีขั้นตอนการรีไซเคิล ดังนี้ (1) แยกชิ้นส่วนกรอบอลูมิเนียม และกล่องไฟฟ้า (Junction Box) ออกตัวแผง (2) เผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงเพื่อละลายชั้น EVA และวัสดุแผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ (Back Sheet) (3) แยกองค์ประกอบที่เหลือต่อด้วยเครื่องร่อน

ซิกแซกได้เป็น ซิลิคอนเวเฟอร์ (Silicon Wafer) แถบลวดนำไฟฟ้า กระจก และเถ้าหนัก (4) นำซิลิคอนเวเฟอร์ (Silicon Wafer) และเถ้าหนักไปผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อสกัดโลหะมีค่า (5) นำแถบลวดนำไฟฟ้าและกระจกที่แยกได้ ไปรีไซเคิลเพื่อใช้งานใหม่ได้ต่อไป [6]

จากการศึกษาองค์ประกอบของซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกระบวนการรีไซเคิล พบว่าแถบลวดนำไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีองค์ประกอบหลัก คือ ตะกั่ว (Pb) ดังนั้น การแยกวัสดุแผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์และชั้น EVA ออกจากชั้นของกระจกและชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการเผายังคงเป็นวิธีการที่อันตราย มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ รวมถึงมีการใช้พลังงานสูง หากไม่มีการจัดการหรือควบคุมระบบการเผาให้ได้มาตรฐานและมีความเหมาะสม

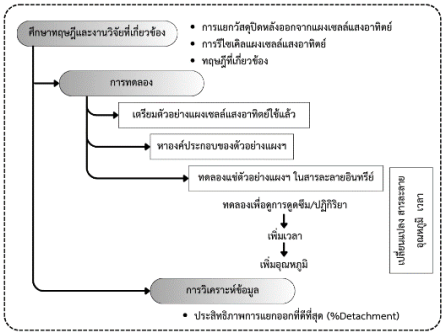
Krishan Kumar Patel. (2025) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไพโรไรซิสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิห้องจนถึง 450 ℃ 500 ℃ และ 550 ℃ ในสภาพแวดล้อมไนโตรเจน (N_2) เพื่อวิเคราะห์ก๊าซที่ปล่อยออกมา โดยมีการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) ร่วมกับแมสสเปกโตรสโกปี (MS) และสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดฟูเรียร์ (FTIR) ทั้งนี้ พบว่าก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไรซิสของ EVA ได้แก่ กรดอะซิติก, CO และ CO_2 ส่วนก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาไพโรไรซิสของ PVDF Back Sheet ได้แก่ CF_2, F_2, CH_2, $C2H_2$, และ C_2H_6 นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA พบว่าชั้น Encapsulant (EVA) และชั้น Back จะถูกเผาหายไปที่อุณหภูมิมากกว่า 500℃ ขึ้นไป [7]

Wahman et al. (2024) ได้ทำการศึกษาการแยกและนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุปิดหลัง (Back sheet) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (c-Si) โดยใช้เทคนิคมีดร้อน (Hot Knife Technique) ทดสอบตัวอย่างด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 100℃ ถึง 500℃ ประเมินประสิทธิภาพการแยกโดยใช้เทคนิค FTIR, TGA, SEM-EDS จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการแยก คือ 200℃ ให้ประสิทธิภาพการแยกที่ร้อยละ 99.42 [8]

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาทางเลือกในการแยกองค์ประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้ว โดยจะศึกษาการแยกออกของวัสดุแผ่นปิดด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Back Sheet) กับตัวแผงด้วยการใช้สารละลายอินทรีย์ เนื่องจากสารละลายอินทรีย์นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังมีเทคโนโลยีสำหรับบำบัดและจัดการมลพิษรองรับ รวมถึงมีราคาที่จับต้องได้ ทั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้ว ชนิดผลึกซิลิกอนเชิงเดี่ยว (Monocrystalline) เพื่อเป็นทางเลือกในการรีไซเคิลและแยกส่วนประกอบของแผงเซลล์อาทิตย์ โดยหลีกเลี่ยงการเผาในอุณหภูมิสูงต่อไป ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการให้ตัวทำละลายอินทรีย์แยกวัสดุแผ่นปิดด้านหลัง (Back Sheet) ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์และวิธีการ

งานนี้มีวิธีการวิจัยและวิธีการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 วิธีการวิจัยและวิธีการทดลอง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้วถูกเตรียมให้มีขนาดประมาณ 1.5 นิ้ว x 2 นิ้ว ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง จากนั้นทำการหาองค์ประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเผาที่อุณหภูมิ 550℃ เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นแยกกระจกออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ และชั่งน้ำหนักแยกระหว่างส่วนของกระจกและส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ องค์ประกอบทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

ตัวอย่างถูกทดสอบโดยแช่สารละลายอินทรีย์ มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 30℃, 50℃, 60℃ และ 70℃ และเวลา 1, 2, 3 ชั่วโมง ทั้งนี้ อุณหภูมิ 30℃ ทดสอบกับสารละลายอินทรีย์ 4 ชนิด เก็บข้อมูลที่ 1 และ 3 ชั่วโมง ต่อมาเพิ่มเวลาในการศึกษาสารละลายที่ได้ผลดีที่สุดเป็น 2, 4, 6 และ 8 วัน จากนั้นทดสอบโดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50℃, 60℃ และ 70℃ และเก็บข้อมูลที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง บันทึกผลและวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป และร้อยละประสิทธิภาพการแยกออก ค่าน้ำหนักที่

เปลี่ยนแปลงไป เก็บข้อมูลจากการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่สารละลาย และหลังหยิบตัวอย่างออกจากสารละลายแล้ว 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายอินทรีย์ระเหยจนหมด โดยคำนวณจากสมการ (1)

$$\Delta Weight = Weight_{After\ Treated} - Weight_{initial} \quad (1)$$

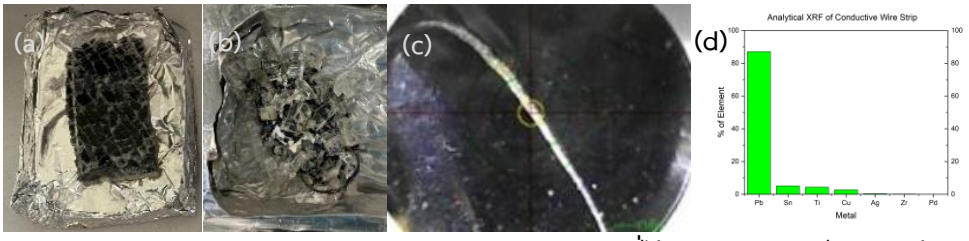
ร้อยละประสิทธิภาพการแยกออก เก็บข้อมูลจากการบันทึกภาพถ่ายพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของ Back Sheet หลังแช่สารละลาย และพื้นที่หน้าตัด Back Sheet ส่วนที่ยังคงยึดติดกับตัวแผง จากนั้นคำนวณพื้นที่หน้าตัดด้วยโปรแกรม Image J และคำนวณร้อยละประสิทธิภาพการแยกออก โดยคำนวณจากสมการ (2)

$$\%Detachment = \left(\frac{Full\ Area - Adhesive\ Area}{Full\ Area}\right) \times 100 \quad (2)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการหาองค์ประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้ว

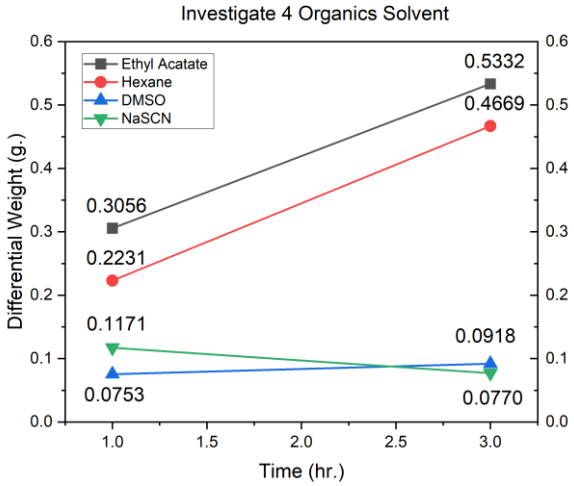
หลังจากเผาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 550°C พบว่าองค์ประกอบของแผงที่เป็นพอลิเมอร์ได้แก่ ชั้น Encapsulant และชั้น Back Sheet ถูกเผาไปจนหมด ได้ส่วนของแผงที่เหลือจากการเผา คือ (1) แถบลวดนำไฟฟ้า (2) กระจก และ (3) เซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 8 (b) และจากการวิเคราะห์แถบลวดนำไฟฟ้าด้วยเทคนิค XRF พบว่าแถบลวดนำไฟฟ้ามีองค์ประกอบหลักเป็นตะกั่ว (Pb)



รูปที่ 8 (a) ก่อนเผาตัวอย่าง (b) หลังเผาตัวอย่าง (c) ภาพถ่ายแถบลวด (d) กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์แถบลวดด้วยเทคนิค XRF

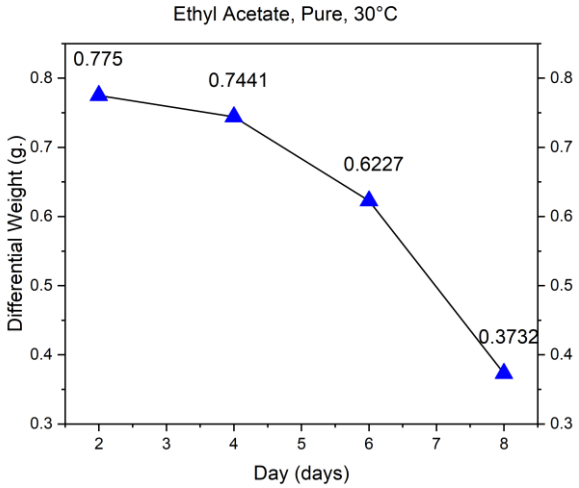
ผลการทดลองแช่ตัวอย่างในสารละลาย

จากการทดลองแช่ตัวอย่างในสารละลายอินทรีย์ 4 ชนิด พบว่าสารละลายที่ตัวอย่างสามารถดูดซึมได้ดีที่สุด คือ สารละลาย Ethyl Acetate โดยมีค่าความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังแช่สารละลาย (Δ Weight) ในหน่วยกรัม (g.) คำนวณจากสมการ (1) หลังแช่ 1 ชั่วโมง 0.3056 กรัม (g.) หลังแช่ 3 ชั่วโมง 0.5332 กรัม (g.) แสดงดังรูปที่ 10



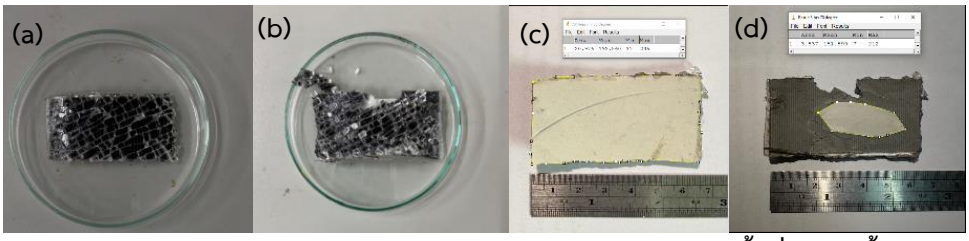
รูปที่ 10 ความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังแช่ด้วยสารละลาย 4 ชนิด

จากการทดลองแช่ตัวอย่างในสารละลาย Ethyl Acetate โดยเพิ่มเวลาเป็น 2, 4, 6 และ 8 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) พบว่าค่าความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังแช่สารละลาย (Δ Weight) มีค่าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 11 เนื่องจากส่วนของตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นพอลิเมอร์เกิดการอิ่มตัวและไม่สามารถดูดซึมสารละลาย Ethyl Acetate ได้เพิ่มขึ้น แม้จะเพิ่มเวลาในการดูดซึมให้นานขึ้นก็ตาม

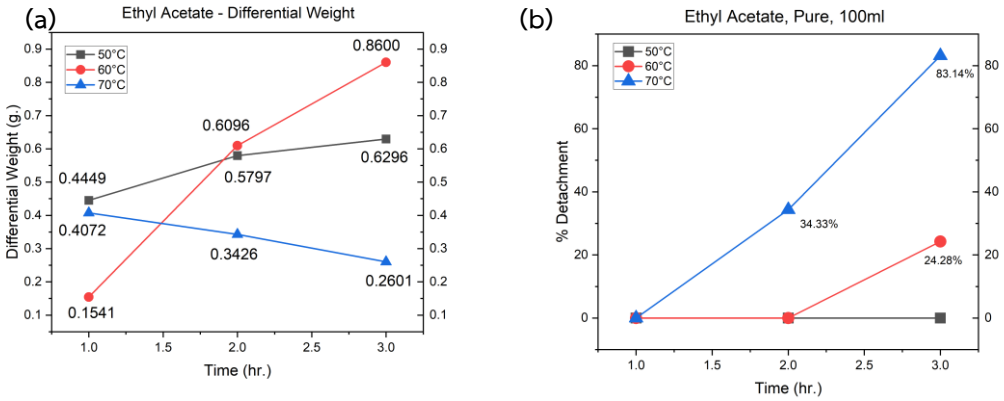


รูปที่ 11 ความแตกต่างของน้ำหนัก หลังแช่สารละลาย 2, 4, 6 และ 8 วัน

จากการทดลองแช่ตัวอย่างในสารละลาย Ethyl Acetate โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50°C 60°C และ 70°C และบันทึกข้อมูลที่เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิ 50°C และ 60°C แนวโน้มค่าความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังแช่สารละลาย (Δ Weight) มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเร่งการทำปฏิริยาระหว่างชั้น Encapsulant ชั้น Back Sheet กับสารละลายอินทรีย์ ทั้งนี้ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 50°C กราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ยังมีความชันต่ำ เนื่องจากยังกระตุ้นปฏิกิริยาได้ไม่เต็มที่ ส่วนอุณหภูมิ 60°C กราฟมีแน้วโน้มสูงขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่าอุณหภูมิ 60°C กระตุ้นปฏิกิริยาได้ดีและพอลิเมอร์ที่ดูดซึมยังไม่อิ่มตัว ส่วนอุณหภูมิ 70°C ชั้น Encapsulant ชั้น Back Sheet ดูดซึมจนอิ่มตัวแล้ว กราฟ Δ Weight จึงมีแนวโน้มลดลง และนอกจากนี้ยังพบว่าการแช่ตัวอย่างในสารละลาย Ethyl Acetate ปริมาตร 100 ml ความเข้มข้นบริสุทธิ์ อุณหภูมิ 70°C ที่เวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการแยกออกที่ดีที่สุดที่ร้อยละ 83.14 ดังแสดงในรูป 13 (b.) โดยจากลักษณะทางกายภาพพบว่าชั้น Encapsulant มีลักษณะเป็นเจลที่บวมขึ้น จนสามารถลอกชั้น Back Sheet ออกมาได้ และมีเศษกระจกหลุดออกจากตัวอย่างหลังแช่เล็กน้อย



รูปที่ 12 (a) ตัวอย่างก่อนแช่ (70°C, 3 ชม.) (b) ตัวอย่างหลังแช่ (70°C, 3 ชม.) (c) พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (70°C, 3 ชม.) (d) พื้นที่หน้าตัดส่วนที่ยึดติด (70°C, 3 ชม.)



รูปที่ 13 (a) Δ Weight ที่อุณหภูมิ 50°C 60°C 70°C (b) % Detachment 50°C 60°C 70°C

สรุป

การทดลองในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกวัสดุปิดหลัง (Back Sheet) ออกจากตัวแผง คือการแช่ตัวอย่างในสารละลาย Ethyl Acetate ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการแยกออกที่ร้อยละ 83.14 สำหรับขนาดตัวอย่างประมาณ 1.5 นิ้ว x 2 นิ้ว ทั้งนี้ ควรมีการประเมินค่าใช้จ่าย ความคุ้มค่า และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการแช่ตัวอย่างในสารละลายอินทรีย์เปรียบเทียบกับวิธีการเผาหรือฝังกลบ รวมถึงเปรียบเทียบกับขนาดแผงจริง และควรเพิ่มขอบเขตการวิจัย โดยเพิ่มประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา ได้แก่ Polycrystalline, Thin Film หรือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ หรือเพิ่มสารละลายที่ใช้ในการศึกษา นอกจากนี้อาจนำผลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบและศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แล้วในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2021, พฤษภาคม 5). ปัญหาขยะแผงโซลาร์ในอนาคตจัดการอย่างไร. สืบค้นจาก https://erdi.cmu.ac.th/?p=1671

[2] Tong55252. (2022, พฤษภาคม 30). แผงโซล่าเซลล์. สืบค้นจาก https://www.dekd.com/board/knowledge/4058908/

[3] BnB home. (2023, มกราคม 15). แผงโซล่าเซลล์มีกี่แบบ ติดตั้งสำหรับบ้านต้องแบบไหน. สืบค้นจาก https://www.bnbhome.com/th/articles/type-of-solar-panel

[4] SolarPPM. (2021, ตุลาคม 28). มารู้จัก ชนิดของ "แผงโซลาร์เซลล์" กันเถอะ. สืบค้นจาก https://solarppm.com/type-of-pv-panel/

[5] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2565). ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ว่าด้วยหลักเกณฑ์การจัดทำรายงานประมวลหลักการปฏิบัติ และรายงานผลการปฏิบัติตามประมวลหลักการปฏิบัติ สำหรับการประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2565. สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน.

[6] "แนวทางการจัดการแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่" (รายงานความก้าวหน้าโครงการรีไซเคิลแผง จุฬา, หน้า 8).

[7] Patel, K. K., & Mallick, S. (2025). Analysis of the degradation products of the organic materials present in the c-Si PV modules, emitted during a pyrolysis treatment and recycling strategy for circular and sustainable development. Circular Economy and Sustainability.

[8] Wahman, M., Surowiak, A., Ebin, B., & Berent, K. (2024). PV back sheet recovery from c-Si modules using hot knife technique. Solar Energy Materials & Solar Cells, 276, 113067.

20R2-13

การนำน้ำหล่อเย็นอัญมณีจากกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ

Reusing gems cooling water from the electron beam process

ธรรมสรณ์ ลำใย[1] และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ[2]
Thamasorn Lumyai[1] and Suchart Luangprasert[2]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ : 08-7076-9469, E-mail : thamasorn.l@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่น 3 ชนิด ได้แก่ Cation resin, Anion resin และ Cat-An Ion resin โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อพักระบบหล่อเย็นอัญมณี ภายในอาคารเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน ศูนย์ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานใหญ่ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำปนเปื้อนรังสีลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (Zero Waste) เป็นการป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Element impact : Environment) และยังสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยทางรังสีของชุมชนโดยรอบ ตามกฎกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2561 ว่าด้วยการจัดการกากกัมตรังสี กำหนดให้ผู้ดำเนินการแปลงรูปเพื่อใช้ใหม่และการใช้ซ้ำจากข้อมูลการศึกษาคุณภาพน้ำหล่อเย็นอัญมณีและประสิทธิภาพการปรับปรุงน้ำของระบบการกรองแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่น ซึ่งรวมถึงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูลการศึกษาคุณภาพน้ำหล่อเย็นอัญมณีและประสิทธิภาพการปรับปรุงน้ำแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่น 3 ชนิด โดยให้ Soft water เป็นเกณฑ์คุณภาพ พบว่าน้ำในระบบหล่อเย็นอัญมณี มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน มีค่า Cl- และ NO_3^- สูง เมื่อผ่านการบำบัดแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด พบว่า Cation resin มีประสิทธิภาพในการบำบัด EC และ pH ได้ดีที่สุด และมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 56 วัน ส่วน Cat-An Ion resin มีประสิทธิภาพในการบำบัดไอออนนิกในน้ำ (Ionic) ได้แก่ คลอไรด์ (Cl-) ไนเตรต (NO_3^-) ดีที่สุด และมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 75 วัน ส่วน Anion resin มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำที่สุด

ดังนั้น Cat-An Ion resin จึงเหมาะสมที่สุด ในการเป็นทางเลือกเพื่อนำมาพัฒนาต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และสามารถบำบัดน้ำหล่อเย็นอัญมณีในระบบให้อยู่ในเกณฑ์อ้างอิงได้ในทุกพารามิเตอร์

ในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมนั้น สามารถทำให้น้ำแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในขณะเดียวกันก็จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ซึ่งเป็นสภาวะที่เพิ่มความเป็นกรดของน้ำอยู่แล้ว ซึ่งในการบำบัดแบบแลกเปลี่ยนประจุโดย Cat-An Ion resin ยังคงค่า pH เป็นกรดอ่อนอยู่

คำสำคัญ : อัญมณี; น้ำหล่อเย็น; อิเล็กตรอนบีม; เรซิ่น; นำกลับมาใช้ซ้ำ

Abstract

This study presents the efficiency of ion exchange system with 3 types of resins: Cation resin filter, Anion resin filter and Cati-An Ion resin filter by collecting samples from the water reservoir of the jewelry cooling system in the Electron Accelerator Building, Irradiation Center, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Headquarters, Ongkharak District, Nakhon Nayok Province. The objective is to develop a prototype for reusing gems cooling water from the electron beam process. The study of the quality of gems cooling water and the efficiency of water improvement of the ion exchange resin system, including other related factors, the results of the study found that the water in the gems cooling system (UBC) is slightly acidic with an average pH of 5, while other parameters do not exceed the Soft water value set as the water quality improvement criteria in this research. And when filtered by ion exchange with all 3 resins, The cation resin has the best efficiency in treating EC and pH and has a lifetime of 56 days. Cat-An Ion resin has the best efficiency in treating ions in water (Ionic) Cl- NO3- and has a lifespan of 75 days. And Anion resin has the lowest efficiency. Therefore, Cat-An Ion resin is the most suitable alternative to develop a prototype of gems cooling water circulation in the electron beam process for reuse because it has a longer lifetime and can treat in all parameters. Only the pH value does not comply with the quality standards of the provincial waterworks. In the electron beam irradiation process, water can be broken down into hydrogen ions (H+), while carbon dioxide gas will dissolve in water into carbonic acid (H_2CO_3) and break down into bicarbonate (HCO_3^-), which is a condition that increases the acidity of the water anyway.

Keywords : gems; coolant; electron beam; resin; reuse

บทนำ

กระบวนการฉายอิเล็กตรอนเป็นการเติมประจุลบพลังงานสูงลงไปในน้ำ เมื่อผ่านการใช้งานไปช่วงเวลาหนึ่ง น้ำในระบบจะมีความเป็นกรดมากขึ้น, คลอไรด์ (Cl-) และ ไนเตรต (NO_3^-) มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดมลทินในอัญมณี (Nassau K, 2001) ซึ่งแก้ไขโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบหล่อเย็นทุกสัปดาห์ และเนื่องจากเป็นน้ำที่ปนเปื้อนทางรังสีจึงไม่อาจปล่อยทิ้งสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะได้ ต้องรอเวลาให้รังสีสลายตัวอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ตามกฎกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2561 ว่าด้วยการจัดการกากกัมตรังสี โดยกำหนดหลักเกณฑ์ให้ผู้ดำเนินการแปลงรูปเพื่อใช้ใหม่ และการใช้ซ้ำ

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ เพื่อควบคุมน้ำปนเปื้อนรังสีไม่ให้ลงสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ (Zero Waste) ซึ่งเป็นการป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Element impact : Environment) และยังสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยทางรังสีของชุมชนโดยรอบ รวมถึงกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมที่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง โดยไม่ต้องหยุดเดินเครื่องรอเวลาให้รังสีสลายตัวเพื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำหล่อเย็นในระบบ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีต่อองค์กร

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาเพื่อพัฒนาต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ ดำเนินการศึกษาวิจัยในช่วงเดือน เมษายน พ.ศ. 2567 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2567 โดยเก็บตัวอย่างจากบ่อพักน้ำของระบบหล่อเย็นอัญมณีภายในอาคารเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นำมาบำบัดในระบบการกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่น 3 ชนิด ได้แก่ 1) Cation resin (H+) filter cartridge 2) Anion resin (OH-) filter cartridge และ 3) Cation-Anion filter cartridge จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบการกรองแบบแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การเก็บตัวอย่างน้ำ

วัดปริมาณรังสีในบ่อน้ำตัวอย่างด้วย Survey meter ซึ่งเครื่องวัดอ่านค่าได้ 54 μSv/h เป็นค่ารังสีมีความปลอดภัยในการทำงาน [2.] จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อพักของระบบหล่อเย็นอัญมณี ด้วยวิธีการจ้วงเก็บที่ระดับความลึกจากผิวน้ำประมาณ 30 cm และเก็บตัวอย่างน้ำประปาในอาคารเพื่อนำผลวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกัน โดยเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง/วัน ทั้งหมด 5 วัน ดังแสดงในรูปที่ 1

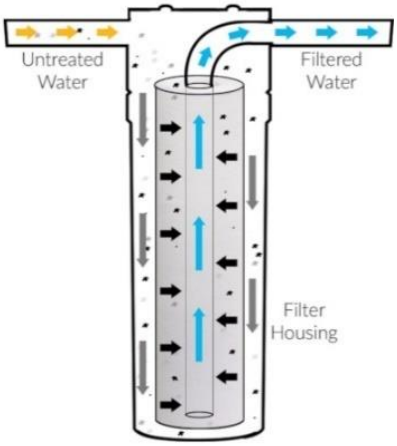


รูปที่ 1 บ่อพักน้ำหล่อเย็นอัญมณีที่เก็บตัวอย่าง และ Survey meter ที่ใช้วัดปริมาณรังสีในบ่อพักน้ำที่อยู่ภายใน Bunker

การทดสอบประสิทธิภาพการกรองคาร์ทริดจ์แบบแลกเปลี่ยนประจุ

นำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อพักระบบหล่อเย็นอัญมณีมาใส่ในอ่างสำหรับการทดลองประมาณ 50 ลิตร ติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่มีอัตราการไหล 5,500 ลิตร/ชั่วโมง สำหรับจ่ายเข้าในระบบการกรองด้วยเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด คือ Cation resin filter, Anion resin filter และ Cation-Anion resin filter ตามลำดับ โดยทุกครั้งน้ำตัวอย่างต้องผ่านการกรองคาร์บอนก่อนการกรองขั้นถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2





รูปที่ 2 เครื่องกรองคาร์ทริดจ์พร้อมไส้กรองทั้ง 3 ชนิด และแสดงขั้นตอนการไหลของน้ำผ่านเครื่องกรองคาร์ทริดจ์
ที่มา: https://coolplanetwater.com

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการกรองของเรซิ่น

ตรวจวัดค่า EC และ pH ด้วยเครื่องวัดแบบพกพา รวมทั้งตรวจวิเคราะห์ไอออนนิค (Ionic) ของสารประกอบที่ละลายในน้ำ ด้วยเครื่อง Ion Chromatography โดยตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์จะอยู่ในสภาวะคงที่ (Stady state) ของระบบการกรองพร้อมกับนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกรองของเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด

ประเมินหาอายุการใช้งาน และการเสื่อมสภาพของเรซิ่น โดยใช้ค่า EC และ pH โดยใช้ Soft water เป็นเกณฑ์คุณภาพในงานวิจัยนี้ [3.] ส่วนค่า EC อ้างอิงจากสูตรความสัมพันธ์ TDS = EC/k โดยที่ k = 0.55 คือค่าคงที่ของน้ำใช้อุปโภค-บริโภค [4.] เพื่อประเมินวิธีการบำบัดน้ำที่มีความเหมาะสมในการนำมาพัฒนาเป็นต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีม กลับมาใช้ซ้ำ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์เฉพาะสารละลายในน้ำที่มีประจุเป็นลบ (Ion-) คลอไรด์ (Cl-) และ ไนเตรต (NO_3^-)เท่านั้น เนื่องจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมพลังงานสูงไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสารละลายในน้ำที่มีประจุเป็นบวก (Ion+) จึงไม่ส่งผลกระทบต่ออัญมณีและน้ำหล่อเย็นในระบบแต่อย่างใด เพราะฉนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นแต่ตัวแปรที่ทำให้เกิดมลทินที่อัญมณีในน้ำระบบหล่อเย็นเป็นหลัก

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าสารละลายในน้ำที่มีประจุบวก (Ion+) และประจุลบ (Ion-) จากเครื่อง IC

Sample	F-	Cl-	NO3-	SO4--	PO43-	Li+	Na+	Ca+	Mg+	K+
UBC	0.01	45.66	80.76	0.68	0.14	-	7.08	6.90	0.65	1.05
Soft	0.19	16.64	2.08	8.22	0.05	-	12.31	9.78	1.88	6.23

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าน้ำหล่อเย็นอัญมณี (UBC) มีสารละลายในน้ำประจุลบ (Ion-) มีค่าสูงกว่า Soft water และในทางกลับกัน สารละลายในน้ำประจุบวก (Ion+) ในน้ำหล่อเย็นอัญมณี มีค่าต่ำกว่า Soft water นั่นแสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่ทำให้เกิดมลทินอัญมณีในระบบน้ำหล่อเย็นคือสารละลายประจุลบที่ละลายในน้ำโดยเฉพาะ Cl- และ NO3-

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาเพื่อพัฒนาต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ ที่ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำคาร์ทริดจ์แบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่นสามชนิดคือ Cation resin filter (H+), Anion resin filter (OH-) และ Cation-Anion filter โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำกับ Soft water ทางเคมี (Ionic) และประเมินประสิทธิภาพการกรองของเรซิ่นแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบก่อนและหลังการกรองด้วยเรซิ่นทั้งสามชนิด

Sample	No.	Chemical Parameters			
		EC (µS/cm)	pH	Cl- (ppm)	NO3- (ppm)
UBC	1	93	5.13	80.554	81.007
	2	95	5.00	85.880	83.149
	3	93	4.94	85.660	80.760
	Average	93.667	5.023	84.031	81.639
Soft water	1	176	6.99	29.000	1.100
	2	222	7.08	17.238	5.585
	3	165	7.25	36.640	1.080
	Average	187.667	7.107	27.626	2.588
Cation	1	7	6.52	-	0.600
	2	8	6.68	-	0.600
	3	10	6.55	-	0.700
	Average	8.333	6.583	-	0.633
Anion	1	97	4.84	4.000	1.200
	2	111	4.86	5.000	1.100
	3	76	4.93	6.000	1.100
	Average	94.667	4.877	5.000	1.133
Cat-An Ion	1	58	5.36	-	0.800
	2	42	5.32	-	0.600
	3	48	5.42	-	0.900
	Average	49.333	5.367	-	0.767

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าระบบกรองน้ำคาร์ทริดจ์แบบแลกเปลี่ยนประจุชนิด Cation resin (H+) filter มีประสิทธิภาพการบำบัด EC, pH Cl- และ NO_3^- ได้ดีในทุกพารามิเตอร์ ในรูปแบบการกรอง Cation-Anion resin filter สามารถบำบัด Cl- และ NO_3^- ได้ดี ส่วนระบบการกรองแบบ Anion resin (OH-) filter จะมีประสิทธิภาพการกรองต่ำสุด

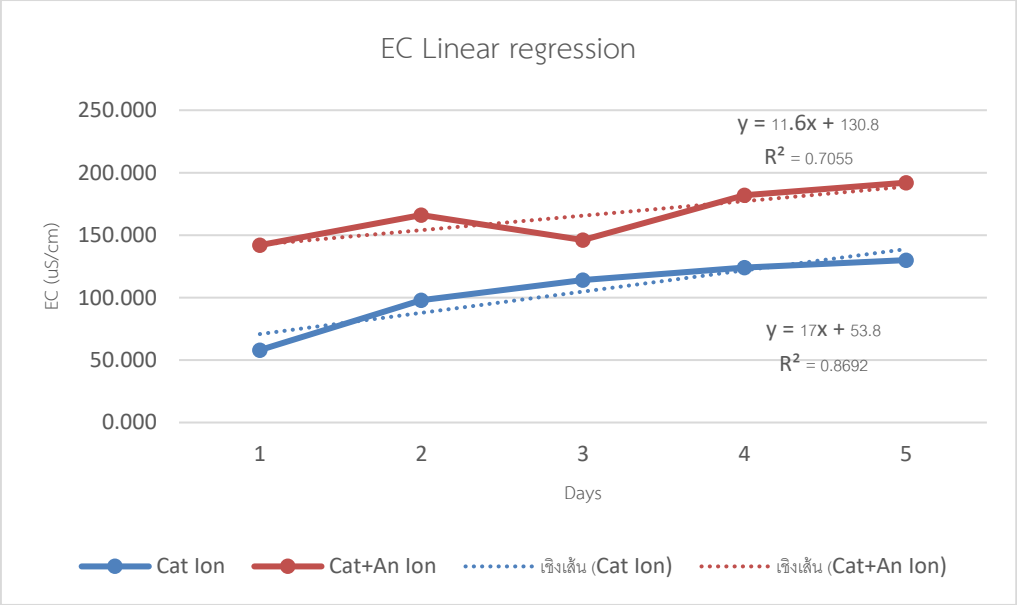
อายุการใช้งานของเรซิ่นในการบำบัดน้ำหล่อเย็นอัญมณี

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด ซึ่งระบบแลกเปลี่ยนประจุที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสองอันดับแรกคือ Cation resin (H+) filter cartridge และ Cat-An Ion filter cartridge มาทำการทดสอบการบำบัดอีกครั้ง โดยจ่ายน้ำตัวอย่างเข้าระบบด้วยอัตราการไหล 5,500 ลิตร/ชั่วโมง ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน และเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง/วัน ซึ่งการประเมินหาอายุการใช้งาน และการเสื่อมสภาพของเรซิ่น โดยใช้ค่า EC 1,000 µS/cm และ pH เป็นเกณฑ์ในการประเมิน เนื่องจากค่าไอออนพารามิเตอร์ (Ionic Parameter) ในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด มีคุณภาพที่ดีกว่า Soft water โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่า EC ระหว่าง Cation resin และ Cat-An Ion resin

Date No.	EC Parameter	
	Cation (µS/cm)	Cat-An Ion (µS/cm)
1	58.000	142.000
2	98.000	166.000
3	114.000	146.000
4	124.000	182.000
5	130.000	192.000

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า EC ของน้ำหล่อเย็นอัญมณีเมื่อผ่านการกรองด้วย Cation resin และ Cat-An Ion resin ในสภาวะคงที่ (Stady state) แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน นำมาคำนวณหาอายุการใช้งานด้วยโปรแกรม Linear regression ใน MS Excel โดยใช้ค่า EC เป็นเกณฑ์ประเมิน ซึ่งกำหนดให้ y = 1,000 (µS/cm) และ x = ระยะเวลาในการเสื่อมสภาพของเรซิ่น (Days) ตามสมการ y = ax + b ซึ่งผลการประเมินดังแสดงในรูปที่ 4



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่า EC ผ่านการกรองด้วย Cation resin และ Cation+Anion resin

จากรูปที่ 3 น้ำหล่อเย็นอัญมณีที่ผ่านการกรองด้วย Cation resin และ Cation+Anion resin ในสภาวะคงที่ (Stady state) แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน จะเห็นได้ว่าค่า EC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการกรองทั้งสองแบบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเรซิ่นทั้งสองชนิดทั้งสองขนิดมีอำนาจการกรองลดลง ซึ่งอายุการใช้งานในการบำบัด EC ของ Cation resin เท่ากับ 56 วัน และ Cat-An Ion resin เท่ากับ 75 วัน

สรุป

การศึกษาคุณภาพน้ำหล่อเย็นอัญมณีจากบ่อพักน้ำของระบบหล่อเย็น ภายในอาคารเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานใหญ่ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก โดยศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพของระบบการกรองน้ำแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด คือ Cation resin (H+), Anion resin (OH-) และ Cat-An Ion resin ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมในการบำบัดไอออนนิกที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะ Cl- ที่มีค่าไม่เกิน 27.626 ppm และ NO_3^-

ที่ไม่เกิน 2.588 ppm โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้ Soft water เป็นเกณฑ์คุณภาพอ้างอิง และพบว่าน้ำในระบบหล่อเย็นอัญมณี (UBC) มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน มีค่า Cl- และ NO_3^- สูงกว่า Soft water ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดมลทินในอัญมณี และเมื่อผ่านการบำบัดแบบแลกเปลี่ยนประจุด้วยเรซิ่นทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่า Cation resin มีประสิทธิภาพในการบำบัด EC และ pH ได้ดีที่สุด และมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 56 วัน ส่วน Cat-An Ion resin มีประสิทธิภาพในการบำบัดไอออนนิกในน้ำ (Ion-) ได้ดีที่สุด และมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุดอยู่ที่ 75 วัน ส่วน Anion resin มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

ดังนั้น Cat-An Ion resin จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการเป็นทางเลือกเพื่อนำมาพัฒนาต้นแบบการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นอัญมณีในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมกลับมาใช้ซ้ำ เนื่องจาก Cat-An Ion resin มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และสามารถบำบัดหล่อเย็นอัญมณีในระบบได้ในทุกพารามิเตอร์ มีเพียงค่า pH เท่านั้นที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของ Soft water ซึ่งในกระบวนการฉายอิเล็กตรอนบีมนั้น สามารถทำให้น้ำแตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน (H+) และในขณะเดียวกันก็จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H2CO3) และแตกตัวเป็นไบคาร์บอเนต (HCO3-) ซึ่งเป็นสภาวะที่เพิ่มความเป็นกรดของน้ำอยู่แล้ว ดังนั้นน้ำที่เป็นกรดอ่อนจึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบหล่อเย็นอัญมณี ในขณะที่ Cation resin มีจุดเด่นในการบำบัด EC และ pH เพียงเท่านั้น ส่วน Anion resin มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำต่ำที่สุดในทุกพารามิเตอร์

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาในส่วนของพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้น และทำการศึกษาในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาในอนาคตหรือการนำไปใช้งาน ควรพิจารณาในส่วนของประสิทธิภาพการกรอง และพารามิเตอร์อื่นๆมาประกอบเพิ่มเติม เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานคุณภาพน้ำอุปโภค-บริโภคกำหนด รวมทั้งการเสื่อมสภาพ และการจัดการเรซิ่นที่มีการปนเปื้อนรังสีต่ำ จากการบำบัดน้ำหล่อเย็นอัญมณี

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ รวมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ผู้วิจัยจึงขอ กราบขอบพระคุณอย่างสูง และขอขอบคุณบุคลากร และเจ้าหน้าที่ในสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนเครื่องมือ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1.] สถิตรัตน์ รอดอารี. 2559. เทคโนโลยีสะอาดและฉลากสิ่งแวดล้อม, บุรีรัมย์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, จังหวัดบุรีรัมย์.

[2.] สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข. 2555. ปริมาณรับรังสี, นครนายก. ฝ่ายจัดการองค์ความรู้ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก

[3.] Anna F Rusydi. 2018. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water, Research Center for Geotechnology, LIPI, Bandung, Indonesia

[4.] การประปาส่วนภูมิภาค. 2565. ปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค. การประปาส่วนภูมิภาค, กรุงเทพมหานคร

20R2-14

การนำเทคโนโลยี IoT(Internet of Things) มาใช้ติดตามและควบคุมค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสีย

The Application of IoT (Internet of Things) Technology for Monitoring and Controlling pH and Electric conductivity in Wastewater Treatment Systems

อาชวิศร ชื่นอารมย์[1] และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ[2]
Achavich Chuenarom[1] and Suchart Luangprasert[2]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ : 08-8789-6363, E-mail : achavich.c@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อนำเทคโนโลยี IoT (Internet of Thing) มาประยุกต์ใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียในการติดตามและควบคุมค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าในถังปรับสภาพน้ำจำลอง (Neutralization tank) เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำขาเข้าระบบบำบัดน้ำเสียให้ค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 ถึง 8.5 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแสดงค่าและควบคุมผ่านแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนที่ให้บริการโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามและควบคุมได้แบบเรียลไทม์ ผลจากการทดลองการนำเอาระบบ IoT เข้ามาติดตามค่า pH และค่าการนำไฟฟ้ารวมถึงการควบคุมปั๊มกรด-ด่างอัตโนมัติผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk พบว่าสามารถสามารถควบคุมการทำงานของปั๊มสารเคมีกรด-ด่างให้ทำงานตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ และแสดงค่าได้ใกล้ตรงกับเครื่องวัด (Meter) แบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมค่า pH ได้อย่างรวดเร็วและสามารถติดตามผลได้ผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk ซึ่งเพิ่มความสะดวกในการใช้งานในอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุมคุณภาพน้ำเสีย แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากความหน่วงในการส่งข้อมูลหรือการอัพเดทข้อมูลระหว่างแอพพลิเคชั่นและเซ็นเซอร์ ผลการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการขยายการทดลองไปยังระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมจริง และใช้พัฒนาฟังก์ชันแจ้งเตือนอัตโนมัติในแอพพลิเคชั่นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามและควบคุมสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงที

คำสำคัญ : Internet of Things; สมาร์โฟน; ค่าพีเอช; ค่าการนำไฟฟ้า; แอพพลิเคชั่น Blynk

Abstract

This study was conducted to apply IoT (Internet of Things) technology to a wastewater treatment system for monitoring and controlling pH levels and electrical conductivity in a simulated neutralization tank. The aim is to regulate the quality of influent wastewater by maintaining pH levels within the range of 6.5 to 8.5, which is optimal for microbial degradation of organic substances. The system's values and controls are displayed through a free smartphone application, enabling users to monitor and manage the process in real-time. The experimental results of integrating IoT for monitoring pH and electrical conductivity, as well as controlling acid and base pumps via the Blynk application, demonstrated that the system successfully operated the chemical pumps according to user-defined settings and displayed values close to those of conventional meters in real-time. This allows for rapid pH adjustments and real-time monitoring through the Blynk application, making it convenient for industries requiring wastewater quality control. However, minor discrepancies were observed, which could be attributed to data transmission delays or updates between the

application and sensors. These findings provide a foundation for expanding experiments to larger-scale wastewater treatment systems to verify the system's effectiveness in real-world environments and to develop an automatic alert function in the application, enabling users to promptly monitor and manage critical situations.

Keywords : Internet of Things; smartphone; pH; Electro conductivity; Application Blynk

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทั้งวิถีชีวิตและการทำงานของ มนุษย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและเพิ่มความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันในประเทศไทย โดยการพัฒนา เศรษฐกิจดิจิทัล และการนำเทคโนโลยี IoT มาใช้งานเริ่มขึ้นอย่างจริงจังต้องแต่ปี พ.ศ. 2555 [1] โดยเฉพาะในยุค Thailand 4.0 ซึ่งมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรมในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มคุณค่าและตอบสนองความต้องการของตลาดโลก

เทคโนโลยี IoT ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้านรวมถึงการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทำให้ ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการบำบัดได้อย่างเรียลไทม์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ลด ผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนการบำรุงรักษาและปรับปรุงกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแอพพลิเคชันที่สามารถติดตามและควบคุมค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสียได้แบบเรียลไทม์บนสมาร์ทโฟน โดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมคุณภาพน้ำเสียและลดขั้นตอนการทำงานที่หน้างาน โดยค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียควรอยู่ในช่วง 6.5 ถึง 8.5 ตามการนำเสนอของ นันทนา คชเสนี (2544) [2] พบว่า สิ่งมีชีวิตในน้ำธรรมชาติมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.0 – 8.0 และผลการศึกษาของ Golovko และ Juhna (2022) [3] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าค่า pH 6.5 – 8.5 เป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในช่วงนี้เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการติดตามและควบคุมค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ โดยใช้เทคโนโลยี IoT เก็บข้อมูลค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าจากเซนเซอร์ของ pH meter และ EC meter และแสดงผลด้วยแอพพลิเคชั่น Blynk บนสมาร์ทโฟน โดยทำการสร้างชุดทดลองเพื่อจำลองเป็นถังปรับสภาพน้ำเสีย (Neutralization) ขนาด 26 ลิตร ซึ่งจะถูก ติดตั้งเซนเซอร์สำหรับวัดค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า และหัวเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่กระจายสารเคมีภายในถังให้ทั่วถึง และหน้าจอเครื่องวัดจะติดตั้งอยู่หน้ากล่องควบคุมที่มีแผงไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 อยู่ภายใน รวมถึงจัดทำถัง บรรจุสารเคมีกรดและสารเคมีด่างขนาด 4 ลิตร ที่ติดตั้งปั๊มสูบสารเคมีขนาด 300 ลิตร/ชั่วโมง, สูบส่ง 0.6 เมตร อยู่ในถังทั้งสอง เพื่อใช้สูบสารเคมีเติมลงไปในถังปรับสภาพน้ำจำลอง จากนั้นทำการเขียนคำสั่งด้วยภาษา C++ รวมถึงจัดวางวิดเจ็ตในแอพพลิเคชั่น Blynk [4] เพื่อให้ผู้ใช้งานทำการติดตามและกำหนดผ่านแอพพลิเคชั่น ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์ทดลองการติดตามและควบคุมค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และหน้าจอแอพพลิเคชั่น Blynk

ผลการทดลองและวิจารณ์

ทำการทดลองหาค่าความแม่นยำในการแสดงค่าบนแอพพลิเคชั่น Blynk เทียบกับค่าที่แสดงบนหน้าจอเครื่อง รวมถึงทำการทดลองความถูกต้องในการทำงานของเครื่องสูบสารมีที่กำหนดด้วยค่า pH บนแอพพลิเคชั่น Blynk โดยผู้ใช้งาน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

1.ทำการทดลองระบบด้วยการเติมสารเคมีกรดปริมาตร 25 ml ลงในถังปรับสภาพน้ำจำลอง บันทึกค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น จากนั้นจึงสั่งการผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk ให้ระบบทำงานอัตโนมัติ ซึ่งจะสั่งให้ปั๊มสูบสารเคมีกรดทำงาน โดยทำการบันทึกค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าเป็นภาพหน้าจอแสดงผลเปรียบเทียบกับหน้าจอเครื่องวัดทุกๆ 1 นาที จนค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 ถึง 8.5 ระบบจึงหยุดทำงาน โดยทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) แสดงการเปรียบเทียบค่าเริ่มต้นเติมสารเคมีกรดปริมาตร 25 ml (ข) แสดงการเปรียบเทียบกับค่าเมื่อหยุดทำงาน

2.ทำการทดลองระบบด้วยการเติมสารเคมีด่างปริมาตร 25 ml ลงในถังปรับสภาพน้ำจำลอง บันทึกค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น จากนั้นจึงสั่งการผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk ให้ระบบทำงานอัตโนมัติ ซึ่งจะสั่งให้ปั๊มสูบสารเคมีกรดทำงาน โดยทำการบันทึกค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าเป็นภาพหน้าจอแสดงผลเปรียบเทียบกับหน้าจอเครื่องวัดทุกๆ 1 นาที จนค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 ถึง 8.5 ระบบจึงหยุดทำงาน ทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 (ก) แสดงการเปรียบเทียบค่าเริ่มต้นเติมสารเคมีด่างปริมาตร 25 mL (ข) แสดงการเปรียบเทียบกับค่าเมื่อหยุดทำงาน

การทดลองนี้เป็นการนำเทคโนโลยี IoT มาช่วยในการติดตามและควบคุมค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk บนสมาร์ทโฟน โดยมุ่งเน้นความแม่นยำของการแสดงผลของค่า pH และค่า EC รวมถึงความเสถียรของระบบที่ใช้สั่งการทำงานของปั๊มสารเคมี ผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk เทียบกกับค่าที่แสดงบนหน้าจอเครื่อง(Meter) โดยนำค่าที่ได้จากการบันทึกภาพฯ มาแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

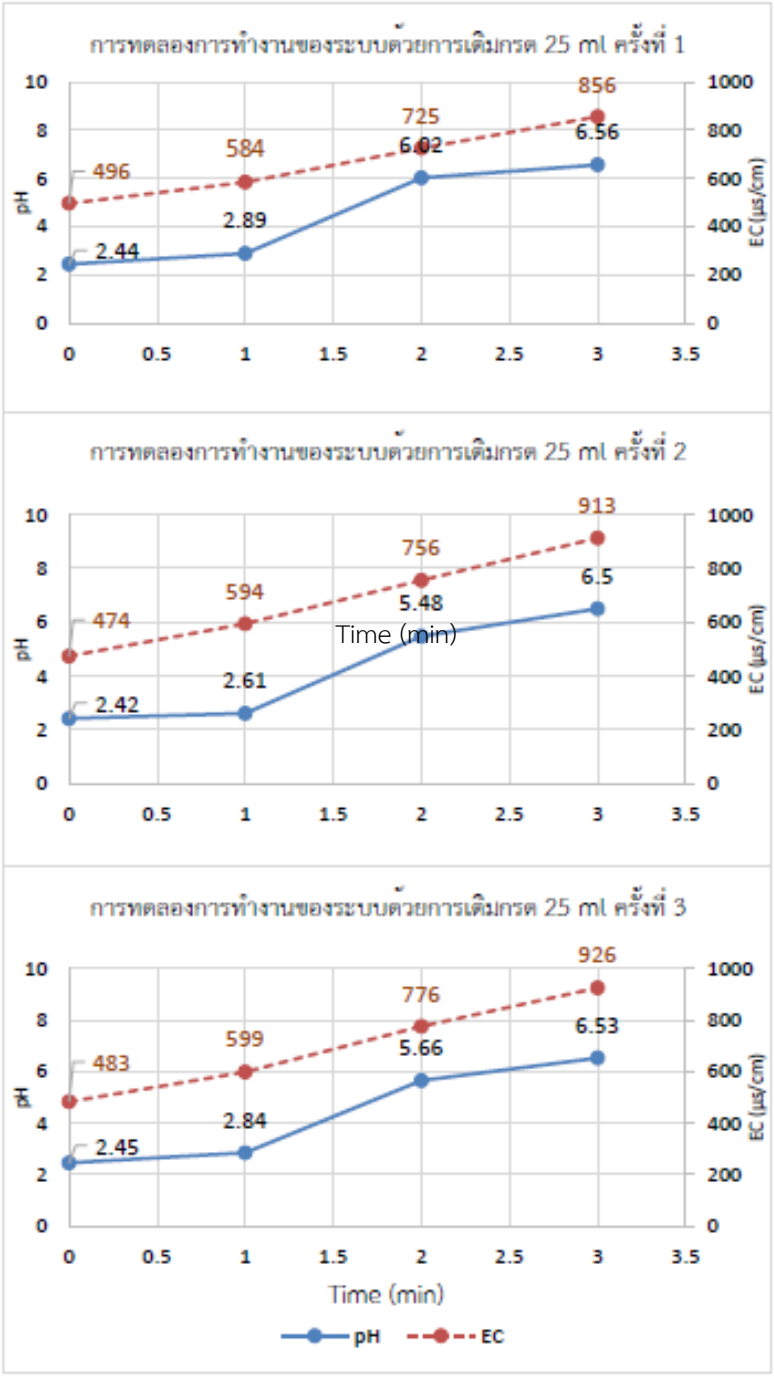
ตารางที่ 1 แสดงค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้า, การทำงานของปั๊ม จากการเติมสารเคมีกรดที่แสดงบนแอพพลิเคชั่น Blynk

การทดลองครั้งที่	นาทีที่	ค่า pH		ค่า EC (µs/cm)		การทำงานของปั๊ม	หมายเหตุ
		Blynk	Meter	Blynk	Meter		
1	0	2.42	2.42	474	474	ปั๊มด่างทำงาน	เติมกรด 25 ml
	1	2.61	2.61	594	594	ปั๊มด่างทำงาน	
	2	5.48	5.48	756	756	ปั๊มด่างทำงาน	
	3.28	6.50	6.50	913	913	ปั๊มด่างหยุดทำงาน	
2	0	2.45	2.45	483	483	ปั๊มด่างทำงาน	เติมกรด 25 ml
	1	2.84	2.84	599	599	ปั๊มด่างทำงาน	
	2	5.66	5.66	776	776	ปั๊มด่างทำงาน	
	3.16	6.53	6.53	926	926	ปั๊มด่างหยุดทำงาน	
3	0	2.44	2.44	496	496	ปั๊มด่างทำงาน	เติมกรด 25 ml
	1	2.89	2.89	584	584	ปั๊มด่างทำงาน	
	2	6.02	6.02	725	725	ปั๊มด่างทำงาน	
	3.30	6.56	6.56	856	856	ปั๊มด่างหยุดทำงาน	

ตารางที่ 2 แสดงค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้า, การทำงานของปั๊ม จากการเติมสารเคมีกรดที่แสดงบนแอพพลิเคชั่น Blynk

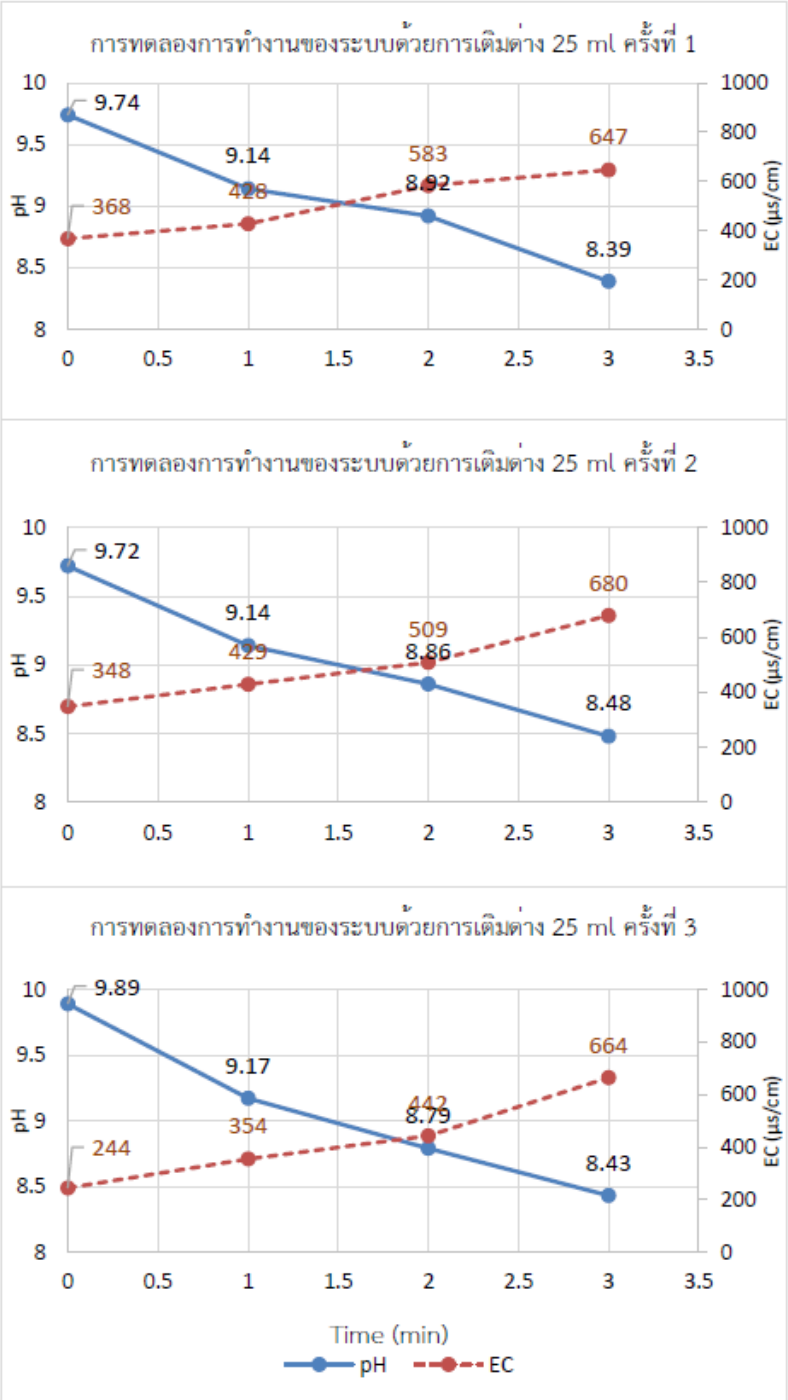
การทดลองครั้งที่	นาทีที่	ค่า pH		ค่า EC (µs/cm)		การทำงานของปั๊ม	หมายเหตุ
		Blynk	Meter	Blynk	Meter		
1	0	9.79	9.79	368	368	ปั๊มกรดทำงาน	เติมด่าง 25 ml
	1	9.14	9.14	428	428	ปั๊มกรดทำงาน	
	2	8.92	8.92	583	583	ปั๊มกรดทำงาน	
	3.22	8.39	8.39	647	647	ปั๊มกรดหยุดทำงาน	
2	0	9.72	9.72	348	348	ปั๊มกรดทำงาน	เติมด่าง 25 ml
	1	9.14	9.14	429	429	ปั๊มกรดทำงาน	
	2	8.86	8.86	509	509	ปั๊มกรดทำงาน	
	3.25	8.48	8.48	680	680	ปั๊มกรดหยุดทำงาน	
3	0	9.89	9.89	244	244	ปั๊มกรดทำงาน	เติมด่าง 25 ml
	1	9.17	9.17	354	354	ปั๊มกรดทำงาน	
	2	8.79	8.79	442	442	ปั๊มกรดทำงาน	
	3.31	8.43	8.43	664	664	ปั๊มกรดหยุดทำงาน	

จากตารางที่ 1 เมื่อเติมกรดปริมาตร 25 ml ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ครั้ง ระบบสามารถแสดงค่า pH และการนำไฟฟ้าบนแอพพลิเคชั่น Blynk ได้ตรงกับหน้าจอเครื่องเกือบมีความแม่นยำ 99% และระบบอัตโนมัติสามารถสั่งให้ปั๊มทำงานตามคำสั่งได้ถูกต้อง 100% โดยใช้เวลาเริ่มทำงานจนถึงหยุดทำงานใกล้เคียงกัน ดังแสดงในกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 กราฟแสดงค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้า, การทำงานของปั๊ม จากการเติมสารเคมีด่างในการทดลองแต่ละครั้ง

จากตารางที่ 2 เมื่อเติมด่างปริมาตร 25 ml ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ครั้ง ระบบสามารถแสดงค่า pH และการนำไฟฟ้าบนแอพพลิเคชั่น Blynk ได้ตรงกับหน้าจอเครื่องเกือบมีความแม่นยำ 99% และระบบอัตโนมัติสามารถสั่งให้ปั๊มทำงานตามคำสั่งได้ถูกต้อง 100% โดยใช้เวลาเริ่มทำงานจนถึงหยุดทำงานใกล้เคียงกัน ดังแสดงในกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 กราฟแสดงค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้า, การทำงานของปั๊ม จากการเติมสารเคมีกรดในการทดลองแต่ละครั้ง

สรุป

การศึกษาการนำเทคโนโลยี IoT(Internet of Things) มาใชhติดตามและควบคุมค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยจำลองชุดทดลองถังปรับสภาพน้ำ (Neutralization tank) โดยมุ้งเน้นความแม่นยำในการแสดงผลบนแอพพลิเคชั่น Blynk เทียบกับหน้าจอเครื่องวัด และความแม่นยำในการทำงานของปั๊มที่ถูกส่งการอัตโนมัติจากคำสั่งของ ผู้ใช้งาน พบว่าแอพพลิเคชั่น Blynk สามารถแสดงค่าได้ตรงกับค่าที่แสดงหน้าจอเครื่องวัด(Meter) และระบบสามารถทำงานได้ ถูกต้องตาม

เงื่อนไขที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยเมื่อน้ำในถังปรับสภาพน้ำจำลองมีค่า pH < 6.5 ระบบจส่งให้ปั๊มด่างทำงานเพื่อเติม สารเคมีด่างเข้าไปในถังปรับสภาพน้ำจำลองจนค่า pH ≥ 6.5 ปั๊มสูบสารเคมีด่างก็จะหยุดทำงาน ในขณะเดียวกัน เมื่อน้ำในถัง ปรับสภาพน้ำจำลองมีค่า pH > 6.5 ระบบจะสั่งให้ปั๊มกรดทำงานเพื่อเติมสารเคมีกรดเข้าไปในถังปรับสภาพน้ำจำลองจนค่า pH ≤ 8.5 ปั๊มสูบสารเคมีกรดก็จะหยุดทำงาน โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจติดตามค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์บน สมาร์ทโฟนทำให้สะดวกในการปฏิบัติงานและลดเวลาการทำงานให้แก่ผู้ใช้งาน

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาในส่วนของการติดตามและควบคุมค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า ที่ทำการทดลองกับน้ำประปาซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกับน้ำเสียที่ผ่านการใช้งานจริง ดังนั้นการศึกษาในอนาคตหรือการนำไปใช้งาน ควรพิจารณาในส่วนของประเภทของน้ำเสีย อุณหภูมิ และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆประกอบเพิ่มเติม รวมถึงสามารถนำไปพัฒนาในส่วนอื่นๆของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้รูปข้อมูลและรูปแบบจากงานวิจัยนี้ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ รวมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ผู้วิจัยจึงขอ กราบขอบพระคุณอย่างสูง และขอขอบคุณบุคลกร และเจ้าหน้าที่ในสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนเครื่องมือ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1.] ดร.ถิรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์. 2559. เทคโนโลยี Internet of Things และข้อเสนอแนะในการบริหารคลื่นความถี่ ในประเทศไทย. วารสาร กสทช. ประจำปี 2559

[2.] นันทนา คชเสนี. 2544. คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3.] Golovko, O., & Juhna, T. (2022). Impact of rapid pH changes on activated sludge process. Journal of Environmental Science and Technology, 16(2), 115-123

[4.] อัษฎางค์ บุญศรี และ มณฑล มีโพธิ์ และ เทพ เกื้อ ทวีกุล. 2565. ระบบรายงานสภาพน้ำและควบคุมอุณหภูมิในตู้ปลาด้วยแผ่นเพลเทียร์ผ่านแอพพลิเคชันสมาร์ทโฟน. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

20R2-15

การสำรวจและประเมินศักยภาพชุดดิน พื้นที่นาข้าวจังหวัดเชียงราย และจังหวัดพะเยาเพื่อส่งเสริมการทำนาข้าวคาร์บอนต่ำ

Survey and Evaluation of the Soil Series Potential for Low-Carbon Rice Cultivation in the Paddy Fields of Chiang Rai and Phayao Provinces

ทรงกรด มูลเทพ[1*] สุขทัย พงศ์พัฒนศรี[2] และ วิมลรัตน์ ศีติสาร[3]
Songkrod Moontep[1] Sukthai Pongpattasiri[2*] and Wimonrat Sitisan[3]
[1*]นิสิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 56000
[2]อาจารย์; นักวิจัย[3] คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 56000
*โทรศัพท์ : 054 466666 ต่อ 3402, โทรสาร : 0-5446-6704, E-mail : sm.green2557@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง “การสำรวจและประเมินสมบัติชุดดินพื้นที่นาข้าวจังหวัดเชียงรายและจังหวัดพะเยา เพื่อส่งเสริมการทำนาข้าวคาร์บอนต่ำ” มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและศึกษาชุดดินในพื้นที่นาข้าวของทั้งสองจังหวัด พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน เพื่อจัดทำฐานข้อมูลที่สามารถสนับสนุนการคำนวณและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการทำนา โดยเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม (composite sampling) ที่ระดับความลึก 0–30 เซนติเมตร จากพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด 8 พื้นที่ในจังหวัดเชียงรายและพะเยา การวิเคราะห์ดินครอบคลุมค่าทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นรวม ความแข็งดิน แรงเฉือนดิน การซึมของน้ำ และค่าทางเคมี เช่น pH อินทรียวัตถุ อินทรียคาร์บอนในดิน และธาตุอาหารหลัก ผลการวิเคราะห์พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอินทรียวัตถุ (r = −0.374) และแมกนีเซียม (r = −0.515) ขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งของดิน (r = 0.342) และแรงเฉือนสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า (r = 0.438) ดินถูกจำแนกเป็น 7 ชุดดิน และ 7 ชนิดดิน โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.1–6.5 (กรดเล็กน้อยถึงกรดจัด) และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.2–0.8 dS/m ซึ่งไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (input) ในการประเมินคาร์บอนเครดิตจากการทำนาข้าวตามแนวทาง T-VER

คำสำคัญ : ชุดดิน นาข้าว อินทรียคาร์บอนในดิน ความหนาแน่นรวมของดิน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Abstract

The research entitled “Survey and Assessment of Soil Series Properties in Rice Paddy Fields in Chiang Rai and Phayao Provinces to Promote Low-Carbon Rice Farming” aimed to study the physical and chemical properties of soils to support greenhouse gas mitigation. Soil samples were randomly collected using composite sampling at a depth of 0–30 cm from eight representative sites. Physical and chemical analyses included bulk density, hardness, shear strength, infiltration, pH, organic matter, organic carbon, and major nutrients. Results showed that bulk density had a negative correlation with organic matter (r = −0.374) and magnesium (r = −0.515), and a positive correlation with soil hardness (r = 0.342). Shear strength was positively correlated with electrical conductivity (r = 0.438). Soils were classified into seven soil series and seven soil types. The pH ranged from 5.1 to 6.5 (slightly to strongly acidic), and EC ranged from 0.2 to 0.8 dS/m, which is

not harmful to crop growth. These findings serve as foundational data for estimating soil organic carbon under the T-VER framework to support carbon credit evaluation in Thai rice paddies.

Keywords : Soil series; Paddy Flied; Organic Carbon in Soil ; Bulk density; Greenhouse gas emissions

บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนับเป็นความท้าทายสำคัญของภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะกิจกรรมการทำนาข้าว ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) จากระบบนิเวศนาน้ำขัง จึงมีบทบาทสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [1] ประเทศไทยในฐานะประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลก จำเป็นต้องปรับตัวต่อแรงกดดันจากมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมและการค้า เช่น กลไกราคาคาร์บอน (Carbon Pricing) และกลไกการปรับคาร์บอนก่อนเข้าพรมแดน (CBAM) ที่ประเทศคู่ค้าโดยเฉพาะสหภาพยุโรปเริ่มนำมาใช้ [2] การผลิตข้าวที่ไม่สามารถแสดงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นต์ (Product Carbon Footprint: PCF) ได้อย่างน่าเชื่อถือ อาจเผชิญกับภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้นหรือสูญเสียโอกาสทางการค้าในตลาดโลกหนึ่งในแนวทางสำคัญเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือ การส่งเสริม “การทำนาข้าวคาร์บอนต่ำ” (Low Carbon Rice Farming หรือ Low-Carbon Rice Production) [3] ซึ่งอาศัยข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลสมบัติของดิน พื้นที่นา และข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นฐานในการพัฒนากลไกลดก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) เช่น การวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (CFP) และกลไกการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) ซึ่งเปิดโอกาสให้เกษตรกรสามารถสร้าง “เครดิตคาร์บอน” จากการเปลี่ยนแปลงแนวทางการทำนาได้ [4] จากข้อมูลของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ พบว่า นาข้าวในประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงถึง 300–400 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีจากการทำนาแบบขังน้ำต่อเนื่อง [5] ขณะที่การศึกษาของ Arunrat และคณะ ชี้ว่าการทำนาคิดเป็นร้อยละ 17 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในภาคเกษตรกรรม [6] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ IRRI ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า การทำนาแบบเปียกสลับแห้ง (AWD) และการจัดการน้ำร่วมกับเกษตรอินทรีย์สามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 48 และ 35 ตามลำดับ [7] พร้อมเพิ่มผลผลิตได้ถึงร้อยละ 15 จังหวัดเชียงรายและจังหวัดพะเยาเป็นพื้นที่สำคัญของการผลิตข้าวในภาคเหนือ โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวรวมกันกว่า 2 ล้านไร่ และเป็นหนึ่งในพื้นที่รับรองการปลูกข้าวหอมมะลิไทย [8] [9] ดินนาในพื้นที่เหล่านี้มีคุณสมบัติเฉพาะที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น เนื้อดิน ความแน่นดิน และความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน และนำไปสู่การปลดปล่อยก๊าซ CH_4 และ N_2O ที่มีศักยภาพในการเร่งภาวะโลกร้อนสูง [10] ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยเรื่อง “การสำรวจและประเมินสมบัติชุดดิน พื้นที่นาข้าวจังหวัดเชียงราย และจังหวัดพะเยา เพื่อส่งเสริมการทำนาข้าวคาร์บอนต่ำ” จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและศึกษาชุดดินในพื้นที่นาข้าวของทั้งสองจังหวัด พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน เพื่อจัดทำฐานข้อมูลที่สามารถสนับสนุนการคำนวณและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการทำนา อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแนวทางการจัดการพื้นที่เพาะปลูกที่ดี (Enhanced Good Practices in Paddy Rice Field) ตามแนวทางของกลไก T-VER-P-METH-13-08 [11] ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาระบบการผลิตข้าวอย่างยั่งยืนในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

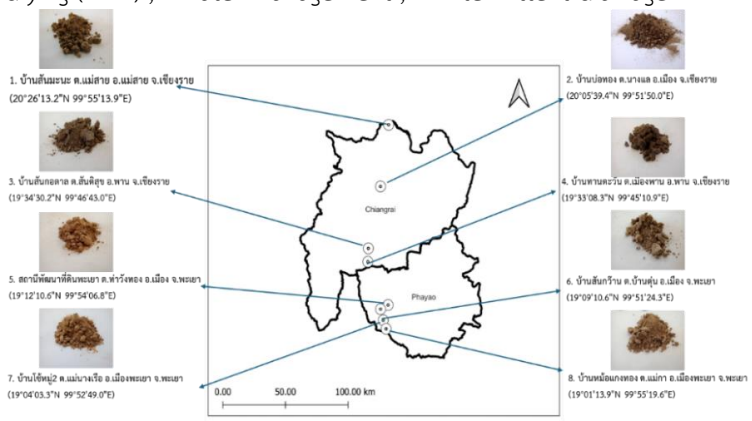
1. การศึกษาวิจัยคัดเลือกพื้นที่เก็บตัวอย่างดินจากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยสมบัติของดินที่ส่งผลต่อการทำนาข้าวทำนาข้าวลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังตารางที่ 1 จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกพื้นที่ทั้งหมดจำนวน 8 พื้นที่เพื่อเป็นตัวแทนพื้นที่ในจังหวัดเชียงรายได้แก่ บ้านสันมะนะ ต.แม่สาย อ.แม่สาย (MS) บ้านบ่อทอง ต.นางแล อ.เมือง (NL) บ้านทานตะวัน ต.เมืองพาน อ.พาน (P1) 4.บ้านสันกอตาล ต.สันติสุข อ.พาน (P2) จังหวัดพะเยา ได้แก่ บ้านโซ้หมู่ 2 ต.แม่นาเรือ อ.เมืองพะเยา (BS) 6.สถานีพัฒนาที่ดินพะเยา ต.ท่าวังทอง อ.เมือง (PD) 7.บ้านสันกว๊าน ต.บ้านตุ่น อ.เมือง (SK) 8.บ้านหม้อแกงทอง ต.แม่กา อ.เมืองพะเยา (MK) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบกระจาย (composite sampling) ที่ความลึก 0–30 เซนติเมตรจากแปลงนาในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและจังหวัดพะเยา [12] ดังรูปที่ 1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density): ใช้วิธีกระบอกดิน (Core Method) ตามวิธีการของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department) [13] ค่าความแข็งของดิน (Soil Hardness Capacity): วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งของดิน ยี่ห้อ Daiki รุ่น DIK-55533 ค่าแรง

เฉือนของดิน (Soil Shear Strength) วัดโดยใช้เครื่องมือวัดแรงเฉือน AMS - Pocket Vane Shear Test Kit การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ค่าความเป็นกรด–ด่างของดิน (pH): วัดโดยใช้เครื่อง Redox pH-meter ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter): วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black Titration Method [14] ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen): วิเคราะห์โดยวิธี Micro Kjeldahl Method ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus): วิเคราะห์โดยวิธี Ascorbic Acid Method ปริมาณโพแทสเซียม (Potassium; K): วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) [13] โดยใช้สถิติการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปร สหสัมพันธ์คำนวณจากวิธี Pearson's correlation แสดงผลโดยใช้ตารางเมทริกซ์สหสัมพันธ์ (Correlation matrix)

ตาราง 1 ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเภทดิน (Soil Type)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	ความลึกของดิน Soil Depth cm	วิธีการทดลอง (Method)	ประเภทการศึกษา Study type (Scale)	อ้างอิง (Reference)
clay	16	22	62	0-20	AWD*	field	[15]
silty clay	0.3	48	52	0-10	AWD*	field	[16]
clay				0-10	WM**	field	[17]
Loam	32.9	49.3	17.8	0-10	AWD*	field	[18]
silt loam	46.6	28.8	22.5	0-10	AWD*	field	[19]
clay	27.6	30.7	41.6	0-10	ID***	field	[20]

*alternate wetting and drying (AWD) , **water management , ***Intermittent drainage

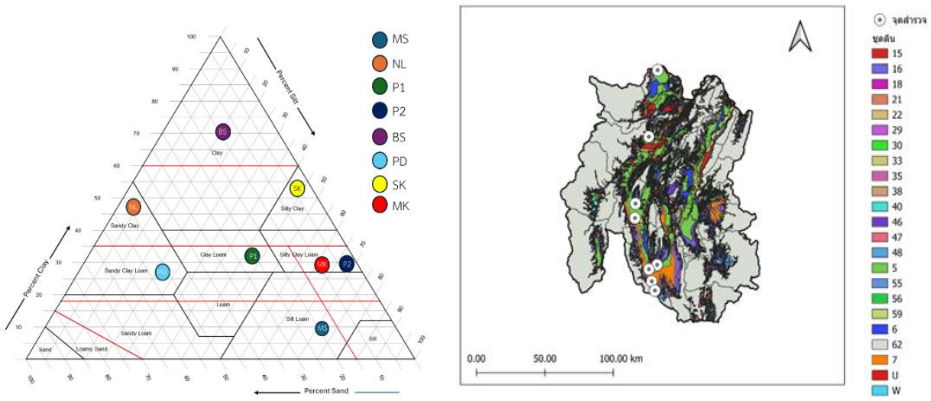


รูปที่ 1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติของดิน

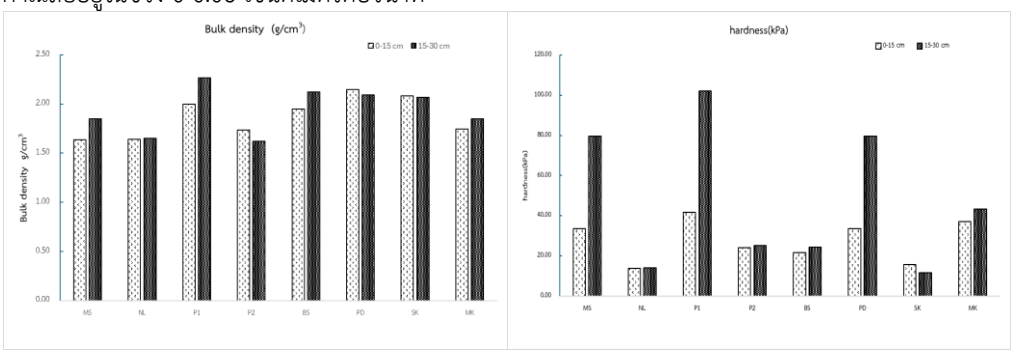
จากผลการวิเคราะห์ดิน (ตาราง 2) พบว่าสามารถจัดจำแนกได้จำนวน 7 ชุดดินได้แก่ ชุดดินแม่สาย (Mae Sai series: Ms) ชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC : slope complex) ชุดดินพาน (Phan series: Ph) ชุดดินห้างฉัตร (Hang Chat series: Hc) ชุดดินพะเยา (Pao) ชุดดินหางดง (Hd) ชุดดินจัตุรัส (series: Ct) จากการวิเคราะห์ประเภทดิน สามารถจัดจำแนกได้ 7 ชนิดดิน ได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทราย (silty clay loam) ดินร่วนป่นทราย (silt loam) ดินเหนียวป่นทราย (silt clay) ดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) ดินเหนียว (clay) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดังรูปที่ 2

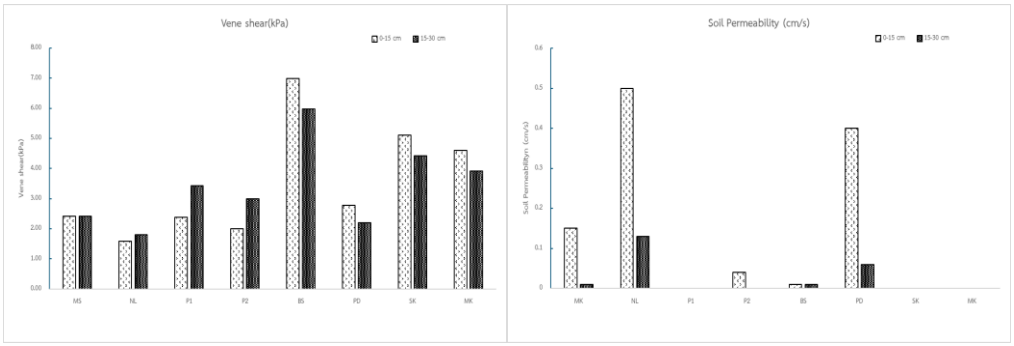


รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ประเภทดินและข้อมูลชุดดินจากพื้นที่ศึกษา

ผลการสำรวจข้อมูลทางกายภาพดิน

จากการวิเคราะห์ผลค่าทางกายภาพดินพบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) มีการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 8 ชนิด ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน PD มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินมากที่สุด เท่ากับ 2.15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนดิน SK, P1, BS, MK, P2, MS, NL มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00, 2.09, 1.95, 1.75, 1.74, และ1.64 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน P1 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินมากที่สุด เท่ากับ 2.27 กรัมต่อตารางเซนติเมตร BS, PD, SK, MK, MS,NL และ P2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.13 2.10 2.07 1.85 1.65 และ 1.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งดิน (Hardness) ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน P1 มีค่าเฉลี่ยความแข็งดินมากที่สุด เท่ากับ 41.76 กิโลปาสคาล ส่วนดิน PD, SK, BS, MK, P2, MS, NL มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15.50-36.90 กิโลปาสคาล ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน P1 มีค่าเฉลี่ยความแข็งดินมากที่สุด เท่ากับ 102.07 กิโลปาสคาล ส่วนดินPD, SK, BS, MK, P2, MS, NL มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15.50-36.90 กิโลปาสคาลค่าแรงเฉือนของดิน (Soil Shear Strength) ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน BS มีค่าเฉลี่ยค่าแรงเฉือนของดินมากที่สุด เท่ากับ 6.99 กิโลปาสคาล ส่วนดินPD, SK, P1, MK, P2, MS, NL มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.58-5.11 กิโลปาสคาล ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน BS มีค่าเฉลี่ยแรงเฉือนของดินมากที่สุด เท่ากับ 5.98 กิโลปาสคาล ส่วนดิน PD, SK, BS, MK, P2, MS, NL มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.80-4.42 กิโลปาสคาล ค่าการซึมน้ำของดิน (Soil Permeability) ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน NL มีค่าเฉลี่ยการซึมของน้ำผิวดินมากที่สุด เท่ากับ 0.5 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนดิน PD, SK, P1, MK, P2, MS, BS มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0- 0.4 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิว ดินพบว่าดิน NL มีค่าการซึมของน้ำผิวดินมากที่สุด เท่ากับ 0.13 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนดิน PD, SK, BS, MK, P2, MS, P1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0-0.06 เซนติเมตรต่อวินาที

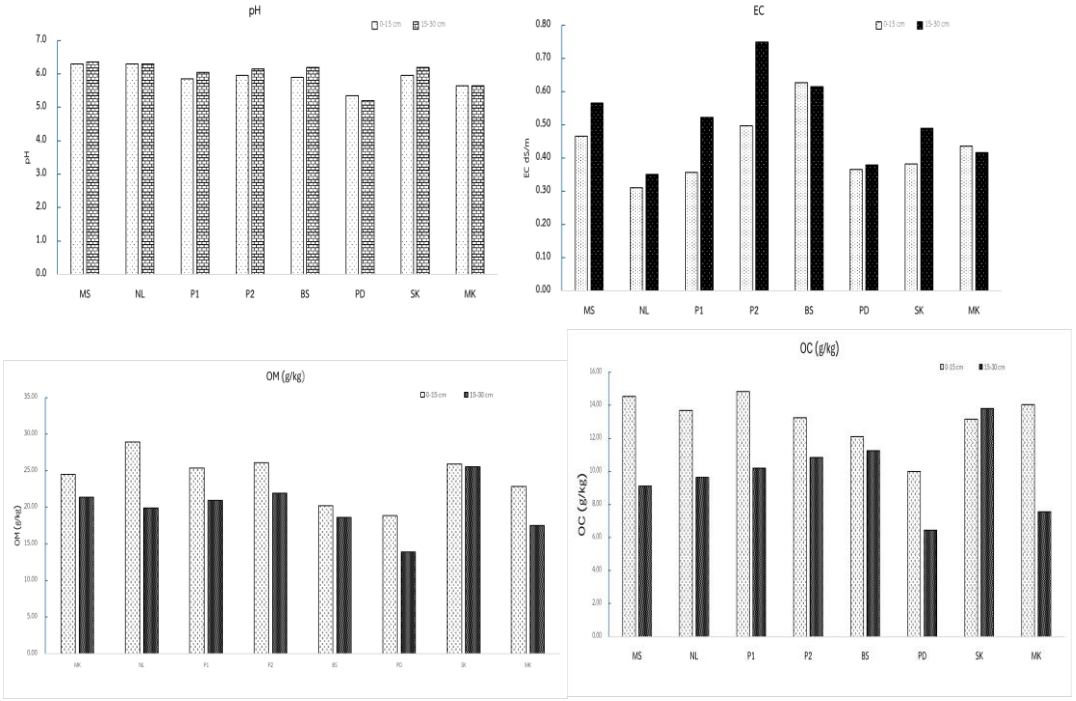




รูปที่ 3 ผลการสำรวจข้อมูลทางกายภาพดิน

ผลการสำรวจข้อมูลทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์ผลการสำรวจข้อมูลทางเคมีของดิน มีการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 8 ชนิด พบว่าค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) พบว่าอยู่ในช่วง 5.1-6.5 จัดอยู่ในระดับ กรดเล็กน้อย ถึง กรดจัด ค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่าอยู่ในช่วง 0.2-0.8 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร จัดอยู่ในระดับ ไม่เค็ม ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter) ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน NL มีค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดิน มากที่สุด เท่ากับ 28.91 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดิน P2, SK, P1,MS, MK, BS, PD มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.07 25.88 25.38 24.50 22.84 20.20 18.86 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน SK มีค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดิน มากที่สุด เท่ากับ 25.55 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดิน P2, MS, P1, NL, BS, MK, PD มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.92 21.39 20.95 19.88 18.60 17.51 13.91 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับปริมาณอินทรียคาร์บอนในดิน (Organic Carbon) ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน P1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากที่สุด เท่ากับ 14.85 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดิน MS, MK, NL, P2, SK, BS, PD มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.55 14.05 13.70 13.25 13.15 12.10 10.00 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิวดินพบว่าดิน SK มีค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียคาร์บอนในดินมากที่สุด เท่ากับ 13.80 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดิน BS, P2, P1, NL, MS, MK, PD มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.25 10.85 10.20 9.65 9.10 7.55 6.45 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4 ผลการสำรวจข้อมูลทางเคมีของดิน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) สัมพันธ์เชิงลบกับอินทรียวัตถุ (OM) (r=−0.37465). ซึ่งบ่งชี้ว่าดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมักจะมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างที่โปร่งกว่าของดินที่มีอินทรียวัตถุมากความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) กับแมกนีเซียม (Mg) (r=−0.51538) ค่อนข้างสูงกว่าความสัมพันธ์กับอินทรียวัตถุ อาจบ่งชี้ว่าปริมาณแมกนีเซียมในดินมีความเชื่อมโยงกับโครงสร้างของดินที่โปร่งได้เช่นกัน ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density) กับความแข็ง (hardness) (r=0.341694) ดินที่มีความหนาแน่นสูงมักจะมีความแข็งมากขึ้นความสัมพันธ์ที่สูงมากระหว่างอินทรียวัตถุ (OM) กับอินทรียคาร์บอนในดิน (OC) (r= 0.734885) เนื่องจากคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของอินทรียวัตถุความสัมพันธ์ที่สูงระหว่างแมกนีเซียม (Mg) กับแคลเซียม (Ca) (r=0.787685) ชี้ให้เห็นว่าการมีอยู่ของแร่ธาตุทั้งสองในดินสัมพันธ์กัน ซึ่งอาจสะท้อนถึงแหล่งกำเนิดของแร่ธาตุหรือกระบวนการทางเคมีในดินความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการต้านทานแรงเฉือนของดิน (Vane shear) กับการนำไฟฟ้า (EC 1:1) (r=0.438044) บ่งชี้ว่าดินที่มีการนำไฟฟ้าสูง (ซึ่งอาจหมายถึงมีปริมาณเกลือหรือแร่ธาตุที่ละลายได้สูง) มีแนวโน้มที่จะมีความต้านทานแรงเฉือนสูงขึ้น

Property	pH	EC	OM	OC	N	C/N ratio	P	K	Ca	Mg	BD	HN	VS	PM
		(dS/m)	g/kg	g/kg	g/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	(g/cm3)	(kPa)	(kPa)	cm/s
pH	1.00													
EC (dS/m)	0.30	1.00												
OM (g/kg)	0.41	-0.20	1.00											
OC (g/kg)	0.36	-0.09	0.73	1.00										
N (g/kg)	0.10	-0.10	0.51	0.73	1.00									
C/N ratio	0.28	0.30	0.01	0.09	-0.14	1.00								
P (mg/kg)	0.02	-0.07	0.19	0.06	-0.12	-0.22	1.00							
K (mg/kg)	0.14	0.16	-0.28	0.20	0.33	0.20	-0.23	1.00						
Ca (mg/kg)	0.57	-0.12	0.17	0.09	-0.04	0.31	-0.06	0.17	1.00					
Mg (mg/kg)	0.60	-0.16	0.37	0.32	0.14	0.24	-0.02	0.12	0.79	1.00				
BD (g/cm^3)	-0.37	-0.06	-0.17	-0.22	-0.13	-0.20	0.16	-0.24	-0.46	-0.52	1.00			
HN (kPa)	-0.17	0.03	-0.10	-0.28	-0.21	0.00	-0.11	-0.23	0.06	-0.04	0.34	1.00		
VS (kPa)	-0.03	0.44	-0.17	0.05	0.13	0.00	0.19	0.17	-0.45	-0.56	0.38	-0.13	1.00	
PM (cm/s)	-0.04	-0.30	0.01	0.10	0.09	0.18	-0.08	0.25	0.18	0.14	-0.29	-0.09	-0.32	1.00

BD= Bulk Density HN= Soil Hardness Capacity VS = Soil Shear Strength PM = Soil Permeability

รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรของข้อมูลดิน

สรุป

จากผลการวิเคราะห์ดินพบว่าสามารถจัดจำแนกได้จำนวน 7 ชุดดินได้แก่ ชุดดินแม่สาย (Mae Sai series: Ms) ชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC : slope complex) ชุดดินพาน (Phan series: Ph) ชุดดินห้างฉัตร (Hang Chat series: Hc) ชุดดินพะเยา (Pao) ชุดดินหางดง (Hd) ชุดดินจัตุรัส (series: Ct) จากการวิเคราะห์ประเภทดินจำแนกได้ 7 ชนิดดินได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทราย (silty clay loam) ดินร่วนปนทราย (silt loam) ดินเหนียวปนทราย (silt clay) ดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) ดินเหนียว (clay) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ค่าทางกายภาพดินพบว่าที่ระดับชั้นดิน 0-15 เซนติเมตร ความหนาแน่นของดิน (Bulk density) อยู่ในช่วง 1.64- 2.15 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็งดิน (Hardness) อยู่ในช่วง 15.50- 41.76 กิโลปาสคาล แรงเฉือนของดิน (Soil Shear Strength) อยู่ในช่วง 15.50- 41.76 กิโลปาสคาล ค่าการซึมของน้ำผิวดิน (Soil Permeability) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0-0.5 เซนติเมตรต่อวินาที ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter) อยู่ในช่วง 18.86- 28.91 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรียคาร์บอนในดิน (Organic Carbon) อยู่ในช่วง 10.00- 14.85 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนระดับชั้น 15-30 เซนติเมตรจากผิวดิน พบว่า ความหนาแน่นของดิน (Bulk density) อยู่ในช่วง 2.27- 1.62 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็งดิน (Hardness) อยู่ในช่วง 102.07- 36.90 กิโลปาสคาล แรงเฉือนของดิน (Soil Shear Strength) อยู่ในช่วง 5.98- 1.80 กิโลปาสคาล ค่าการซึมของน้ำผิวดิน (Soil Permeability) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0-0.13 เซนติเมตรต่อวินาที ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter) อยู่ในช่วง 13.91- 25.55 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรียคาร์บอนในดิน (Organic Carbon) อยู่ในช่วง 6.45- 13.80 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่าค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) ระดับชั้น 0-30 เซนติเมตรจากผิวดิน พบว่าอยู่ในช่วง 5.1-6.5 จัดอยู่ในระดับ กรดเล็กน้อย ถึง กรดจัด ค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่าอยู่ในช่วง 0.2-0.8 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร จัดอยู่ในระดับ ไม่เค็ม ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ในการประเมินคาร์บอนเครดิตจาก

จัดการพื้นที่เพาะปลูกที่ดี (Enhanced Good Practices in Paddy Rice Field) ตามแนวทางของกลไก T-VER-P-METH-13-08 ตามแนวทางการประเมินที่ 1: การใช้แบบจำลอง (modelling) ต้องยึดตามหลักการทางวิชาการสำหรับการใช้แบบจำลองโดยในการการประเมินด้วยแบบจำลองสำหรับแต่ละหน่วยตัวอย่างในกรณีฐานจะคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงหรือการปล่อยที่เกิดจากกิจกรรมการเกษตรที่ดำเนินการในกรณีฐาน ตัวอย่างสำหรับข้อมูลนำเข้า (input) ของแบบจำลอง เช่น ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ความหนาแน่นรวมของดิน คุณลักษณะดิน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินและความหนาแน่นดิน: ใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดิน (ค่าเริ่มต้น) โดยเก็บตัวอย่างดินโดยตรงก่อนเริ่มดำเนินโครงการ [11]

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกหน่วยงาน คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่อนุเคราะห์ในการตรวจและวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศและผู้ที่สนใจศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] IPCC. 2021. 2021. IPCC Report: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/.

[2] European Commission. 2023. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Retrieved from https://ec.europa.eu/.

[3] ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2566. เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ: โอกาสและความท้าทายของไทย. กรุงเทพฯ: ธนาคารแห่งประเทศไทย.

[4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2567. แนวทางการประเมินและลดก๊าซเรือนกระจกภาคเกษตรกรรม (T-VER). กรุงเทพฯ: อบก.

[5] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2566. ผลกระทบของการทำนาข้าวต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สวทช.

[6] Arunrat, N., et al. 2022. Greenhouse gas emissions from rice farming in Thailand and potential mitigation options. Environmental Science and Pollution Research, 29, 10815–10830. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15949-9.

[7] IRRI และ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2566. การจัดการนาข้าวแบบเปียกสลับแห้งเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจก. โครงการวิจัยร่วม IRRI-CMU, เชียงใหม่.

[8] สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย. 2567. ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าวจังหวัดเชียงราย ปี 2567. เชียงราย: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[9] สำนักงานเกษตรจังหวัดพะเยา. 2567. ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าวจังหวัดพะเยา ปี 2567. พะเยา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[10] Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., et al. 2021. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. Nature, 586, 248–256. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0.

[11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2567. แนวทางปฏิบัติที่ดีในการลดก๊าซเรือนกระจกจากแปลงนาข้าว (T-VER-P-METH-13-08). กรุงเทพฯ: อบก.

[12] FAO. 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership.

[13] กองวิเคราะห์ดิน. 2540. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. 59 หน้า.

[14] Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method, SoilSci (37), 29-38.

[15] Amnat Chidthaisong, Nittaya Cha-un, Benjamas Rossopa, ChitnuchaBuddaboon, Choosak Kunuthai, Patikorn Sriphirom, Sirintornthep Towprayoon, Takeshi Tokida, Agnes T. Padre & Kazunori Minamikawa. 2018. Evaluating the effects of alternate wetting and drying (AWD) on methane and nitrous oxide emissions from a paddy field in Thailand. Soil Science and Plant Nutrition. VOL. 64, NO. 1, 31–38.

[16] Hironori Arai, Yasukazu Hosen, Nguyen Huu Chiem & Kazuyuki Inubushi. 2021. Alternate wetting and drying enhanced the yield of a triple-cropping rice paddy of the Mekong Delta.Soil Science and Plant Nutrition. Vol. 67, NO. 4, 493–506.

[17] Kazunori Minamikawa and Naoki Sakai. 2007. Soil carbon budget in a single-cropping paddy field with rice straw application and water management based on soil redox potential. Soil Science and Plant Nutrition (2007) 53, .657–667.

[18] Dang Hoa Tran, Trong Nghia Hoang, Takeshi Tokida, Agnes Tirol-Padre and Kazunori Minamikawa. 2018. Impacts of alternate wetting and drying on greenhouse gas emission from paddy field in Central Vietnam. Soil Science and Plant Nutrition, 2018 VOL. 64, NO. 1, 14–22.

[19] Prihasto Setyanto, Ali Pramono, Terry Ayu Adriany, Helena Lina Susilawati, Takeshi Tokida, Agnes T. Padre and Kazunori Minamikawa. 2018. Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy in Central Java, Indonesia without yield loss. Soil Science and Plant Nutrition, 2018. Vol. 64, NO. 1, 23–30.

[20] Seiichi Nishimura, Kenji Kimiwada, Atsushi Yagioka, Satoshi Hayashi and Norikuni Oka. 2020. Effect of intermittent drainage in reduction of methaneemission from paddy soils in Hokkaido, northern Japan. Soil Science and Plant Nutrition 2020, VOL. 66, NO. 2, 360–368 https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1706191.

20R2-16

การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวของอุตสาหกรรมยางพาราอย่างยั่งยืน

A green Supply Chain Management of Sustainable Rubber Industry

พัทธธัญญ์ พิมพ์กินรีย์[1*],วิมลรัตน์ ศีติสาร[2], ณัฐวุฒิ ผลกุศล[1],ทรงกรด มูลเทพ[1] และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[3]
Pattatan Pimkinree[1*] Wimonrat Sitisara[2] Natthawut Phonkusol[1]Songkrod Moontep[1] and Sukthai Pongpattanasiri[3]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
[2]นักวิจัย; [3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
*โทรศัพท์ :0 5446 6666, โทรสาร : 0 5446 6704, E-mail : noparatra@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานและห่วงโซ่อุปทานสีเขียวของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพาราในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ กลุ่มต้นน้ำ กลุ่มกลางน้ำ และกลุ่มปลายน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ห่วงโซ่อุปทานสีเขียวมีความโดดเด่นในการบูรณาการมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เช่น FSC, T-VER และ CFP ในทุกกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ และส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การจัดการสวนยางพาราในรูปแบบ FSC และ T-VER ยังมีความเชื่อมโยงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน การส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชน และการมีส่วนร่วมของผู้บริโภคในฐานะผู้กักเก็บคาร์บอน การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าแนวคิดห่วงโซ่อุปทานสีเขียวสามารถยกระดับอุตสาหกรรมยางพาราของไทยให้ก้าวสู่ความยั่งยืน และสอดคล้องกับเป้าหมาย Net Zero Emission ในระดับประเทศและสากล

คำสำคัญ : ยางพารา,ห่วงโซ่อุปทาน,ห่วงโซ่อุปทานสีเขียว,ผลิตภัณฑ์ยางพารา, ผลิตภัณฑ์สีเขียว

Abstract

This study aims to analyze the supply chain and green supply chain of rubber and rubberwood products in Northern Thailand, categorized into three stages: upstream, midstream, and downstream. The findings reveal that the green supply chain excels in integrating environmental standards such as FSC, T-VER, and CFP across all production processes, which reduces greenhouse gas emissions, enhances product value, and promotes environmental sustainability. Moreover, rubber plantations certified under FSC and T-VER are closely linked to sustainable land use, community-based economic development, and biodiversity conservation. Consumer engagement as "carbon keepers" also plays a crucial role. The study suggests that adopting green supply chain practices can advance Thailand's rubber industry toward sustainability and align with national and international Net Zero Emission goals.

Keywords : Rubber, Supply Chain, Green Supply Chain, Rubber Products, Green Products

บทนำ

ยางพารา (Hevea brasiliensis Muell. Arg.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย โดยเฉพาะในฐานะผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่ของโลก จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกยางพารากว่า 2.4 ล้านตัน สร้างรายได้มากกว่า 500,000 ล้านบาท ซึ่งครอบคลุมทั้งยางวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์จากยางพารา[1]อย่างไรก็ตาม การขยายพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา โดยเฉพาะในพื้นที่ใหม่ เช่น ภาคเหนือของประเทศ ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านการใช้ที่ดิน การตัดไม้ทำลายป่า และความหลากหลายทางชีวภาพที่ลดลง[2]

ภายใต้บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและแรงกดดันจากตลาดโลก ประเทศไทยได้กำหนดทิศทางการพัฒนาผ่านยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 ซึ่งให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตรมูลค่าสูง และสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการผลักดันให้มีการผลิตและแปรรูปยางพาราในรูปแบบที่ยั่งยืน โดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ลดการปลดปล่อยคาร์บอน และส่งเสริมผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม[3]

ในบริบทนี้ การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management: GSCM) จึงมีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมยางพารา แนวคิดนี้ครอบคลุมตั้งแต่การเลือกวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง ไปจนถึงการจัดการของเสีย โดยมีเป้าหมายเพื่อบูรณาการหลักการของความยั่งยืนเข้ากับทุกขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทาน[4] สำหรับภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกยางใหม่และอยู่ในช่วงเริ่มต้นของห่วงโซ่อุปทาน การศึกษารูปแบบการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวจะช่วยระบุศักยภาพและปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญ อันจะนำไปสู่แนวทางการพัฒนาการจัดการสวนยางและผลิตภัณฑ์ยางอย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับมาตรฐานสากล และบริบทของการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

อุปกรณ์และวิธีการการวิจัย

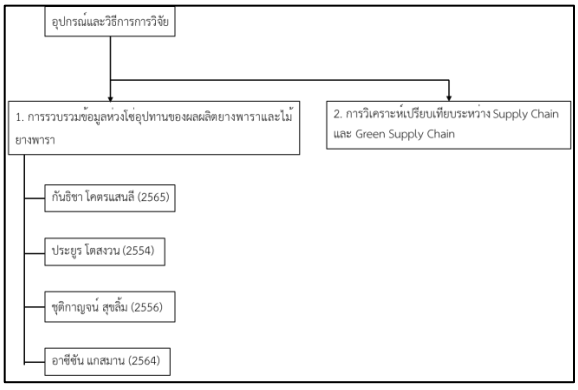
1. การรวบรวมข้อมูลห่วงโซ่อุปทานของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพารา

ผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพาราจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเน้นการวิเคราะห์ผังห่วงโซ่อุปทานที่มีอยู่แล้ว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป แหล่งข้อมูลหลักที่ใช้ในการรวบรวมและสังเคราะห์ ได้แก่ กันธิชา โคตรแสนลี (2565) ประยูร โตสงวน (2554) ชุติกาญจน์ สุขลิ้ม (2556) และ อาซีซัน แกสมาน (2564)

ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดทำให้อยู่ในรูปแบบผังแสดงห่วงโซ่อุปทาน เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแนวคิดของห่วงโซ่อุปทานสีเขียวได้อย่างเป็นระบบ

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง Supply Chain และ Green Supply Chain

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานทั่วไปกับแนวคิดของห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain) โดยพิจารณาในมิติต่าง ๆ เช่น การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การลดของเสีย การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการเพิ่มมูลค่าในกระบวนการผลิต ผลการวิเคราะห์จะถูกใช้ในการเสนอแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงระบบห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยางพาราให้มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



รูป 1 แผนภาพการวิจัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ห่วงโซ่อุปทานของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพารา

จากการรวบรวมข้อมูลผังห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพาราจากแหล่งข้อมูลและการวิเคราะห์เปรียบเทียบ (รายละเอียดจากรูปที่ 1) พบว่า ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยางพาราประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มต้นน้ำ กลุ่มกลางน้ำ และกลุ่มปลายน้ำ ดังนี้

1.กลุ่มต้นน้ำ ประกอบด้วย เกษตรกรผู้ผลิตยางพารา และ ผู้รับซื้อผลผลิตเบื้องต้น เช่น น้ำยางสด ก้อนยาง ไม้ท่อน และไม้กิ่ง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพของผลผลิตที่ส่งต่อไปยังกลุ่มกลางน้ำ โดยพบว่าเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือยังอยู่ในระยะเริ่มต้นของการพัฒนาอุตสาหกรรมยาง และมีแนวโน้มขยายตัวต่อเนื่อง[5]

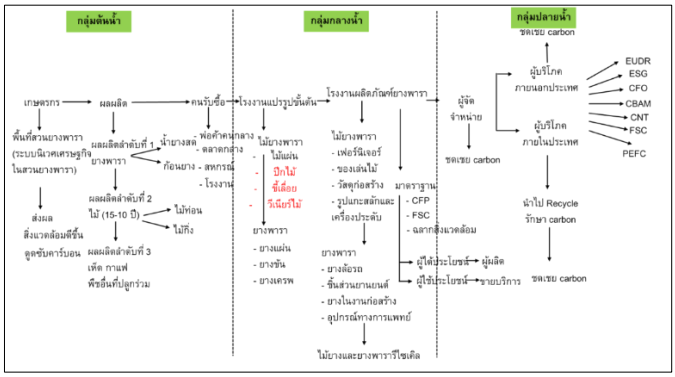
2.กลุ่มกลางน้ำ ประกอบด้วย โรงงานแปรรูปขั้นต้น (เช่น โรงรมยาง โรงเลื่อย) และ โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพาราและไม้ยางพารา โดยมีบทบาทในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตจากต้นน้ำ ตัวอย่างเช่น ไม้ท่อนและไม้กิ่งจะถูกส่งต่อไปยังโรงเลื่อยที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน FSC-COC (Forest Stewardship Council - Chain of Custody) เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไม้หรือเฟอร์นิเจอร์ที่สามารถส่งออกได้[6]

3.กลุ่มปลายน้ำ ประกอบด้วย ผู้จัดจำหน่าย และ ผู้บริโภค ทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปตามมาตรฐาน

FSC-COC ซึ่งสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มในตลาดต่างประเทศที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืน

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง ห่วงโซ่อุปทานปกติ กับ ห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain) พบว่า แนวทางของ Green Supply Chain มีบทบาทในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น การเลือกใช้ไม้ที่ได้รับการรับรอง การจัดการของเสียจากกระบวนการผลิต และการสนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือก ซึ่งทั้งหมดนี้ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสร้างภาพลักษณ์ที่ดีของผลิตภัณฑ์ในสายตาของผู้บริโภค

นอกจากนี้ การจัดการห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 ที่มุ่งเน้นการผลิตและบริโภคอย่างยั่งยืน[7]



รูปที่ 2 Supply Chain ของผลผลิตน้ำยางพารา ผลผลิตไม้ยางพารา และ ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของไม้ยางพาราที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน FSC™ (Forest Stewardship Council) (รายละเอียดจากรูปที่ 2) พบว่า กระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำสามารถสร้างคุณค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดสำคัญ ดังนี้

1. ต้นน้ำ เกษตรกรที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน FSC-FM/COC (Forest Management/Chain of Custody) ทำการตัดไม้ยางพาราเมื่อหมดอายุน้ำยาง (โดยทั่วไปคืออายุประมาณ 25–30 ปี) และคัดแยกเป็น ไม้ท่อน และ ไม้กิ่ง เพื่อจำหน่ายไปยังโรงเลื่อยที่ได้รับการรับรอง FSC-COC เช่นเดียวกัน[6]
2. กลางน้ำ โรงเลื่อยที่มีมาตรฐาน FSC-COC ทำการแปรรูปไม้ท่อนและไม้กิ่งเป็นไม้แปรรูป และวัสดุที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ ไม้แปรรูป (สำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์และวัสดุก่อสร้าง) เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา (ส่งออก) พาเลทไม้ ไม้อัดเม็ด (wood pellet) สำหรับเป็นพลังงานชีวมวล และเศษไม้และขี้เลื่อย ที่สามารถนำไปแปรรูปหรือใช้ในการผลิตพลังงานหมุนเวียนได้อีกด้วย

3. ปลายน้ำ ผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราเหล่านี้ส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม เช่น สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ซึ่งให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่มีการรับรองมาตรฐาน FSC-COC การประยุกต์ใช้มาตรฐาน FSC™ ในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทาน นอกจากช่วยยืนยันถึงความโปร่งใสในการผลิตไม้จากแหล่งที่ยั่งยืนแล้ว ยังส่งเสริมภาพลักษณ์ของสินค้าไทยในตลาดสากล และเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงตลาดพรีเมียมอีกด้วย ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิด “Green Supply Chain Management” ที่เน้นการบูรณาการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่าย โดยช่วยลดผลกระทบจากของเสียไม้ เช่น การนำเศษไม้และขี้เลื่อยไปผลิตพลังงานชีวมวล และลดการตัดไม้จากป่าใหม่ซึ่งส่งผลดีต่อระบบนิเวศโดยรวม[8]



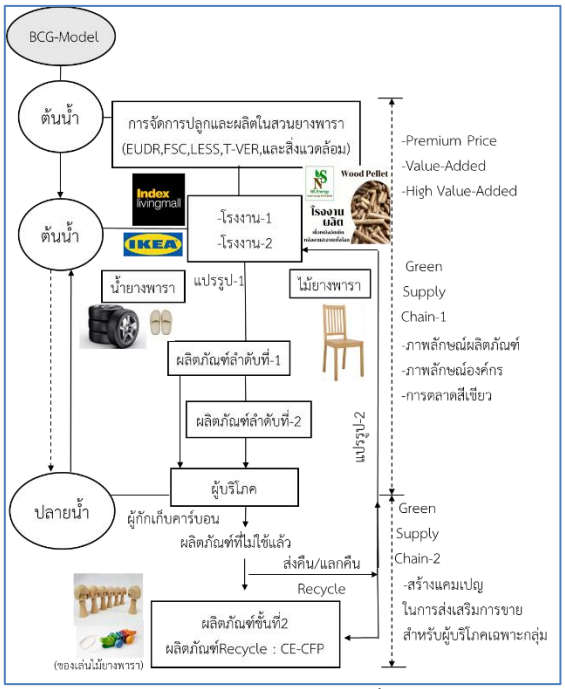
รูป 2 Supply Chain ของ ผลผลิตไม้ยางพารา และ ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง Supply Chain และ Green Supply Chain

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง Supply Chain และ Green Supply Chain พบว่าแนวคิดห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain) ของยางพาราและไม้ยางพารามีความโดดเด่นกว่าห่วงโซ่อุปทานทั่วไป (Supply Chain) ด้วยการบูรณาการมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เช่น FSC, T-VER, และ CFP ในทุกขั้นตอนของการผลิต ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความยั่งยืนในระยะยาว ขณะที่ห่วงโซ่อุปทานทั่วไปมุ่งเน้นปริมาณผลผลิตและประสิทธิภาพโดยอาจละเลยมิติด้านสิ่งแวดล้อม Green Supply Chain ยังส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนผ่านการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นและการจ้างงาน ส่งเสริมบทบาทของผู้บริโภคในการบริโภคอย่างรับผิดชอบ โดยเฉพาะในฐานะ "ผู้กักเก็บคาร์บอน" แม้มีข้อจำกัดเรื่องต้นทุนและความซับซ้อนของระบบ แต่ Green Supply Chain ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลก และเป็นกลไกสำคัญในการผลักดันอุตสาหกรรมยางพาราไทยสู่ความยั่งยืนตามเป้าหมาย Net Zero. รายละเอียดดังนี้

2.1 การศึกษาห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain)ของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพารา

การศึกษาห่วงโซ่อุปทานของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพาราที่มีการนำแนวคิดห่วงโซ่อุปทานสีเขียวมาใช้ (รายละเอียดจากรูปที่ 3) พบว่ามีการบูรณาการมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น FSC, EUDR และ T-VER ในทุกขั้นตอน โดยเริ่มจากกลุ่มต้นน้ำที่มีการจัดการสวนยางอย่างยั่งยืนภายใต้มาตรฐาน FSC-FM/COC ซึ่งสามารถส่งผลผลิตไปยังโรงเลื่อย FSC-COC เพื่อแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์หรือผลิตภัณฑ์ไม้เพื่อการส่งออก [9][10] กลุ่มกลางน้ำมีการประยุกต์แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) โดยนำของเสียจากการผลิตไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น เช่น การอัดเม็ดชีวมวล (wood pellet) เพื่อลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพทรัพยากร ในกลุ่มปลายน้ำ มีการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้บริโภคในการจัดการผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน เช่น การรีไซเคิล และการแลกคืนผลิตภัณฑ์ยางพารา รวมถึงการให้ข้อมูล Carbon Footprint เพื่อกระตุ้นให้ผู้บริโภคตระหนักถึงบทบาทของตนในฐานะผู้กักเก็บคาร์บอน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Green Marketing with Engagement และช่วยขับเคลื่อนสู่เป้าหมาย Net-Zero Emission[11][12] นอกจากนี้ การดำเนินงานในลักษณะ Green Supply Chain ยังสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มทั้งด้านราคา ภาพลักษณ์ และประสิทธิภาพการผลิตอย่างยั่งยืน และเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราของไทยให้แข่งขันได้ในตลาดโลกที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม



รูป 3 ตัวอย่าง Green Supply chain ของผลผลิตน้ำยางพารา ผลผลิตไม้ยางพารา และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

2.2 การศึกษาโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain)ของผลผลิตยางพาราและไม้ยางพารา

2.2.1 การจำแนกกลไกห่วงโซ่อุปทานสีเขียวและการใช้ประโยชน์ที่ดินในสวนยางพารารูปแบบต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ (รายละเอียดจากรูปที่ 4) พบว่า พื้นที่สวนยางพาราแต่ละรูปแบบมีการจัดการและส่งผลต่อห่วงโซ่อุปทานสีเขียวและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันดังนี้

(1)พื้นที่สวนยางปกติ ส่วนใหญ่เน้นการผลิตเพื่อปริมาณ โดยอาจมีข้อจำกัดในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ประโยชน์ที่ดินอาจไม่ได้คำนึงถึงความหลากหลายทางชีวภาพและป่าชุมชนเท่าที่ควร ศักยภาพในการใช้กลไก LESS และ T-VER อาจมีจำกัด

(2)พื้นที่สวนยาง + FSC การได้รับการรับรองมาตรฐาน FSC บ่งชี้ถึงการจัดการสวนยางพาราอย่างมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม มีการให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ป่าชุมชนและความหลากหลายทางชีวภาพมากขึ้น การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของ FSC ซึ่งส่งผลดีต่อภาพรวมของห่วงโซ่อุปทานสีเขียว และมีศักยภาพในการใช้กลไก LESS และ T-VER มากกว่าสวนยางปกติ

(3)พื้นที่สวนยาง + FSC + T-VER การผนวกกลไก T-VER เข้ากับการรับรอง FSC แสดงให้เห็นถึงความมุ่งมั่นในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นรูปธรรม การจัดการสวนยางพารามุ่งเน้นไปที่การเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลให้ห่วงโซ่อุปทานสีเขียวมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น และมีส่วนช่วยในการมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนและ NET-O

2.2.2 การเชื่อมโยงกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าชุมชน ความหลากหลายทางชีวภาพ และเศรษฐกิจชุมชนหมุนเวียน

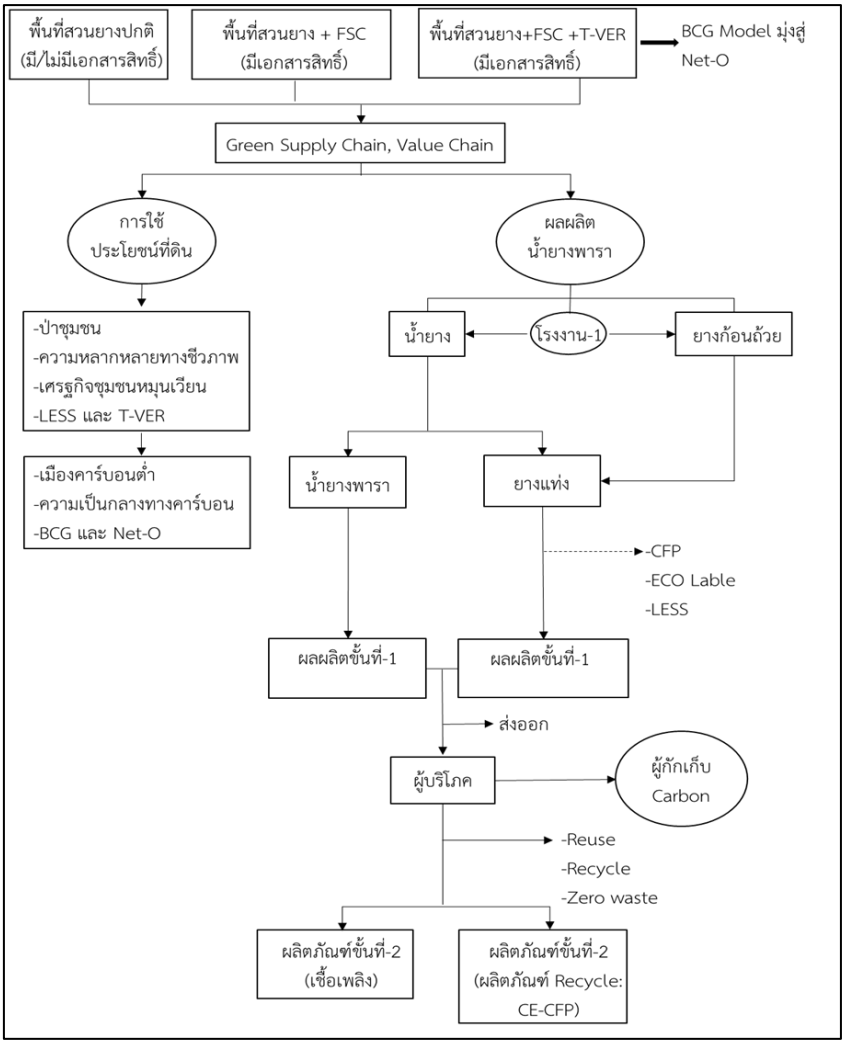
การจัดการสวนยางพาราที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน FSC และ T-VER มีความเชื่อมโยงเชิงบวกกับการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน การอนุรักษ์ป่าชุมชนและการส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ การดำเนินงานตามมาตรฐานเหล่านี้มักมีการสนับสนุนเศรษฐกิจชุมชนหมุนเวียนผ่านการจ้างงานในท้องถิ่นและการใช้ทรัพยากรในชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่สวนยางปกติอาจมีข้อจำกัดในด้านเหล่านี้

2.2.3 การสร้างมูลค่าเพิ่มในกระบวนการผลิตขั้นต้นและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตจากน้ำยางพาราสู่ผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 1 (น้ำยางพาราและยางแท่ง) พบว่า การนำเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและได้รับการประเมิน CFP, ECO Label และ LESS ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ในแง่ของความยั่งยืนและความน่าเชื่อถือในตลาด

2.2.4 การต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 และบทบาทของผู้บริโภคในฐานะผู้กักเก็บคาร์บอน

การนำผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 1 ไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 เช่น เชื้อเพลิงชีวภาพและผลิตภัณฑ์รีไซเคิล (CE-CFP) เป็นการส่งเสริมหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนและลดปริมาณของเสีย นอกจากนี้ การสื่อสารและสร้างความเข้าใจให้กับผู้บริโภคเกี่ยวกับบทบาทของผลิตภัณฑ์ยางพาราในการกักเก็บคาร์บอน และการส่งเสริมการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จะช่วยให้ผู้บริโภคมีส่วนร่วมในห่วงโซ่อุปทานสีเขียวในฐานะ "ผู้กักเก็บคาร์บอน"



รูป 4 ตัวอย่าง Green Supply chain ของผลผลิตน้ำยางพารา ผลผลิตไม้ยางพารา และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

สรุป

การศึกษาครั้งนี้พบว่า ห่วงโซ่อุปทานของยางพาราและไม้ยางพาราแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ โดยกลุ่มต้นน้ำยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นพัฒนาในภาคเหนือ ขณะที่กลุ่มกลางน้ำและปลายน้ำมีการแปรรูปและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าผ่านมาตรฐาน FSC อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างห่วงโซ่อุปทานปกติกับห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain) พบว่า แนวคิดสีเขียวช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม สนับสนุนเศรษฐกิจชุมชน และเพิ่มศักยภาพการส่งออก โดยเฉพาะในตลาดที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืน เช่น สหภาพยุโรปและญี่ปุ่น การบูรณาการมาตรฐาน FSC, T-VER, และ CFP ในกระบวนการผลิตช่วยลดก๊าซเรือนกระจก และส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือก นอกจากนี้ การจัดการพื้นที่สวนยางพาราในรูปแบบ FSC และ FSC+T-VER มีแนวโน้มส่งเสริมการอนุรักษ์ป่าชุมชน ความหลากหลายทางชีวภาพ และเศรษฐกิจชุมชนหมุนเวียน การพัฒนาเทคโนโลยีแปรรูปและการประเมิน CFP, ECO Label และ LESS ยังสร้างมูลค่าเพิ่มทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและ

เศรษฐกิจ ขณะที่บทบาทของผู้บริโภคในฐานะ “ผู้กักเก็บคาร์บอน” ก็เป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญต่อความสำเร็จของระบบ Green Supply Chain และเป้าหมาย Net-Zero Emission ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนข้อมูลจากการยางแห่งประเทศไทย จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงราย และจังหวัดลำปาง และได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากการยางแห่งประเทศไทยภายใต้โครงการ กยท2050-BCG Model” การสร้างแนวทางการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ยางพาราเพื่อการบริโภคผลิตภัณฑ์สีเขียวอย่างมีส่วนร่วมที่มุ่งสู่ NET-O; ปีงบประมาณ 2566

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2567). *รายงานสถานการณ์ยางพารา ปี 2567*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[2] Ziegler, A. D., Fox, J. M., & Xu, J. (2009). The rubber juggernaut. *Science*, 324(5930), 1024-1025. https://doi.org/10.1126/science.1173833

[3] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2566). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570)*. http://www.nesdc.go.th

[4] Sarkis, J. (2012). *A boundaries and flows perspective of green supply chain management*. Supply Chain Management: An International Journal, 17(2), 202–216.

[5] กันธิชา โคตรแสนลี. (2565). *การพัฒนาห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยางพาราในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] อาซีซัน แกสมาน. (2564). *การส่งเสริมมาตรฐาน FSC-COC ในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา*. วารสารอุตสาหกรรมยาง, 13(2), 25-33.

[7] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570)*.

[8] Suklim, C. (2013). *Potential of rubberwood utilization in Southern Thailand*. Master’s Thesis, Prince of Songkla University.

[9] FSC Thailand. (2023). *Overview of FSC Certified Rubberwood Supply Chain in Thailand*. [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://th.fsc.org/

[10] Forest Stewardship Council. (2021). *Benefits of FSC certification for forest value chains*. FSC International.

[11] BCG Economy Institute. (2022). *Thailand BCG Model for Sustainable Development*.

[12] Thai Carbon Balance. (2023). *แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา*. สถาบันการลดก๊าซเรือนกระจกประเทศไทย (TGO).

20R2-17

การจัดการกากตะกอนน้ำเสียเพื่อผลิตเป็นสารปรับปรุงดินจากเครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์

Management of Wastewater Sludge for Soil Conditioner Production from Organic Waste Decomposition Machines

คมสันต์ สุขเสนา[1*] โกวิท สุวรรณหงษ์[2] และ ต่อพงศ์ กรีธาชาติ[3]
Khomsan Suksena[1*] Kowit Suwannahong[2] and Torpong Kreetachart[3]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา; [2]รองศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 20131
[3]รองศาสตราจารย์ คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 56000
โทรศัพท์ : 02517-7514 โทรสาร : 02906-3997, E-mail : komsonexport@hotmail.com

บทคัดย่อ

กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge: AS) จากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียร่วมกับขยะเศษอาหารและน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกส้มในการผลิตสารปรับปรุงดินโดยใช้เครื่องย่อยสลายอินทรีย์ ภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและ การวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนเทียบกับมาตรฐาน TTLC จากการศึกษาพบว่าไม่จัดเป็นของเสียอันตราย จึงสามารถนำมาใช้ในการหมักร่วมได้ การทดลองดำเนินใน 3 รูปแบบ โดยใช้อัตราส่วนของกากตะกอนระหว่างโดยประกอบด้วยอัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 100% ของกากตะกอนน้ำเสียและขยะอินทรีย์ตามลำดับมีการควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการทดลองที่มีสัดส่วนกากตะกอน 10-20% มีปริมาณธาตุอาหารหลัก (NPK) สูงกว่าการทอลองชุดควบคุม ขณะเดียวกันมีค่าพีเอชลดลง ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และมีความชื้นสูงสุด ด้านการใช้พลังงานพบว่าการทดลองที่ใช้กากตะกอน 10% ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าสูตร 80:20 อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกระบุว่า การใช้กากตะกอนในระดับสูงสุดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าถึง 499.25 kg CO_2 eq ขณะที่กลุ่มควบคุมปล่อยเพียง 274.39 kg CO_2 eq การประยุกต์ใช้ Business Model Canvas (BMC) ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของโมเดลธุรกิจที่มุ่งสร้างคุณค่าจากของเสีย โดยกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ได้แก่ เกษตรกรและองค์กรปกครองท้องถิ่น โดยแนะนำให้ใช้เทคโนโลยีอัจฉริยะในการเติมธาตุอาหารหลักอัตโนมัติเพื่อยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์และแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำเสีย; การหมักขยะเศษอาหาร; ปุ๋ยอินทรีย์ ;เศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

Wastewater sludge generated from the Activated Sludge (AS) process, commonly used in centralized industrial wastewater treatment systems, requires appropriate management to minimize environmental impacts and greenhouse gas (GHG) emissions. This study aims to assess the potential of co-utilizing activated sludge with food waste and citrus peel-based bio-fermentation liquid for the production of soil amendments using an organic waste decomposer. The approach is aligned with the circular economy concept, emphasizing resource recovery and sustainability. Optimal operational conditions were investigated, and the sludge properties were analyzed in comparison with TTLC (Total Threshold Limit Concentration) standards. The results confirmed that the sludge is non-hazardous and therefore suitable for co-composting applications. Experiments were conducted in three treatment ratios: 90:10, 80:20 (sludge to food waste), and 100% organic waste (control), under controlled conditions not exceeding 50°C for 24 hours. Treatments with 10–20% sludge showed higher macronutrient (NPK) contents than the control, while also exhibiting lower pH, increased electrical conductivity (EC), and higher moisture content. In terms of energy consumption and emissions, the 10% sludge treatment demonstrated the lowest electricity usage and significantly lower GHG emissions compared to the 80:20 ratio. Specifically, the highest sludge ratio released up to 499.25 kg CO_2-equivalent, whereas the control group emitted only 274.39 kg CO_2-equivalent. Application of the Business Model Canvas (BMC) highlighted the business potential of transforming waste into value-added products. Target customer segments include organic farmers and local administrative organizations. The study recommends integrating smart technologies for automatic macronutrient supplementation, aiming to improve product quality to meet organic fertilizer standards and advance the circular economy

Keywords : Sewage Sludge; Food waste composting; Organic fertilizer; Circular Economy

บทนำ

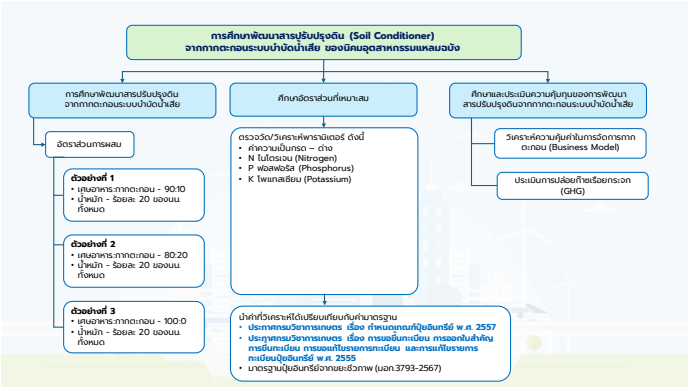
จากการบำบัดน้ำเสียรวมของอุตสาหกรรมแบบชีวภาพนั้น จะมีตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัด ซึ่งในการจัดการน้ำเสียของอุตสาหกรรมมีวิธีการบำบัดน้ำเสียอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพ โดยขั้นตอนทางชีวภาพจะมีกากตะกอนน้ำเสีย ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากระบบบำบัดจะมีวิธีในการจัดการหลายวิธี แต่ในปัจจุบันวิธีการจัดการกากตะกอนน้ำเสียที่นิยมใช้ คือ การฝังกลบและการเผา แม้วิธีการนี้จะสามารถช่วยลดปริมาณกากตะกอนได้ในระยะสั้น แต่กลับสร้างภาระด้านสิ่งแวดล้อมระยะยาว อาทิ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการฝังกลบ ต้องจ้างบริษัทรับกำจัดของเสียขนไปกำจัด นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากภาคของเสีย และหากไม่ได้จัดการให้เหมาะสมตามหลักสุขาภิบาลทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่สูงขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งไปกำจัด ดังนั้น จึงเกิดความจำเป็นเร่งด่วนในการแสวงหาแนวทางใหม่ที่สามารถนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ (Beneficial Reuse) เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และสร้างมูลค่าเพิ่มในระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) หนึ่งในแนวทางที่จะนำกากตะกอนไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างหลากหลายเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดินและปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอนน้ำเสียชีวภาพแบบตะกอนเร่ง มีสารประกอบหลายอย่างที่สามารถพัฒนาเป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอาหารอื่นๆ ซึ่งเหมาะสมในการจัดการด้วยกระบวนปรับสภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินหรือปุ๋ยอินทรีย์ เพราะสามารถทำให้ส่วนที่เป็นอินทรีย์ของกากตะกอนคงตัว สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่มีในกากตะกอน และลดปริมาณความชื้นของกากตะกอนลงได้ จะทำให้เกิดการนำกากตะกอนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ ซึ่งกระบวนการทำ สารปรับปรุงดินหรือปุ๋ยอินทรีย์นั้นจะใช้กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตเติบโตโดยใช้ออกซิเจนและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในการที่จะเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้นต้องมีภาวะที่เหมาะสม เช่น มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ และความชื้น

ที่เหมาะสม เป็นต้น การย่อยสลายหรือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ แต่กระบวนการหมักกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนต้องการพื้นที่มากและใช้ระยะเวลานาน อีกทั้งยังคงกลิ่นไม่พึงประสงค์และดึงดูดสัตว์รบกวน เช่น หนูและแมลงวัน ซึ่งเป็นพาหะของโรค

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้เครื่องย่อยสลายเศษขยะอาหารเพื่อผลิตสารปรับปรุงดิน โดยการทดลองนี้จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนและเศษอาหารกับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกส้ม เพื่อให้ได้สารปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในเครื่องย่อยเศษอาหาร ภายใต้การควบคุมสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิและความชื้นภายในที่เหมาะสม กระบวนการย่อยสลายเศษอาหารโดยสมบูรณ์จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลัง 24 ชั่วโมง จะได้สารปรับปรุงดินออกมา ตัวเครื่องมีลักษณะทันสมัย มีระบบควบคุมและจัดการง่าย และมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทดลองการผลิตสารปรับปรุงดินกากตะกอนด้วยการใช้เครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์ (BIOAXEL รุ่น BA100) ของบริษัท ไบโอเอ็กซ์เซล จำกัด เครื่องย่อยสลายขยะเศษอาหารนี้ จะต้องใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ (Superbact) ในระยะเริ่มต้นใช้งานจะเติมในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของจุลินทรีย์ (Superbact) ต่อเศษอาหารเป็น 1 : 2 ภายใต้การควบคุมสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิและความชื้นภายในที่เหมาะสม กระบวนการย่อยสลายเศษอาหาร โดยสมบูรณ์จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลัง 24 ชั่วโมง จะได้ดินอินทรีย์ การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างได้แก่ ภาชนะสำหรับคลุกเคล้าส่วนผสม ถุงเก็บตัวอย่าง ช้อนตักดิน เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องวัดความชื้น เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถใช้เป็นจุลินทรีย์ในการแปลงขยะเศษอาหารในการหมักต่อเนื่อง ดังรูปภาพที่ 1 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการศึกษาเพื่อทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารปรับปรุงดิน

วิธีดำเนินการ

1. เตรียมกากตะกอนให้เหมาะสมต่อการจัดทำวัสดุปรับปรุงดิน โดยผึ่งกากตะกอนเพื่อลด ปริมาณความชื้นลงให้เท่ากับ 50-60% และนำกากตะกอนไปตรวจทดสอบโดยเทียบกับ TTLC (Total Threshold Limit Concentration): ปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายทั้งหมดในกากของเสีย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มก./กก.)

2. เตรียมวัตถุดิบ ขยะอินทรีย์คือเศษอาหารเศษผัก เปลือกไข่ เปลือกผลไม้ที่ได้จากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรม กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย และน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกส้ม ผสมอัตราส่วนตามตารางที่ 1 นำส่วนผสมทั้งหมดคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้ว เทลงใส่เครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์ เก็บตัวอย่างตามระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อตรวจวัดวิเคราะห์และบันทึกค่าพารามิเตอร์ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิ, ค่าความชื้น, การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักวัสดุปรับปรุงดิน

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมกากตะกอนน้ำเสีย ขยะอินทรีย์เศษอาหาร และน้ำหมักชีวภาพ

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม		
	ขยะอินทรีย์	กากตะกอนน้ำเสีย	น้ำหมักชีวภาพ (จากเปลือกส้ม)
การทดลองที่ 1 (ควบคุม)	100% ของน้ำหนักทั้งหมด	-	20% ของน้ำหนักทั้งหมด
การทดลองที่ 2	90% ของน้ำหนักทั้งหมด	20% ของน้ำหนักทั้งหมด	20% ของน้ำหนักทั้งหมด
การทดลองที่ 3	80% ของน้ำหนักทั้งหมด	10% ของน้ำหนักทั้งหมด	20% ของน้ำหนักทั้งหมด

3. นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องอย่าง ประกาศกรมวิชาการเกษตรเรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2557, ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องการขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2555

4. การคำนวณคำนวณใช้จ่ายเบื้องต้นด้วยจากการคำนวณค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าใหม่ ปี 2566-2568 [19] ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าอุตสาหกรรมขนาดกลาง ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า: ประเภทที่ 3 ผู้ใช้ไฟฟ้ารายกลาง (Medium-sized Industrial Users) แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 22 กิโลโวลต์ มีอัตราค่าไฟฟ้าพลังงาน (Energy Charge) สำหรับแรงดันต่ำ: 3.1751 บาทต่อหน่วย (kWh)

5. ดำเนินการศึกษา รวบรวมข้อมูล และประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ของการนำกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ เทียบกับการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากวิธีการจัดการกากตะกอนน้ำเสีย ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก.กำหนด

6. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงธุรกิจ (Busniess Model) ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาทำเป็นสารปรับปรุงดินเพื่อจำหน่าย โดยใช้แบบจำลองธุรกิจ Business Model Canva (BMC) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนธุรกิจ



รูปที่ 2 การใช้ประโยชน์ตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียนจากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยการพัฒนาเป็นสารปรับปรุงดิน

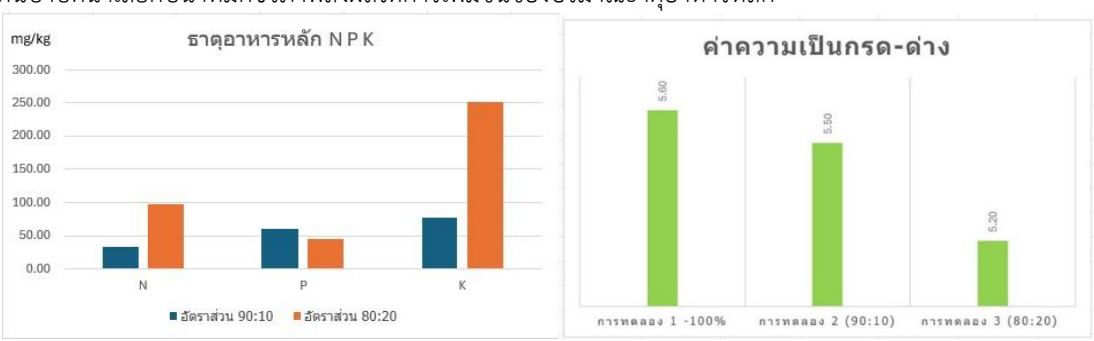
ผลการทดลองและวิจารณ์

ก่อนเริ่มทำการทดลองได้มีการจากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนและขยะเศษอาหารอินทรีย์ ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ เพื่อให้ได้สารปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพ ตารางที่ 2 โดยพิจารณาจากน้ำหนักตัวอย่างขาเข้าและขาออกของการทดลองทั้ง 3 ชุด

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของการลดลงของปริมาณตัวอย่างการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง	เวลา	มิเตอร์ไฟฟ้า (เริ่ม)	มิเตอร์ไฟฟ้า (สิ้นสุด)	จำนวนหน่อยไฟฟ้าที่ใช้ไป	น้ำหนักในเครื่องก่อนใส่เศษอาหาร+กากตะกอน+น้ำหมัก (kg)	อัตราส่วน							น้ำหนักรวม+น้ำหนักในเครื่อง (kg)	น้ำหนักหลังย่อยสลาย 24 ชม.	ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป
							ขยะอินทรีย์		กากตะกอน		น้ำหมักชีวภาพ		ผสมรวม			
							น้ำหนัก (kg)	(%)	น้ำหนัก (kg)	(%)	น้ำหนัก (L)	20%ของทั้งหมด	น้ำหนัก (kg)			
การทดลอง 1	15-มี.ค.-68	15.48 น.	10236	10276	40	63.47	48.88	100%	-		9.8	20%	58.64	76.46	62.59	18.14
การทดลอง 2	17 มี.ค. 68	15.48 น.	10276	10306	30	46.80	27.49	90%	3.05	10%	6.1	20%	36.65	83.45	69.3	16.96
การทดลอง 3	18 มี.ค. 68	15.48 น.	10306	10340	34	68.01	45.51	80%	11.38	20%	11.38	20%	68.27	136.28	119.7	12.16

จากตารางที่ 2 พบว่า การทดลองที่ 1 มีปริมาณลดลงมากที่สุดหลังเข้าเครื่องย่อย คิดเป็นร้อยละ 18.14 รองลงมาคือการทดลองที่ 2 และที่ 3 ตามลำดับ การลดลงของปริมาณตัวอย่างการทดลองดังกล่าวสัมพันธ์กับปริมาณกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เติมลงไปในเครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์ แม้ตัวอย่างที่ 3 จะมีปริมาณลดลงน้อยที่สุด แต่ยังคงช่วยลดปริมาณกากตะกอนลงได้ แต่อัตราส่วนกากตะกอนต่อขยะเศษอาหารที่ 20:80 เป็นปริมาณสูงสุดที่เครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์สามารถรองรับได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ นอกจากนี้เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) ธาตุโพแทสเซียม (K) ตามรูปที่ 3 พบว่าการทดลองที่ 2 และ 3 มีปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีการผสมกากตะกอนบำบัดและน้ำหมักชีวภาพ แสดงให้เห็นว่าการผสมร่วมของกากตะกอนดินบำบัดน้ำเสียกับน้ำหมักชีวภาพส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารหลัก



รูปที่ 3 ธาตุอาหารหลัก NPK ที่ได้จากการผลิตสารปรับปรุงดิน และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารปรับปรุงดิน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารปรับปรุงดินที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมวัสดุผสมเพิ่มขึ้นแนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับ [6,9] การทดลองที่ 3 (5.20) ลดลงมากที่สุด และการทดลองที่ 1(5.60) ลดน้อยกว่าการทดลองที่ 2(5.5) และที่ 3(5.20) จากรูปที่ 3 โดยทั่วไป ค่า pH ที่ต่ำกว่า 7 แสดงถึงสภาพกรด ค่า pH ในช่วง 5.0–6.5 ถือว่ามีความเหมาะสมในการนำไปปรับปรุงสภาพดิน โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการลดค่าความกรดเป็นด่างของดินและช่วยส่งเสริมการละลายธาตุอาหารสำคัญ เช่น ฟอสฟอรัส (P), เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) [7,10] ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

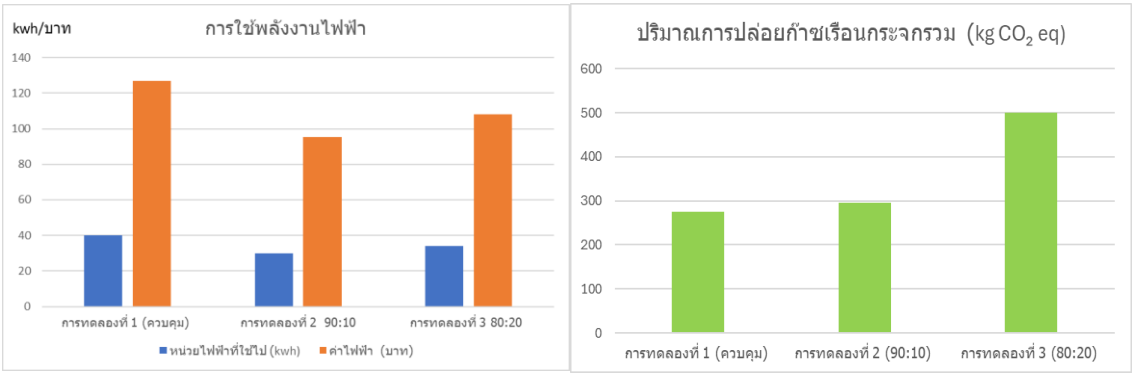
ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH%) ของสารปรับปรุงดินที่ได้จากการหมักกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับขยะอินทรีย์และน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า การทดลองที่ 2 ซึ่งใช้กากตะกอนน้ำเสียในสัดส่วน 10% มีความชื้นสูงที่สุด (51.47%) และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (40–60%) ช่วยส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การทดลองที่ 3 ซึ่งมีสัดส่วนกากตะกอน 20% กลับมีค่าความชื้นลดลง อาจเกิดจากโครงสร้างวัสดุที่เปลี่ยนแปลงหรือการระเหยน้ำมากขึ้นในระยะต้นของการหมัก ทั้งนี้ ค่าความชื้นที่ต่ำกว่าช่วงเหมาะสม (<30%) อาจกระทบต่อการเจริญของจุลินทรีย์และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงควรพิจารณาการควบคุมความชื้นในระบบอย่างเหมาะสมเพื่อคงประสิทธิภาพการหมักและคุณภาพของสารปรับปรุงดินตามเป้าหมาย

เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรตาม [1] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557 และประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2555 ตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักและค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ข้อเสนอแนะหากต้องการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลัก NPK ให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร ต้องควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ ในขยะอินทรีย์หรือเศษอาหารเพื่อให้ปริมาณธาตุเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

พารามิเตอร์ (ร้อยละ)	อัตราส่วน 90:10	อัตราส่วน 80:20	ค่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตร พศ.2557
ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	0.34	0.99	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก
ค่าฟอสเฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	0.60	0.46	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
ค่าโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium)	0.77	2.52	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
ค่าความชื้น (Moisture Content)	51.47	36.43	ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรดเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5	5.2	อยู่ระหว่าง 5.5-8.5

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของสารปรับปรุงเมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

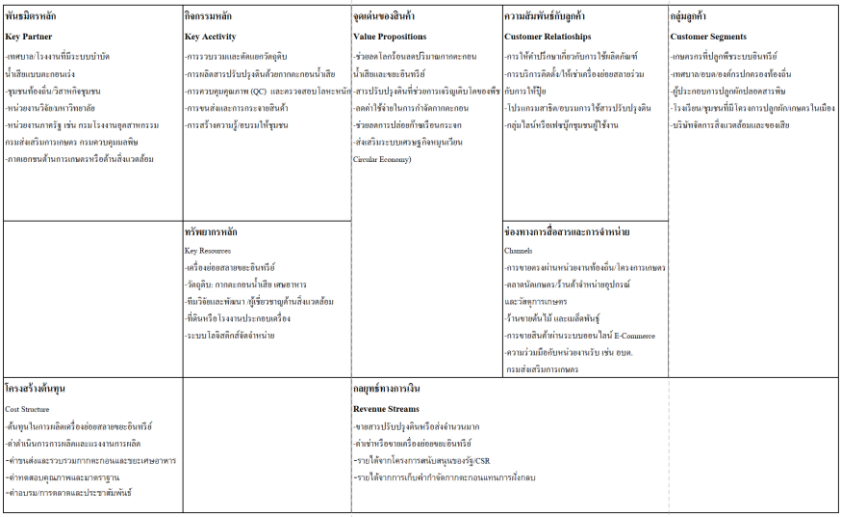
ผลทดลองด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้สูตรคำนวณ ค่าไฟฟ้า (บาท)=จำนวนหน่วยไฟฟ้า (kWh)×อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย) อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้อุตสาหกรรมขนาดกลาง (ประเภทที่ 3) สำหรับผู้ใช้อุตสาหกรรมขนาดกลางที่ยังไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์ TOU (Time of Use) และใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์ อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 3.1751 บาทต่อหน่วย (kWh) พบว่าการใช้ขยะอินทรีย์ 90% ร่วมกับกากตะกอน 10% ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด (95.25 บาท) เมื่อเทียบกับการทดลองควบคุม (127.00 บาท) และสูตรอื่น ๆ การเพิ่มสัดส่วนกากตะกอนเป็น 20% ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 107.95 บาท แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนวัตถุดิบมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ



รูปที่ 4 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์ และแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจก

ผลการศึกษาและประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ของการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ของผลิตภัณฑ์ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน) หรือ อบก.กำหนด ดังนี้ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emissions)= ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) พบว่าการทดลองผลิตสารปรับปรุงดินด้วยสัดส่วนกากตะกอนและขยะอินทรีย์ที่ต่างกันส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างชัดเจน โดยสูตร 80:20 ปล่อยสูงสุดที่ 499.25 kg CO_2 eq ขณะที่การควบคุมปล่อยน้อยสุดที่ 274.39 kg CO_2 eq รูปที่ 4

การวิเคราะห์โมเดลธุรกิจตามตามรูปแบบ Business Model Canva (BMC) พบว่าการมุ่งเน้นการสร้างคุณค่าจากกากตะกอนน้ำเสียและขยะอินทรีย์ โดยผสานเครื่องย่อยสลายกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อผลิตสารปรับปรุงดินที่ปลอดภัยและยั่งยืน กลุ่มลูกค้าเป้าหมายชัดเจน เช่น เกษตรกรและหน่วยงานท้องถิ่น พร้อมช่องทางจัดจำหน่ายที่หลากหลาย รายได้เกิดจากการขายผลิตภัณฑ์และบริการเสริม ขณะที่ต้นทุนหลักอยู่ที่เครื่องมือ แรงงาน และการจัดการคุณภาพ.



รูปที่ 5 แสดงโมเดลธุรกิจการผลิตสารปรับปรุงดินจากกากตะกอนน้ำเสีย

สรุปผล

การพัฒนาสารปรับปรุงดินด้วยกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดเสียชีวภาพแบบตะกอนเร่ง กากตะกอนน้ำเสีย อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารปรับปรุงดินที่ได้นั้นมีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้งาน เมื่อนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียผสมร่วมกับขยะเศษอาหารอินทรีย์ และน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกส้ม โดยใช้เครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์ สามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองได้แต่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก (NPK) ไม่เพียงพอ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ การเพิ่มเติมวัสดุอินทรีย์เพิ่มเติมเช่น เปลือกไข่ ปอเทือง เปลือกสับปะรด ทั้งนี้ เพื่อต่อยอดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การนำเครื่องย่อยสลายขยะอินทรีย์อัจฉริยะ (Smart Organic Waste Composting Machine) ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลาย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการเติมธาตุอาหารหลัก (NPK) แบบอัตโนมัติและออกแบบให้สามารถใช้พลังงานทดแทนจากโซล่าเซลล์ได้โดยตรง เข้ามาประยุกต์ใช้ จะช่วยให้การผลิตสารปรับปรุงดินมีความเสถียรและมีคุณภาพสูงสม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถลดระยะเวลาในการหมัก เครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัจฉริยะจากเศษขยะอาหาร พร้อมทั้งสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคของเสียอย่างยั่งยืนตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) การวิเคราะห์ด้วยการทำโมเดลทางธุรกิจ มีความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจมีกลุ่มลูกค้าเป้าหมายและช่องทางการจำหน่ายชัดเจน ด้วยการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียในแนวทางนี้จึงไม่เพียงแต่เป็นการลดของเสียและปัญหาสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มและส่งเสริมการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท สยามคอมเพรสเซอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่และวัสดุสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการเกษตรประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2557. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf. สืบค้นเมื่อ 19 กุมภาพันธ์ 2568.

[2] Kantamas Ujaroen and Champunut Chairuksa 2013. Utilization of Wastewater Sludge in Peanut Food Factory to Improve Soil for Pathumthani 80 Rice Planting

[3] จิดาภา โอบอ้อม. พฤษภาคม 2561. การศึกษาธาตุอาหารในปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียเทศบาลเมืองป่าตอง อำเภอกระทู้ จังหวัดภูเก็ต, ฝ่ายวิชาการเพื่อการพัฒนาที่ดิน สถานีพัฒนาที่ดินภูเก็ต สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 11 กรมพัฒนาที่ดิน.

[4] Vinay Yadav and Shishir Shrotriya, Waste-to-Wealth, Resource Recovery and Value-Added Products for Sustainable Development

[5] Team Ques10, Solid Waste Management 202 Edition.

[6] Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

[7] Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson Education.

[8] Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (8th ed.). Pearson Education.

[9] Kumar, A., Sharma, S., & Kumar, S. (2021). Effect of organic amendments on soil pH and nutrient availability. International Journal of Agricultural Science and Research, 11(2), 45–52.

[10] Marschner, H. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press.

20R2-18

การเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกโดยใช้นาโนคอมโพสิต $MnFe_2O_4$/g-C_3N_4 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

Enhancing the Efficiency of Dye Degradation via Photocatalytic Process Using Hydrothermally Synthesized $MnFe_2O_4$/g-C_3N_4 Nanocomposites

ศักดิ์ชัย แก้วทรัพย์เดชศิริ[1] ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์[2*] และ อรวรรณ โรจน์วิรุฬห์[2]
Sakchai Kaewsubdejsiri[1] Thammasak Rojviroon[2*] and Orawan Rojviroon[2]
[1]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา; [2*]รองศาสตราจารย์; [2]รองศาสตราจารย์; สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
*โทรศัพท์ : 085-427-9666, โทรสาร : 0-2577-5026, E-mail: thammasak@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เน้นการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา $MnFe_2O_4$ ร่วมกับ g-C_3N_4 ในปริมาณต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมขึ้นโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อม Reactive Black 5 (RB5) ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารมลพิษด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ในการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายสาร RB5 ที่ความเข้มขนเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 93.01% เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG ปริมาณ 0.1 กรัม ภายใต้การกระตุ้นด้วยแสง UVA มีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุโดยใช้ Scanning Electron Microscopy (SEM) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างและขนาดของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำ โดยมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : กราฟิติกคาร์บอนไนไตรด์; แมงกานีสเฟอร์ไรต์; รีแอกทีฟ 5 ; ไฮโดรเทอร์มอล

Abstract

This research focuses on the development of the $MnFe_2O_4$ photocatalyst in conjunction with varying amounts of g-C_3N_4, constituting a composite material prepared through a hydrothermal process. The objective is to enhance the efficiency of degrading the dye Reactive Black 5 (RB5) contaminated in synthetic wastewater. This study compares the efficiency of pollutant degradation using the prepared catalyst in photochemical reactions. It was found that the highest efficiency in degrading RB5 at an initial concentration of 50 ppm was 93.01% when using 0.1 g of the MnFG catalyst under UVA light activation. The physical characteristics of the material were examined using Scanning Electron Microscopy (SEM), which revealed the structure and size of the catalyst particles. The research results indicate the potential of this catalyst in degrading contaminants in water, demonstrating a significantly higher degradation efficiency.

Keywords : Graphitic Carbon Nitride; Manganese Ferrite; Reactive 5; Hydrothermal

บทนำ

การเพิ่มศักยภาพของโฟโตคาทาลิสต์ในระดับนาโนเป็นหนึ่งในความท้าทายสำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากเทคโนโลยีนี้สามารถช่วยแก้ไขปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม [1-3] เช่น การปนเปื้อนทางอากาศและการบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตคาทาลิสต์โดยใช้วัสดุคอมโพสิต การใช้วัสดุคอมโพสิตได้รับการพิสูจน์ว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแสงในหลายมิติ เช่น การเพิ่มพื้นที่ผิว, ความเสถียรที่ดีขึ้น, ความเป็นพิษที่ลดลง, ต้นทุนที่คุ้มค่า และการนำกลับมาใช้ใหม่ [1, 4, 5] นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารมลพิษ ทำให้การพัฒนาโฟโตคาทาลิสต์เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจทั้งในการสำรวจเชิงทฤษฎีและการใช้งานในทางปฏิบัติ [3, 6, 7]

ตัวเร่งปฏิกิริยา กราฟิติกคาร์บอนไนไตรด์ (g-C_3N_4) ได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากคุณสมบัติการดูดกลืนแสงที่ยอดเยี่ยมและความเสถียรทางเคมี ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุแบบคอมโพสิตร่วมกับสารออกไซด์ของโลหะ ที่ส่งผลให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการการบำบัดมลพิษได้ [5] โดยช่วยเพิ่มความเสถียรและพัฒนาความสามารถในการดูดซับแสง ปรับปรุงช่องว่างของแถบพลังงานให้มีความเหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา [4, 8-10]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา $MnFe_2O_4$ ร่วมกับ g-C_3N_4 โดยการรวม $MnFe_3O_4$ เข้ากับ g-C_3N_4 โดยใช้กระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารมลพิษ ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะลิติก โดยทำการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสีย้อม Reactive Black 5 หรือ RB5

อุปกรณ์และวิธีการ

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมสำหรับการทดลอง $MnFe_2O_4$ ร่วมกับการใช้ g-C_3N_4 ในปริมาณ 1 กรัม (MnFG) โดยมีวิธีการการสังเคราะห์ดังต่อไปนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG เริ่มจากการกระจาย g-C_3N_4 จำนวน 1 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน 30 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที ในเวลาเดียวกัน ละลาย $MnSO_4.H_2O$ 1 มิลลิโมล ในน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร และอีธีลีนไกลคอล 50 มิลลิลิตร และ ละลาย $FeSO_4.7H_2O$ 2 มิลลิโมล ในน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร และอีธีลีนไกลคอล 50 มิลลิลิตร กวนผสมเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกันภายใต้การกวนผสมอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นให้เติมสารละลาย NaOH จนกระทั่ง pH ถึง 9 หลังจากนั้นเติมสารละลาย g-C_3N_4 ลงในสารละลายดังกล่าวและกวนผสมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เทสารละลายผสมที่เกิดขึ้นใส่ลงใน Hydrothermal autoclave นำไปอบในตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Memmert รุ่น UN30-1060 ด้วยความร้อนที่ 160 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างที่ได้จะถูกปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hettich รุ่น Rotofix กำหนดความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เพื่อแยกตะกอนออก ล้างด้วยเอทานอลและน้ำ DI จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกอบแห้งที่ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ผงละเอียดของ Nanocomposite MnFG

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG ที่ได้จากการเตรียม ถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพเพื่อประเมินรูปร่างและลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

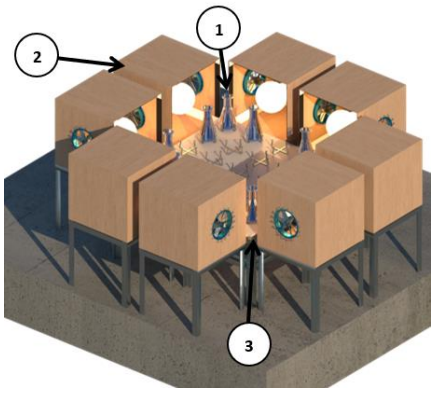
การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ของตัวเร่งปฏิกิริยาฯ ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติก

การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ของตัวเร่งปฏิกิริยาฯ ในกระบวนการโฟโตคะตะลิติก เริ่มจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อน RB5 ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ดังรูปที่ 1 จากนั้นเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ในปริมาณ 0.1 กรัมและเขย่าด้วยเครื่องให้เข้ากันอย่างทั่วถึง เพื่อให้การกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยรายละเอียดของการทดลองในสภาวะต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการทดลองกับตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG กับน้ำเสียสังเคราะห์

การทดลอง	ตัวเร่งปฏิกิริยา	UVA
1	✗	✗
2	✗	✓
3	✓	✗
4	✓	✓

ถังปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกทำงานโดยใช้แสง UVA ที่ความเข้มข้น 1,250 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในช่วงเวลาต่างๆ ได้แก่ 0, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ ผู้ผลิต Hitachi รุ่น U-3900 โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 400-700 ในการสแกนที่เหมาะสมสำหรับสี RB5



1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. หลอด UVA
3. เครื่องเขย่าผสม

รูปที่ 1 ถังปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติก

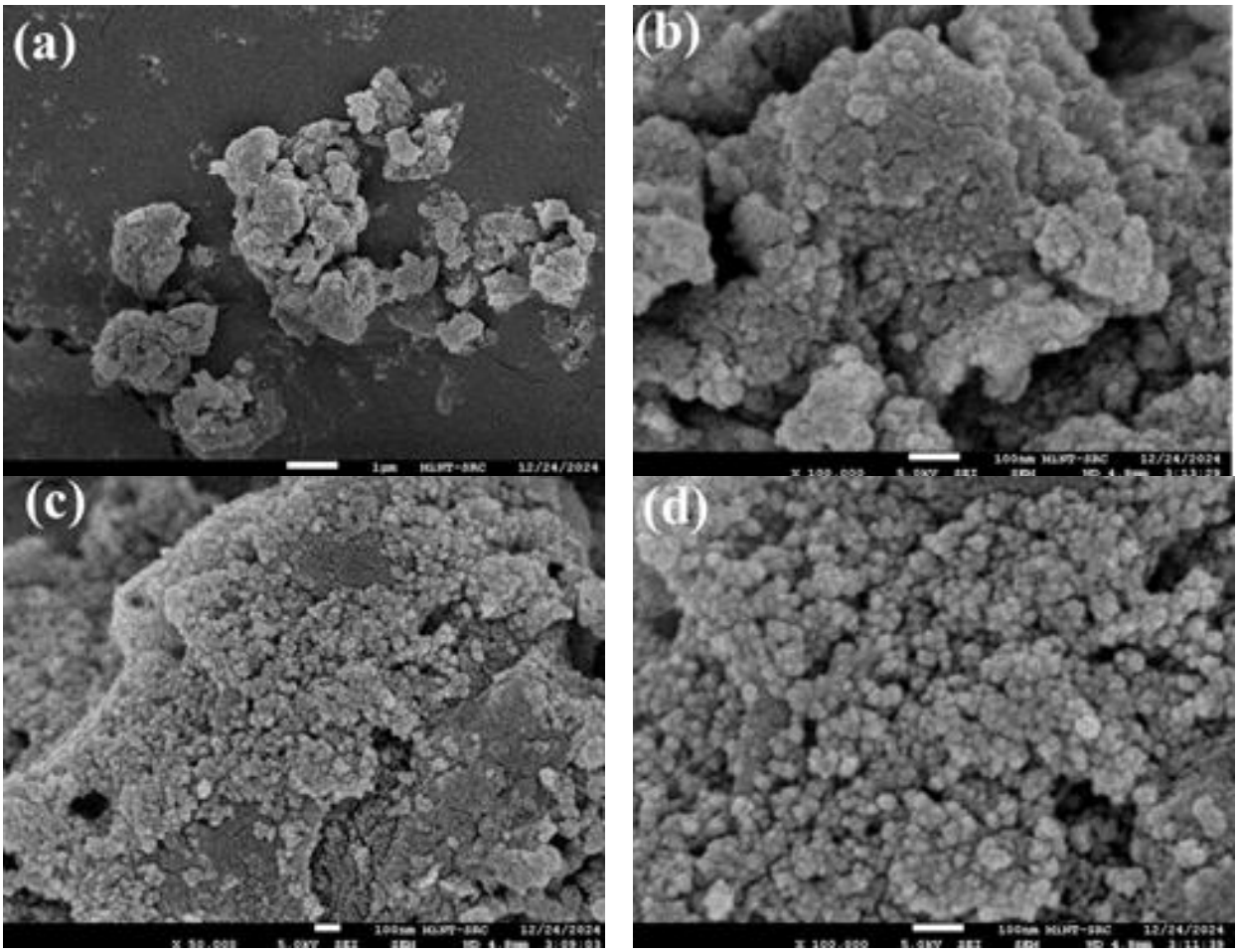
ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิส ถูกตรวจสอบโดยใช้ FE-SEM โดยผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 2 (a-d) แสดงภาพ FE-SEM ของคอมโพสิต MnFG ซึ่งบ่งชี้ว่ามีทั้ง g-C_3N_4 และ MnF อยู่ แต่การกระจายตัวของทั้งสองไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง g-C_3N_4 ถูกปกคลุมบางส่วนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา MnF โดยมีบางส่วนของอนุภาค MnF รวมตัวกับ g-C_3N_4 ในขณะที่บางส่วนยังคงแยกตัวอยู่ สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเกิดคอมโพสิตมีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้วัสดุมีประสิทธิภาพน้อยลงสำหรับการใช้งานเร่งปฏิกิริยาแสง [11, 12]

การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์

ประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อม RB5 ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยกำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกระบวนการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อการย่อยสลายสารปนเปื้อนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง UVA ที่ความเข้มแสง 1,250 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัม เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ RB5 ในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที จากตารางที่ 2 และรูปที่ 3 พบว่า ชุดการทดลองควบคุมที่ 1 แสดงให้เห็นว่า สารปนเปื้อนไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยตัวตัวเอง ในชุดการทดลองที่ 2 มีการเพิ่มแสง UVA เข้ามาในการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าการทดลองที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดกระบวนการโฟโตคะตะลิติก [13, 14] ในชุดการทดลองควบคุมที่ 3 มีการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ พบว่า ค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงที่สุดอยู่ที่ 24.09% แต่เนื่องจากปฏิกิริยาในการทดลองที่ 3 ไม่มีการเพิ่มแสง UVA ในระบบ จึงไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิติกได้ แสดงว่าการลดลงของความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เป็นผลมาจากกระบวนการดูดติดผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น [15-17]



รูปที่ 2 ภาพถ่าย FE-SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG,(a-d)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารปนเปื้อนสีย้อม RB5 ในน้ำเสียสังเคราะห์

การทดลอง	ตัวเร่งปฏิกิริยา	UVA	ประสิทธิภาพการย่อยสลาย (%)
1	✗	✗	10.75
2	✗	✓	11.64
3	MnFG	✗	24.09
4	MnFG	✓	93.01

จากตารางที่ 2 รูปที่ 3 และรูปที่ 4 การย่อยสลายของสีย้อม RB5 ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ มีประสิทธิภาพ ณ เวลา 180 นาที อยู่ที่ 93.01% เมื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG ที่มีการรวมตัวกันระหว่าง $MnFe_2O_4$ และ g-C_3N_4 มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสีย้อม RB5 ผ่านกระบวนการโฟโตคะตะลิติก โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือสามารถดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ทำให้เกิดการกระโดดของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ (valence band, VB) ไปยังแถบการนำ (conduction band, CB) ส่งผลให้เกิดการสร้างคู่ประจุ (electron-hole pairs, e^- - h^+) ในระหว่างกระบวนการ เพื่อให้เกิดอนุมูลออกซิเจนที่มีปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) เช่น ไฮดรอกซิล (•OH) และซุปเปอร์ออกไซด์ ($•O_2$) อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะถูกถ่ายโอนไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งช่วยลดอัตราการรวมตัวของ e^- และ h^+ [18-21] และกระตุ้นการผลิต ROS ขึ้นมา อนุมูลเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับสีย้อม RB5 โดยจะสลายโครงสร้างของมันให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงและมีอันตรายน้อยลง [22-25] กระบวนการดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงกลไกการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพซึ่งทำให้สามารถลดมลพิษในน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญตามสมการที่ 2-6

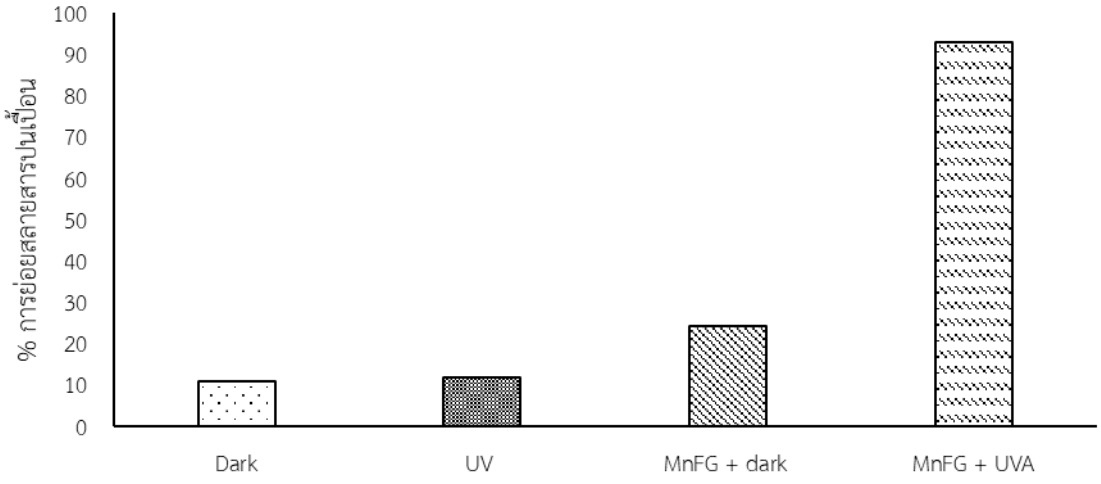
$$MnFG + h\nu \rightarrow e^{-}_{CB} + h^{+}_{VB} \quad (2)$$

$$e^{-} + O_2 \rightarrow \bullet O_2^{-} \quad (3)$$

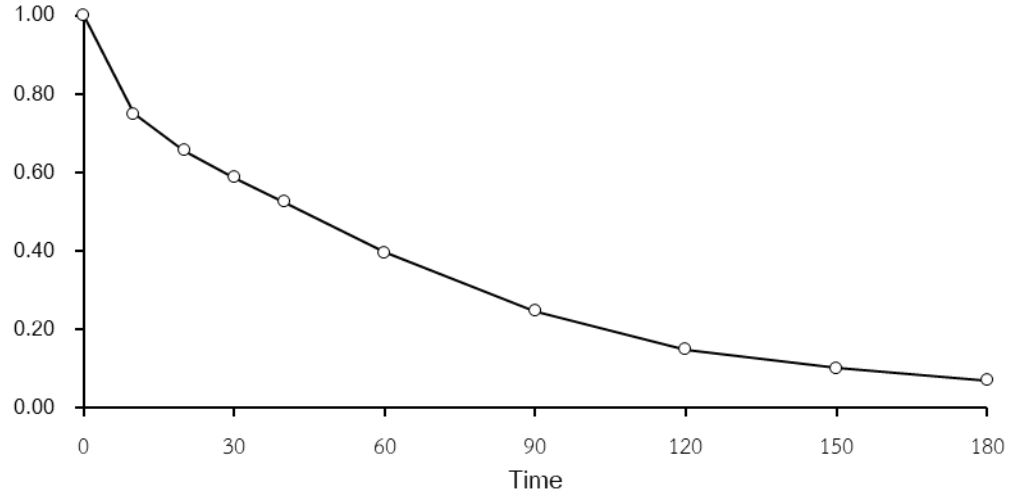
$$h^{+} + OH^{-} \rightarrow \bullet OH \quad (4)$$

$$h^{+} + H_2O \rightarrow \bullet OH + H^{+} \quad (5)$$

$$\bullet OH + RB5 \rightarrow \text{degraded products} \quad (6)$$



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อม RB5 ในน้ำเสียสังเคราะห์ของตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะการทดลองต่างๆ



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการย่อยสลายของสีย้อม RB5 ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติก

สรุป

งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา $MnFe_2O_4$ ร่วมกับ g-C_3N_4 ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จากผลการวิเคราะห์ FE-SEM ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในกระบวนการโฟโตคะตะลิติก เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยา MnFG ไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อม RB5 พบว่า มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 93.01% ซึ่งบ่งชี้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติก ได้อย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือวิเคราะห์ และอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบคุณอาจารย์และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความรู้และประสบการณ์ในงานวิจัยที่ช่วยให้การวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] Xu, T., et al., 2011: "*Significantly enhanced photocatalytic performance of ZnO via graphene hybridization and the mechanism study,*" **Applied Catalysis B: Environmental**,101, 3, pp.382-387.

[2] Wang, Q., et al., 2023: "*Recent Advances in g-C_3N_4-Based Materials and Their Application in Energy and Environmental Sustainability,*" **Molecules**,28, 1, pp.432.

[3] Asghar, N., et al., 2024: "*Advancement in nanomaterials for environmental pollutants remediation: a systematic review on bibliometrics analysis, material types, synthesis pathways, and related mechanisms,*" **Journal of Nanobiotechnology**,22, 1, pp.26.

[4] Bhanderi, D., P. Lakhani, and C.K. Modi, 2024: "*Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) as an emerging photocatalyst for sustainable environmental applications: a comprehensive review,*" **RSC Sustainability**,2, 2, pp.265-287.

[5] Tan, S.N., M.L. Yuen, and R.A. Ramli, 2025: "*Photocatalysis of dyes: Operational parameters, mechanisms, and degradation pathway,*" **Green Analytical Chemistry**,12, pp.100230.

[6] Wang, J., et al., 2020: "*Highly-efficient degradation of triclosan attributed to peroxymonosulfate activation by heterogeneous catalyst g-C_3N_4/$MnFe_2O_4$,*" **Chemical Engineering Journal**,391, pp.123554.

[7] Thakur, S., et al., 2024: "*Advances in powder nano-photocatalysts as pollutant removal and as emerging contaminants in water: Analysis of pros and cons on health and environment,*" **Advanced Powder Materials**,3, 6, pp.100233.

[8] Ge, Y., et al., 2020: "*Manganese ferrite/porous graphite carbon nitride composites for U(VI) adsorption from aqueous solutions,*" **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**,326, 1, pp.157-171.

[9] khan, I., et al., 2025: "*Synthesis, mechanism and environmental applications of g-C3N4 composites: A synergistic approach to adsorption and photocatalysis,*" **Separation and Purification Technology**,359, pp.130472.

[10] Gaber, N.M., et al., 2024: "*Engineered design of MnFe2O4/CoNiFe-LTH/g-C3N4 heterocatalyst for doxycycline degradation via Fenton oxidation process: Optimization and mechanism,*" **Surfaces and Interfaces**,51, pp.104528.

[11] Bernardino, E.G., et al., 2024: "*Photocatalyst of manganese ferrite and reduced graphene oxide supported on activated carbon from cow bone for wastewater treatment,*" **Environmental Science and Pollution Research**,31, 3, pp.4779-4796.

[12] Shen, Q., et al., 2023: "*Synthesis of $MnFe_2O_4$/g-C_3N_4 Composite for Enhanced Photocatalytic Degradation of Rhodamine B,*" **Russian Journal of Physical Chemistry A**,97, 9, pp.1880-1890.

[13] T. Al-fawwaz, A., E. Elhaddad, and A. Al Shra'ah, 2023: "*Synthesis of low-cost nanocomposite MnFe2O4 for enhancement of clean up the organic contamination from water,*" **Arabian Journal of Geosciences**,17, 1, pp.8.

[14] Miseki, Y. and K. Sayama, 2019: "*Photocatalytic water splitting for Solar hydrogen production using the carbonate effect and the Z-scheme reaction,*" **Advanced Energy Materials**,9, 23, pp.1801294.

[15] Chella, S., et al., 2015: "*Solvothermal synthesis of $MnFe_2O_4$-graphene composite—Investigation of its adsorption and antimicrobial properties,*" **Applied Surface Science**,327, pp.27-36.

[16] Ismael, M., 2020: "*A review on graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) based nanocomposites: Synthesis, categories, and their application in photocatalysis,*" **Journal of Alloys and Compounds**,846, pp.156446.

[17] Choi, Y., et al., 2017: "*Sequential Process Combination of Photocatalytic Oxidation and Dark Reduction for the Removal of Organic Pollutants and Cr(VI) using Ag/TiO2,*" **Environmental Science & Technology**,51, 7, pp.3973-3981.

[18] Singh, G., et al., 2023: "*A review on impacting parameters for photocatalytic degradation of organic effluents by ferrites and their nanocomposites,*" **Processes**,11, 6, pp.1727.

[19] Foroutan, R., et al., 2021: "*Carbon nanotubes/β-cyclodextrin/MnFe2O4 as a magnetic nanocomposite powder for tetracycline antibiotic decontamination from different aqueous environments,*" **Journal of Environmental Chemical Engineering**,9, 6, pp.106344.

[20] Ma, Q., et al., 2019: "*Synthesis of magnetic CuO/MnFe2O4 nanocompisite and its high activity for degradation of levofloxacin by activation of persulfate,*" **Chemical Engineering Journal**,360, pp.848-860.

[21] Liu, Z., Z. Gao, and Q. Wu, 2021: "*Activation of persulfate by magnetic zirconium-doped manganese ferrite for efficient degradation of tetracycline,*" **Chemical Engineering Journal**,423, pp.130283.

[22] Amulya, M.A.S., et al., 2021: "*Sonochemical synthesis of $MnFe_2O_4$ nanoparticles and their electrochemical and photocatalytic properties,*" **Journal of Physics and Chemistry of Solids**,148, pp.109661.

[23] Somasundaram, S., et al., 2019: "*Application of nanocomposites for photocatalytic removal of dye contaminants,*" **Photocatalytic Functional Materials for Environmental Remediation**,pp.131-161.

[24] Zhang, X., et al., 2021: "*Enhanced visible-light-assisted peroxymonosulfate activation over $MnFe_2O_4$ modified g-C_3N_4/diatomite composite for bisphenol A degradation,*" **International Journal of Mining Science and Technology**,31, 6, pp.1169-1179.

[25] Wang, X., A. Wang, and J. Ma, 2017: "*Visible-light-driven photocatalytic removal of antibiotics by newly designed C_3N_4@ $MnFe_2O_4$-graphene nanocomposites,*" **Journal of hazardous materials**,336, pp.81-92.

20R2-19

การออกแบบต้นแบบถังหมักเศษอาหารในครัวเรือนโดยใช้เซลแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน

Design of a prototype of a household food waste compost bin using solar cells as a power source

ทศพล พูลเจริญ[1] อรวรรณ โรจน์วิรุฬห์[*2] และ ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์[2]

Thotsapon Pulcharoen[1]; Orawan Rojviroon[*2]; and Thammasak Rojviroon[2]

1นักศึกษาบัณฑิตศึกษา; 2*รองศาสตราจารย์; 2รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ :06-4553-9466, โทรสาร : 02-5493412, E-mail: orawan_r@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ขยะอินทรีย์ซึ่งเกิดจากเศษอาหารและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรถือเป็นส่วนใหญ่ของขยะที่เกิดขึ้นในที่อยู่อาศัย หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ขยะเหล่านี้สามารถสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการกระจายตัวของเชื้อโรค ดังนั้น จึงใช้เทคโนโลยีการหมักที่ออกแบบเครื่องหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และระบบควบคุมการทำงานด้วย Programmable Logic Controller (PLC) เพื่อจัดการขยะอินทรีย์ในครัวเรือนอย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้วยการแปลงขยะอินทรีย์ให้กลายเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพสูง

เครื่องหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะนี้ออกแบบ โดยมีระบบหมุนเวียนอากาศ ใบพัดกวนขยะที่มีอัตราการหมุน 60 รอบต่อนาที ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่สามารถสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายเศษอาหาร โดยมีการใช้พลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 1000 วัตต์ แทนพลังงานจากแหล่งพลังงานไฟฟ้า สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 476 Wh หลังจากที่ทำการทดลองเติมวัตถุดิบเข้าไปในถังหมักพบว่าค่าอุณหภูมิค่อนข้างคงที่เนื่องจากถังหมักมีการควบคุมอุณหภูมิจึงทำให้อุณหภูมิภายมีค่าอยู่ในช่วง 46.48 – 49.42 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการหมักแบบเติมวัตถุดิบแบบกะและการเติมวัตถุดิบแบบต่อเนื่องจะมีค่า C/N ratio 16:1 และ 9:18 ค่าโพแทสเซียมมีค่า 0.79 และ 1.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักที่การวิชาการเกษตรกำหนด ซึ่งสามารถนำวัสดุหลังสิ้นสุดการหมักที่ได้นำไปใช้ประโยชน์เป็นสารปรับปรุงดินได้

คำสำคัญ : ถังหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะ, พลังงานแสงอาทิตย์, การจัดการขยะอาหาร, ระบบควบคุมอัตโนมัติ, ปุ๋ยหมัก, จุลินทรีย์ย่อยสลาย.

Abstract

Organic waste, comprising primarily food scraps and agricultural waste, constitutes a significant portion of household waste. Improper management of this waste can result in adverse environmental consequences, including water contamination, greenhouse gas emissions, and pathogen proliferation. To address this issue, composting technology was employed in the design of an intelligent organic composter.

The composter utilized solar energy and a programmable logic controller (PLC) to efficiently manage household organic waste and mitigate environmental impacts through the conversion of organic waste into high-quality compost. This intelligent organic composter was designed with an air circulation system, a waste stirring blade operating at a rotation speed of 60 rpm, and a temperature and humidity control system. These

features facilitated optimal conditions for the automated composting process, thereby reducing the decomposition time of food waste. A 1,000-watt solar panel powered the system, generating 476 Wh of electricity. Following the introduction of raw materials into the fermentation tank, temperature stability was observed. The temperature control system maintained the internal temperature within a range of 46.48℃ to 49.42℃. The experiment yielded C/N ratios of 16:1 and 9:1 for batch fermentation and continuous fermentation, respectively. Potassium values of 0.79 and 1.8 were obtained, which met the compost standard criteria established by the Agricultural Science Department. The resulting materials from fermentation are suitable for use as soil conditioners.

Keywords: Smart Organic Waste Composter, Solar Energy, Food Waste Management, Automatic Control System, Compost, Decomposing Microorganisms.

บทนำ

จากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการเพิ่มจำนวนประชากรของประเทศไทยในปัจจุบัน มีสิ่งของเหลือใช้ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคครัวเรือนที่มีพฤติกรรมใช้จ่ายของคนชั้นกลางที่มีการสะสมอาหารมากเกินความจำเป็น เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขยะประเภทอาหารอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2564 พบว่า ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยในปริมาณ 24.98 ล้านตันต่อปี [1-4] โดยขยะเหล่านี้เป็นขยะที่ถูกกำจัดอย่างถูกวิธีเพียงร้อยละ 43 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด โดยมีวิธีการกำจัดขยะดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น การเผาในเตาเผาควบคุม (Incinerate) และนำไปผลิตปุ๋ย (Compose) เป็นต้น และร้อยละ 57 ของขยะที่เหลือถูกนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfills) หรือการเทกอง (Uncontrolled or Open dumps) [5, 6] ทั้งนี้ประเทศไทยมีสถานที่จัดเก็บขยะกลางแจ้งกระจายอยู่ทั่วประเทศซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหามลพิษต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆไปสู่แหล่งภายนอกเช่น พาหะนำโรค กลิ่น และน้ำเสียจากน้ำชะขยะ นอกจากนี้พฤติกรรมทิ้งขยะโดยไม่มีการคัดแยกของประชาชนโดยเฉพาะการทิ้งขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพรวมกับขยะทั่วไป ทำให้การคัดแยกขยะและการกำจัดเป็นไปอย่างยากลำบาก [7, 8]

จากการศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากครัวเรือน พบว่า เป็นขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพคิดเป็นร้อยละ 25.52 – 76.70 [9] เช่น เศษอาหาร และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในครัวเรือน เป็นต้น ซึ่งขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพยังมีศักยภาพที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าได้อย่างถูกวิธีเพื่อลดปริมาณการสะสมของขยะอินทรีย์ การจัดการปัญหาขยะเหล่านี้โดยมีหลากหลายวิธี เช่น การฝังกลบ การเผา การเทกอง การผลิตปุ๋ย และการหมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ เป็นต้น ในส่วนของวิธีการข้างต้นเป็นการจัดการปัญหาที่ปลายทาง ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้แก้ปัญหาที่ต้นทางได้ คือ การแยกขยะอาหารจากครัวเรือนออกจากขยะทั่วไปเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับทำเป็นสารปรับปรุงดินโดยใช้วิธีการหมักในถังแบบปิดที่ออกแบบให้มีขนาดเล็กเหมาะสมกับการใช้งานในครัวเรือนโดยเชื่อมต่อกับระบบสุขาภิบาลอาคาร โดยศึกษาและออกแบบอุปกรณ์และสภาวะที่เหมาะสม ในการเปลี่ยนรูปแบบและสร้างมูลค่าให้กับขยะอินทรีย์ในครัวเรือนเพื่อผลิตเป็นสารปรับปรุงดิน วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ การออกแบบและสร้างถังหมักขยะอินทรีย์เพื่อจัดการขยะในครัวเรือนโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมสภาวะของกระบวนการหมักขยะอินทรีย์ โดยศึกษาลักษณะสมบัติเบื้องต้นของขยะอินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักในถังหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะและศึกษาความเป็นไปได้ของการนำขยะอินทรีย์มาผลิตเป็นปุ๋ยหมักจากถังหมักขยะอินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์
   - 1.1 ตู้อบลมร้อน
   - 1.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
   - 1.3 ชุดย่อยในโตรเจน
   - 1.4 สเปคโตรโฟโตรมิเตอร์
   - 1.5 แผงโซลาร์เซล ขนาด 1000 w
   - 1.6 ตู้ควบคุมไฟฟ้าและชุดให้ความร้อน
   - 1.7 อ่างล้างจานและเครื่องบดย่อยใต้อ่างล้างจาน

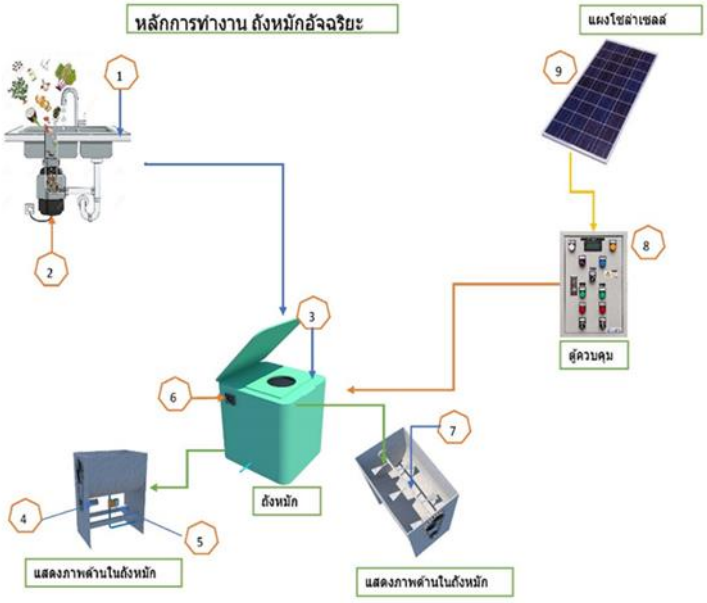
1.8 ถังหมักขนาด 89 x 80 x 108 เซนติเมตร

2. รายละเอียดถังหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะในครัวเรือน

การออกแบบถังหมักขยะอินทรีย์ในครัวเรือนขนาดเล็กที่มีจำนวน 4-5 คนต่อครัวเรือนให้มีขนาดที่เหมาะสมของถังหมัก โดยทั่วไปขยะในครัวเรือน 1.2 กก./ครัวเรือน/วัน รองรับขยะประมาณ 1 สัปดาห์โดยกำหนดปริมาตรถังที่มีขนาดความจุ 40 กิโลกรัม ถังหมักมีรูปร่างทรงสี่เหลี่ยมภายในเป็นวัสดุสเตนเลสบุไฟเบอร์กลาส ขนาด 89 x 80 x 108 เซนติเมตร ภายในมีใบกวนสเตนเลส มอเตอร์และชุดเฟืองขับใช้สำหรับพลิกกลับกองขยะภายในถังหมัก เครื่องฮีตเตอร์ให้ความร้อน เซ็นเซอร์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ดังรูปที่ 1

โดยละเอียดภายในถังหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะในครัวเรือนสามารถอธิบายได้ดังนี้

หมายเลข 1 ซิ้งค์ล้างจาน
หมายเลข 2 เครื่องบดย่อยขยะใต้ซิ้งค์
หมายเลข 3 ถังหมักขยะครัวเรือนภายนอก
หมายเลข 4 มอเตอร์ขับใบกวน
หมายเลข 5 โซลินอยด์วาล์วระบายน้ำ
หมายเลข 6 พัดลมระบายอากาศ
หมายเลข 7 ใบกวนเศษอาหาร
หมายเลข 8 ตู้ควบคุมไฟฟ้า
หมายเลข 9 แผงโซล่าเซลล์



รูปที่ 1 ถังหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะในครัวเรือน

3. การเตรียมวัสดุที่ใช้หมัก

ทำการเตรียมเศษอาหารให้สอดคล้องกับกับที่เกิดขึ้นในครัวเรือน โดยมีการใช้อัตราส่วนของผักต่อข้าวต่อเนื้อสัตว์เป็น 30:4:1 เพื่อเป็นการควบคุมเริ่มต้นให้มีค่าคงที่ ทำการสับให้ชิ้นมีขนาด 3-5 เซนติเมตรเพื่อให้ง่ายต่อการย่อยสลาย โดยในการหมักจะมี 2 รูปแบบคือ หมักแบบกะใช้เวลา 7 วันปริมาณอาหารที่เติมคือ 35 กิโลกรัมและหมักแบบเติมอาหารทุกวันในปริมาณคงที่คือวันละ 5 กิโลกรัมใช้เวลา 7 วัน ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการหมักปุ๋ยใช้ตาม

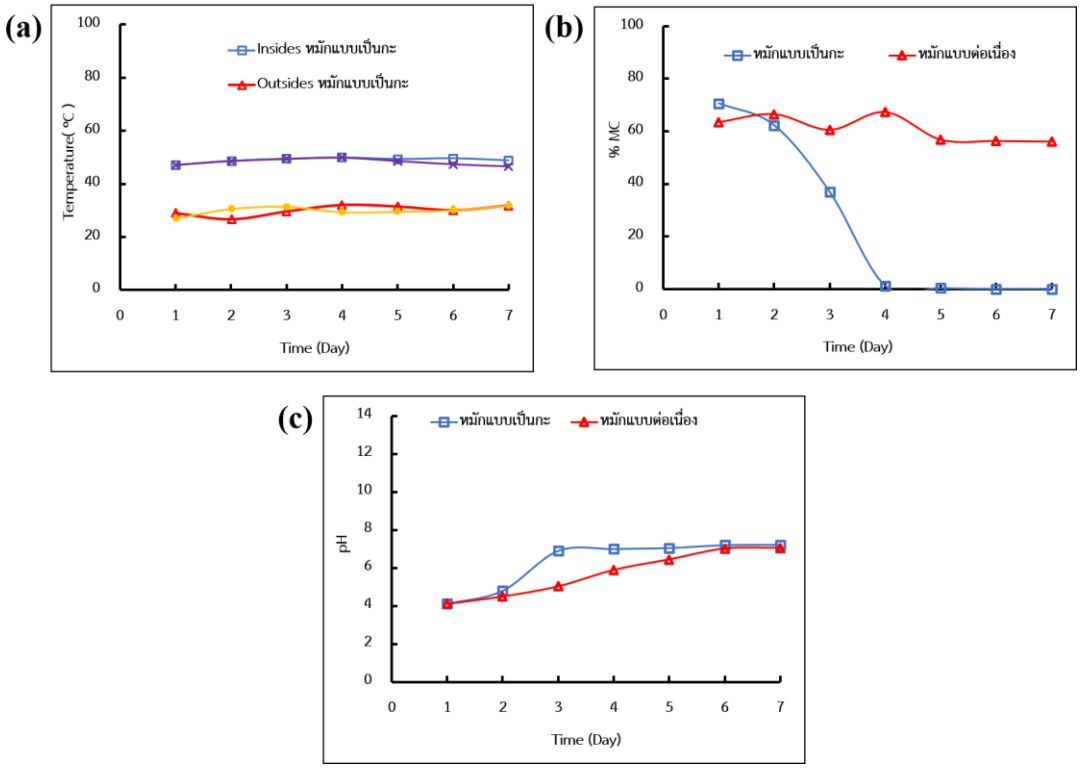
มาตรฐานของปุ๋ยหมักในประเทศเป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 [10] พารามิเตอร์ที่มีการวิเคราะห์ทุกวันได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์คาร์บอนและเปอร์เซ็นต์เถ้า พารามิเตอร์ที่มีการวิเคราะห์ในวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการหมักได้แก่ ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ธาตุอาหาร เชื้อที่ทำให้ก่อโรค

4. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และ พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด

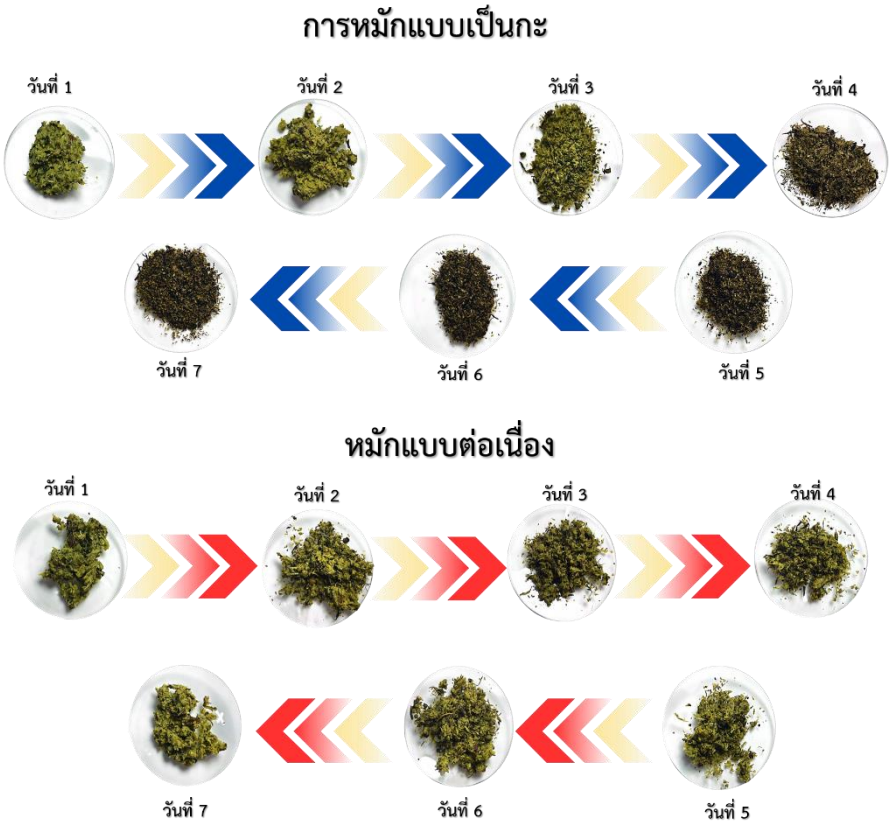
การตรวจวัด คือ อุณหภูมิ, ความชื้น,และพีเอช อินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุ, ไนโตรเจน, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, โพแทสเซียม, ฟอสฟอรัสทั้งหมด, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, การนำไฟฟ้า, *Fecal Coliforms, Salmonella sp,*

ผลการทดลองและวิจารณ์

เครื่องหมักขยะอินทรีย์อัจฉริยะนี้ออกแบบ โดยมีระบบหมุนเวียนอากาศ ใบพัดกวนขยะที่มีอัตราการหมุน 60 รอบต่อนาที ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่สามารถสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายเศษอาหาร โดยมีการใช้พลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 1,000 วัตต์ ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอต่อกระบวนการหมักในแต่ละวันโดยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 476 Wh และมีระบบ IOT สำหรับการสั่งการไปที่ถังหมัก โดยมีการติดตามผลการทดลองทุกวันเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ในการหมักแบบกะซึ่งมีการเติมวัตถุดิบครั้งเดียวในวันเริ่มต้น จะมีค่าความชื้นอยู่ที่ 70.62% ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 4.11 เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความชื้นอยู่ที่ 0.06% ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ที่ 7.05 ในขณะที่การหมักแบบเติมวัตถุดิบต่อเนื่องทุกวันจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นและสุดท้ายเท่ากับ 63.49%, 56.12%, 4.11 และ 7.22 ตามลำดับ เนื่องจากถังหมักมีการควบคุมอุณหภูมิจึงทำให้อุณหภูมิภายมีค่าอยู่ในช่วง 46.48 – 49.42 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงไว้ใน รูปที่ 2 (a) อุณหภูมิ, (b) ความชื้น (% MC), และพีเอช (c) และ รูปที่ 3.เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักภายในถังหมัก



รูปที่ 2 การทดสอบทั้งหมดเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำปุ๋ยหมักในถังปุ๋ยหมักแบบเป็นกะ และ หมักแบบต่อเนื่อง, (a) อุณหภูมิ, (b) ความชื้น (% MC), (c) ค่าพีเอช



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุหมักภายใต้การหมักแบบกะและแบบต่อเนื่องในช่วงเวลา 7 วัน

จากการเปรียบเทียบการทดลองการเติมวัตถุดิบ พบว่า ในการหมักแบบกะซึ่งมีการเติมวัตถุดิบครั้งเดียวในวันเริ่มต้น จะมีค่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตเจน 16:1 ค่าอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ(oc) 6.2 ค่าไนโตเจน 0.8% โพแทสเซียม 0.79% ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.1 % เชื้อที่ก่อให้เกิดโรค *Fecal Coliforms* <3 ,*Salmonella sp.*ไม่พบ ในขณะที่การหมักแบบเติมวัตถุดิบต่อเนื่องทุกวันจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตเจน 9:1 ค่าอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ(oc) 13.6 ค่าไนโตเจน 1.5 โพแทสเซียม 1.8 % ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.3 % เชื้อที่ก่อให้เกิดโรค *Fecal Coliforms* > 1.1 x105 ,*Salmonella sp.* ไม่พบ จากผลการทดสอบพบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ ช่วงเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียงกันแต่เมื่อทำการหมักแตกต่างกัน จึงทำให้ธาตุอาหารช่วงสิ้นสุดการหมักไม่ต่างกันมีผลต่อการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์การหมักแบบกะจะเป็นการเติมเพียงครั้งเดียวเมื่อมีการใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงในถังหมักจึงทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและทำให้เชื้อที่ก่อให้เกิดโรคไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในขณะที่มีการเติมวัตถุดิบทุกวันจะทำให้ความชื้นยังคงมีอยู่และเชื้อที่ก่อโรคยังปนเปื้อนมากับอาหารชุดสุดท้าย ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติและธาตุอาหารหลังการหมัก

คุณสมบัติและธาตุอาหารหลังการหมัก	สารเริ่มต้นการหมัก	การหมักแบบเป็นกะ	หมักแบบต่อเนื่อง	ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน C/N ratio	21:1	16:1	9:1	<20:1
อินทรียวัตถุ (OC)	53.6	6.2	13.6	≥ 30%
ไนโตรเจน (%TKN)	2.6	0.8	1.5	≥1%
โพแทสเซียม (%K_2O)	1.2	0.79	1.8	≥0.5%
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%P_2O_5)	0.5	0.1	0.3	≥0.5%
เชื้อโรค - Fecal Coliforms - *Salmonella sp.*	 > 1.1 x10^5 ไม่พบ	 < 3 ไม่พบ	 > 1.1 x10^5 ไม่พบ	 ไม่พบ ไม่พบ

สรุปผล

การหมักทั้งสองรูปแบบส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้น, พีเอช, และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมักอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการหมักแบบกะ ความชื้นลดลงจาก 70.62% เหลือ 0.06% ในขณะที่ pH เปลี่ยนจาก 4.11 เป็น 7.05 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สำหรับการหมักแบบต่อเนื่อง ความชื้นลดลงจาก 63.49% เหลือ 56.12% และ pH เปลี่ยนจาก 4.11 เป็น 7.22 อุณหภูมิภายในถังหมักถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 46.48 – 49.42 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักระหว่างการหมักทั้งสองรูปแบบ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักที่การวิชาการเกษตรกำหนด ได้แก่อัตราส่วน C/N มีค่าเท่ากับ 16:1 และ 9:1 โพแทสเซียม 0.79 และ 1.8 ซึ่งสามารถนำวัสดุหลังสิ้นสุดการหมักที่ได้นำไปใช้ประโยชน์เป็นสารปรับปรุงดินได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือวิเคราะห์ และอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบคุณอาจารย์และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความรู้และประสบการณ์ในงานวิจัยที่ช่วยให้การวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] Jitto, P. and W. Nakbanpote, *Food waste management in Thailand for sustainable development*. 2023. p. 117-136.

[2] Babel, S., A. Ta, and T. Habarakada Liyanage, *Current Situation and Challenges of Waste Management in Thailand*. 2020. p. 409-440.

[3] Bunditsakulchai, P. and C. Liu. 2021. "Integrated Strategies for Household Food Waste Reduction in Bangkok. **Sustainability**, 13, 14: pp.7651.

[4] Sawasdee, A., S. Rodboonsong, and W. Joemsittiprasert. 2020. "Reducing food waste generation in Thailand through environmental consciousness, green marketing, and purchasing discipline: Mediating role of recycling behavior. **World Food Policy**, 6, 1: pp.60-77.

[5] Tuangphorn, P., et al. 2024. "The effect of the 5Rs with the HBM program on municipal solid waste management knowledge and perceptions among rural residents in Pong District, Phayao Province. **Journal of Public Health and Development**, 23, 1: pp.182-195.

[6] Amornsiriphong, S., et al. 2024. "Lesson learned on Waste Management with Co-productive Public Services in Community Learning Centers, Tha Muang District, Kanchanaburi, Thailand. **Journal of Ecohumanism**, 3, 8: pp.7006 – 7016.

[7] Ketwalee Kositkanawuth, T.M.-o., Thongchai Panswad, Sorakrich Techapaphawit, *Current situation and challenges of municipal solid waste management in Thailand: A waste flow diagram analysis*. 2022. p. 11-21.

[8] Abubakar, I.R., et al. 2022. "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 19, 19: pp.12717.

[9] Sarker, A., et al. 2024. "A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. **Sustainable Food Technology**, 2, 1: pp.48-69.

[10] กรมวิชาการเกษตร, ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. *2548*. 2005.

21R1-01

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฮโดรไซโคลน โดยอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง

Optimization of Hydrocyclone System by Internet of Things

ปิยะ ตั้งพงษ์ [1] และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ[2]

Piya Tangpong[1] and Suchat Leungprasert[2]

[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*โทรศัพท์ : 027440761..., โทรสาร : 027440761..,E-mail : piya.tan@ku.th, spkoman@gmail.com

บทคัดย่อ

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีแนวคิดในการใช้ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (IOT) มาควบคุมการทำงานของ ไฮโดรไซโคลน โดยการวัดค่าความขุ่น (Turbidity ,NTU) ของน้ำ ด้านขาออกจาก ไฮโดรไซโคลน ด้วย Turbidity Sensor แล้วใช้แอพพลิเคชั่น Blynk ใน Smart Phone ส่งคำสั่งมายัง Arduino Board เพื่อควบคุมให้ วาล์วเปิดระบายน้ำตะกอน ออกจากถังเก็บตะกอนถ้าค่าความขุ่นมากกว่า ค่าที่ตั้งไว้ และ ปิดวาล์วเมื่อค่าน้อยกว่าที่ตั้งไว้ ในการศึกษานี้ ตั้งค่าที่ 30, 50, 90 NTU และ ทดสอบทั้งการเปิดวาล์วตลอด และ ปิดวาล์วตลอด จากการศึกษา พบว่าสามารถใช้ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ในการวัดค่าความขุ่นน้ำ (NTU) ด้านขาออกจาก ไฮโดรไซโคลน และ ส่งสัญญาณ มาควบคุมการเปิดวาล์ว และ ปิดวาล์วได้ตามค่าที่ตั้งไว้ และ พบว่าการตั้งค่าความขุ่นน้อย จะมีการสูญเสียน้ำออกจากระบบ มากกว่าการตั้งค่าความขุ่นมาก ส่วนการไม่ปล่อยน้ำจากระบบเลย จะทำให้ค่าความขุ่น เพิ่มมากขึ้นและ ไม่สามารถควบคุมให้ลดลงได้

คำสำคัญ : ไฮโครไซโคลน ; อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ; ความขุ่น ; การสูญเสียน้ำ

Abstract

In this study, the idea was to use the Internet of Things (IOT) to control the operation of the hydrocyclone by measuring the turbidity (Turbidity, NTU) of the water exiting the hydrocyclone with a Turbidity Sensor and then using The Blynk application in Smart Phone sends commands to Arduino Board to control the valve opened to release the sludge water from the sludge storage tank. If the turbidity value is greater than the set value and closed the valve when the value is less than the set value. In this study, the values were set at 30, 50, 90 NTU and both always opened and closed valves were tested. From the study, it was found that it can be used the Internet of Things coordinates the measurement of water quality (NTU) from the hydrocyclone and sends signals to control the opening and closing of the valve according to the set value and it is found that the turbidity setting is low. There will be more water lost from the system than with a high turbidity setting. As for not releasing water from the system at all. will cause the turbidity value add more and cannot be controlled to decrease.

Keywords : Hydrocyclone ; Iot ; Turbidity; Water lost

บทนำ

ไฮโดรไซโคลน เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ถูกนำมาใช้ ในการบำบัดน้ำแยกตะกอนออกจากน้ำ อาศัยกลไกแยกสาร โดยใช้หลักการ เคลื่อนที่แบบหมุน ให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ และความแตกต่างของความหนาแน่น หรือ น้ำหนักของสาร ที่เคลื่อนที่โดยแรงเหวี่ยงไซโคลน แรงเหวี่ยงเกิดจากความเร็วของน้ำ ด้านขาเข้าของ ไฮโดรไซโคลน ด้วยความเร็วสูงระดับหนึ่ง รวมกับการออกแบบรูปร่างของ ไฮโดรไซโคลน เกิดแรงเหวี่ยงจากความเร็ว ในระบบ ที่มีของแข็งปนอยู่กับของเหลว สารที่เป็นของเหลวหรือสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนเข้าสู่ศูนย์กลางของ ไฮโดรไซโคลน และไหลออกทางด้านบน (Overflow) [1,2] ส่วนของแข็งหรือสารที่มี ความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนออกจากศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน สู่ผนัง และไหลออกทางด้านล่าง (Underflow) โดยที่ ไฮโดรไซโคลนไม่มีส่วนเคลื่อนที่ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และบำรุงรักษาต่ำง่ายต่อการใช้งาน นอกจากการใช้การบำบัดน้ำในระบบชลประทาน ระบบฟาร์ม ระบบสปริงเกอร์รดน้ำ แล้วยังสามารถใช้ในการ บำบัดขั้นต้น (Pretreatment) เพื่อลด ปริมาณตะกอนของแข็ง ในระบบก่อนเข้า ถังกรองทราย ถังคาร์บอน เรซิ่น ใส้กรองละเอียด ระบบกรองในหอหล่อเย็น ทั้งในอุตสาหกรรม เหมืองแร่ โลหะเคมี โรงไฟฟ้า และ ปิโตรเคมี

ในการใช้งาน ไฮโดรไซโคลน จะต้องมีการระบายน้ำ ออกจากถังกักเก็บตะกอน ทางด้านล่างที่ตะกอนออกมา จากท่อด้านล่างเป็นระยะ ตามเวลา เพื่อลดการ ย้อนกลับของตะกอน ออกสู่ท่อออกด้านบน ซึ่งจะมีตะกอน แต่ในการใช้งาน เป็นการยาก ที่จะทราบ ว่าจะมีการปล่อยน้ำ ออกจากถังกักเก็บตะกอนตอนไหน เพราะถ้ามีการ ปล่อยน้ำออกบ่อย ก็จะเกิดการสูญเสียน้ำจากระบบมากขึ้น [3,4,5]

ปัจจุบัน ระบบอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง [A] เข้ามามีบทบาทในระบบ การจัดการน้ำมากขึ้น การวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์นำ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (IOT) มาควบคุมการทำงานของ ไฮโดรไซโคลน เพื่อลดการปล่อยน้ำออกจากระบบ และ ควบคุมคุณภาพน้ำ ให้ได้ตามต้องการ ทำให้ไฮโดรไซโคลน มีประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น โดยการใช้ Arduino Board มารับสัญญาน จากเซนเซอร์วัดความขุ่น (Turbidity sensor) ที่นำมาตรวจวัดค่าความขุ่น (Turbidity ,NTU) ของน้ำด้านขาออกจาก ไฮโดรไซโคลน แล้วใช้ แอพพลิเคชั่น Blynk ใน Smart Phone ส่งคำสั่งมาที่ Arduino Board [6,7] เพื่อควบคุมให้ วาล์วเปิดระบายปล่อยน้ำตะกอนออก จากถังเก็บตะกอน ตามค่าความขุ่นที่ตั้งไว้

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยได้มีการออกแบบชุดการทดลอง โดยใช้น้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่เป็นแหล่งน้ำ.ในระบบฟาร์ม ใส่ในถังกวน แล้วใช้ปั้ม ปั้มน้ำเข้าสู่ไฮโดรไซโคลน แล้ว หมุนเวียน กลับมาเข้ามายังถังเก็บตัวอย่าง ตามรอบเวลาการทดลอง

ในส่วนระบบ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ใช้ อุปกรณ์อาดูโน่ ESP32 Dev เป็นตัวควบคุม รับสัญญานจาก Turbidity sensor ส่งข้อมูลผ่าน แอพพลิเคชั่น Blynk ใน Smart Phone เพื่อแสดงผลข้อมูลความขุ่น และ ส่งสัญญานควบคุม วาล์ว เปิด ปิด น้ำจากถังเก็บตะกอน

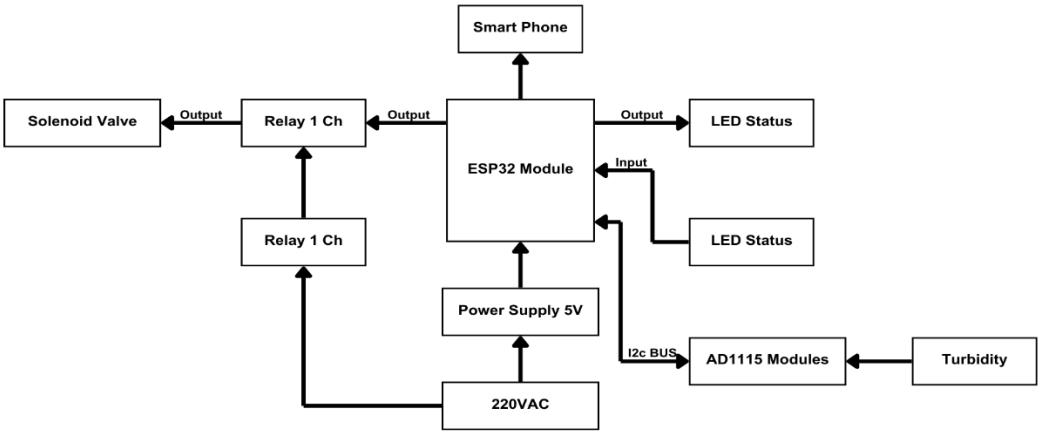
ตาราง 1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

อุปกรณ์	หน้าที่	
อุปกรณ์ Hydrocyclone size 2" model IWK- 2 IN / body PVC	แยกตะกอน	
ปั๊มขนาด 2 HP 220-240 VAC / 50 Hz Flow 100-500 L/ min Brand Smil Model SGF-5AM	ปั๊มน้ำเข้าระบบ	
เกจวัดแรงดัน (**Pressure Gauge**) Scale; 0- 10 bar Brand ; STF	วัดความดันในระบบ	
ถังเก็บตัวอย่างน้ำ ติดตั้ง ใบกวน ถัง พีวีซี ขนาด 200 ลิตร ติดตั้งใบกวนขนาด 50 รอบต่อนาที	เก็บตัวอย่างน้ำ	
มิเตอร์วัดความขุ่น Turbidity meter Brand HACH model 2100AN Tubidimeter	ใช้ในการ เทียบค่า NTU กับตัวอย่างน้ำที่ทดสอบ	
บอร์ด Arduino ESP32 Dev module	ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง และเชื่อมต่อ กับ แอพพลิเคชั่น Blynk ผ่าน wifi	
เซ็นเซอร์วัดความขุ่นในน้ำ Turbidity senser Type EC Sensor Turbidity Sensor Module (โมดูลเซ็นเซอร์วัดความขุ่นในน้ำ)	เซนเซอร์วัดระดับความขุ่นของน้ำโดยตรวจสอบจากการนำและหักเหของแสง	
วาล์วปล่อยตะกอน Drain valve Type Solenion valve size 1 in 220V AC	เปิด / ปิดน้ำ	
บีกเกอร์แก้ว (Beaker glass)เป็นแก้วใส	วัดปริมาณน้ำทิ้ง	
APPLICATION Blynk ผ่าน smart phone iphone 11	ตั้งค่า กับควบคุมการเปิดวาล์ว	

ในงานวิจัย เป็นการใช้เซนเซอร์วัดความขุ่น ของน้ำด้านขาออกจาก ไฮโดรไซโคลน เนื่องจากเป็น อุปการณ์ที่ ราคาไม่แพง เหมาะสมกับระบบ สมาร์ทฟาร์ม



รูปที่ 1 การประกอบชุดการทดลอง ไฮโดรไซโคลน



รูปที่ 2 ไดอะแกรมอาดูโน่การวัดค่าและควบคุมวาล์ว

วิธีการ ได้นำระบบ IOT มาใช้ในการ วัดค่าความขุ่น (Turbidity , NTU) น้ำด้านขาออก โดยได้นำน้ำจากแหล่งน้ำมาผ่าน ไฮโดรไซโคลน แล้ววัด ความขุน (Turbidity, NTU) น้ำด้านขาออก และ หาปริมาณน้ำที่ปล่อยจากถังเก็บตะกอน

ในการศึกษา ได้ตั้งค่าความขุ่นค่า 30 NUT ความขุ่นน้อย , 50 NTU ความขุ่นปานกลาง ,90 NTU ความขุ่นมาก และ เปิดระบายตะกอนตลอดเวลา กับไม่มีการเปิดวาล์วระบายตะกอน ถ้าค่าความขุ่นเกินจากที่ตั้งค่าไว้ให้ วาล์วระบายน้ำจะเปิดระบายตะกอนน้ำ Underflow บันทึกค่า NTU ทุก 5 นาที เป็นเวลา 120 นาทีต่อการทดลอง 1 รอบ พร้อมกับหาปริมาณน้ำที่ปล่อยจากถังเก็บตะกอน ทำการทดลอง 3 ครั้งต่อรอบการทดลอง

ในส่วนของการตั้งค่า เป็นค่าจาก Turbidity meter ซึ่งได้มีการสอบเทียบจาก ห้องแล็ป มหาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

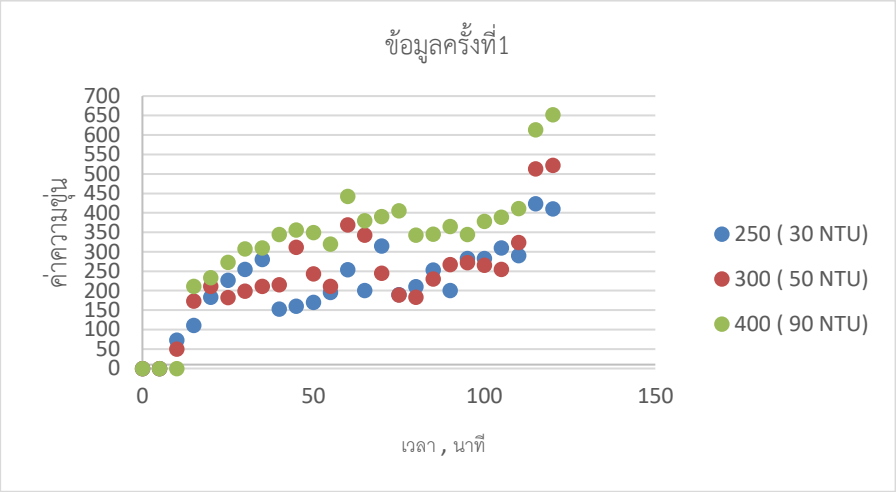
ตาราง 2 แสดงการเทียบค่า Turbidity sensor กับ Turbidity meter

NTU	ค่าที่อ่านจาก Turbidity Senser
30	250
50	300
90	400
162	700

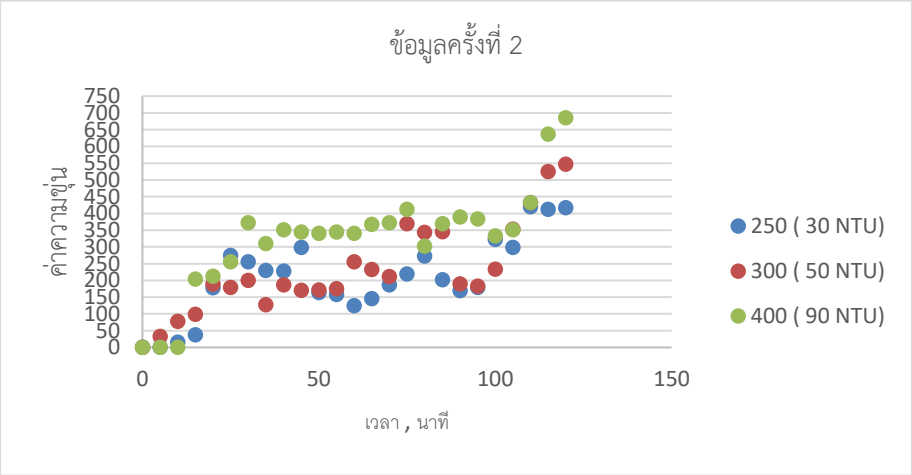
โดย ชุดข้อมูล 1 ตั้งค่า 250 (30 NTU) ความขุ่นน้อย , ชุดข้อมูล 2 ตั้งค่า 300 (50 NTU) ความขุ่นปานกลาง , ชุดข้อมูล 3 ตั้งค่า 400(90 NTU) ความขุ่นมาก

ผลการทดลองและวิจารณ์

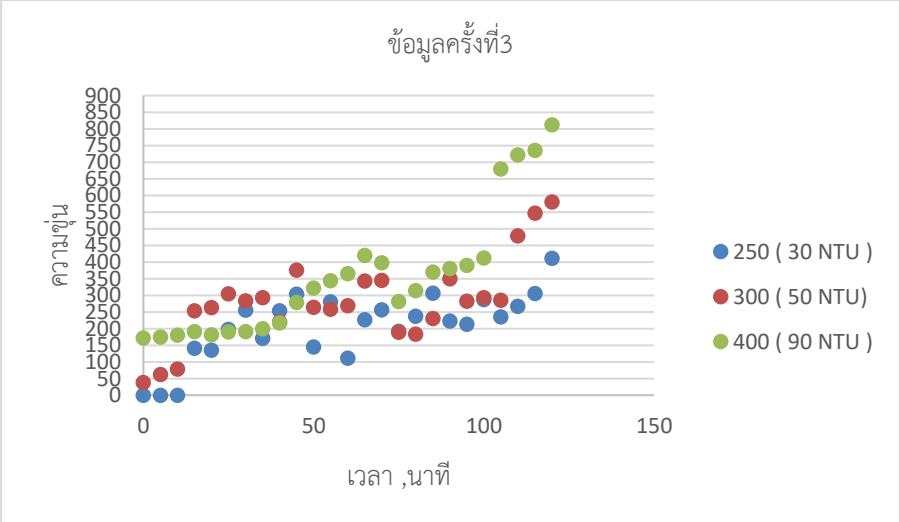
ผลการทดลอง นำมาพล็อตกราฟ ในการทดลองแต่ละครั้ง



รูปที่ 3 แสดงการทดลอง ความสัมพันธ์ ระหว่างเวลา กับ ค่าความขุ่น ในการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4 แสดงการทดลอง ความสัมพันธ์ ระหว่างเวลา กับ ค่าความขุ่น ในการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 5 แสดงการทดลอง ความสัมพันธ์ ระหว่างเวลา กับ ค่าความขุ่น ในการทดลองครั้งที่ 3

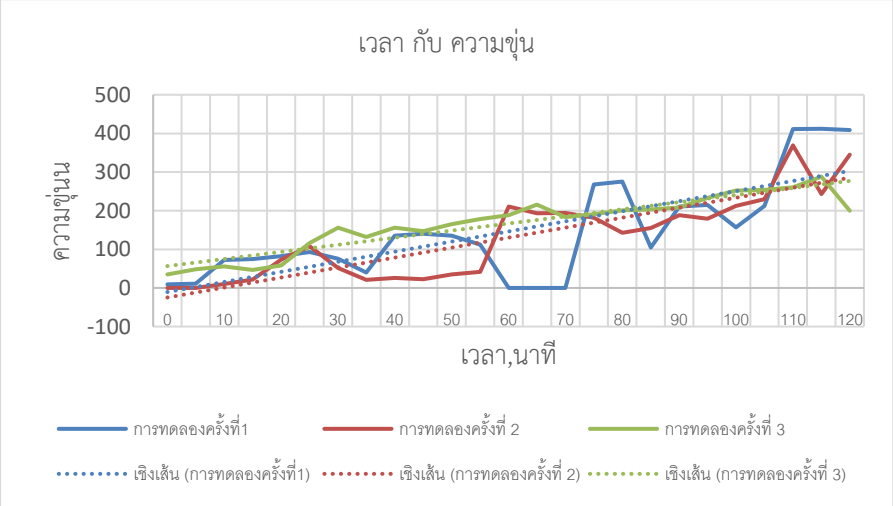
ในการทดลองทั้งสามครั้ง พบว่า ชุดการทดลองสามารถ ทำงานควบคุม การปิดวาล์วได้ตามที่ ออกแบบไว้ โดยเมื่อถึงค่าความขุ่นที่ตั้งไว้ วาล์วจะมีการเปิดเพื่อปล่อยน้ำตะกอน แล้ว ค่าความขุ่นจะลดลง วาล์วจะหยุดทำงาน และเมื่อค่าความขุ่นถึงค่าที่ตั้งก็จะทำงาน สลับไปตาม ค่าความขุ่นของน้ำ แต่ในการทดลองพบว่า ช่วงนาทีประมาณ 100 เป็นต้นไปแม้เปิดวาล์ว ปล่อยตะกอน ค่ายังไม่ลดลง แต่ในการตั้งค่า เซนเซอร์ 250 (30 NTU สีฟ้า ชุดข้อมูลที่ 1) จะทำให้ ค่าความขุ่นที่วัดได้มีแนวโน้ม เพิ่มช้ากว่า ค่า 300 (50 NTU สีแดง ชุดข้อมูลที่ 2) และ 400 (90 NTU สีเขียว ชุดข้อมูลที่ 3) ตามลำดับ

จากการทดลองได้ บันทึกข้อมูลความถี่ในการเปิดวาล์ว และปริมาณน้ำที่สูญเสีย และหา เปอร์เซ็นน้ำที่ สูญเสียจากระบบ ตามตารางที่ 3

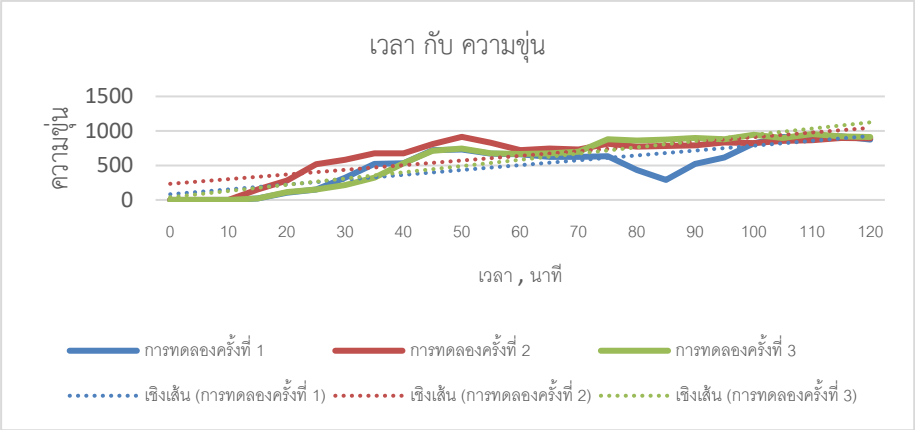
ตาราง 3 การเปิดวาล์ว และ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย

การตั้งค่า	จำนวนครั้งที่วาล์วเปิด (ปล่อยน้ำ,ลิตร)				น้ำเข้าระบบ 28800 ลิตร
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	ค่าเฉลี่ย 3 ครั้ง	เปอร์เซ็นการสูญเสียน้ำ
ชุดข้อมูล 1 ตั้งค่า 250 (30 NTU)	11 (528)	9 (432)	9 (320)	10 (426.67)	1.48%
ชุดข้อมูล 2 ตั้งค่า 300 (50 NTU)	6 (256)	7 (400)	8 (272)	7 (309.33)	1.07%
ชุดข้อมูล 3 ตั้งค่า 400 (90 NTU)	5 (192)	4 (176)	5 (256)	5 (208.00)	0.72%

ผลการทดลองจากการ ปล่อยน้ำตลอด กับการ ไม่มีการปล่อยน้ำจากถังเก็บตะกอน ได้กราฟ ดังรูป 6 และ 7



รูปที่ 6 แสดงการทดลอง ความสัมพันธ์ ระหว่าง เวลา กับ ค่าความขุ่น ในการทดลองเปิดวาล์วตลอด



รูปที่ 7 แสดงการทดลอง ความสัมพันธ์ ระหว่างเวลา กับ ค่าความขุ่น ในการทดลองปิดวาล์ว

ตาราง 4 การเปิดวาล์วตลอด กับ การปิดวาล์วตลอด และ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย

	ปริมาณทำที่การปล่อยน้ำ (ลิตร)			ลิตร	
	การทดลองครั้งที่1	การทอลองครั้งที่2	การทดลองครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย 3	เปอร์เซ็นการสูญเสียน้ำ
เปิดวาล์ว	1870	1930	1960	1920	6.67%
ปิดวาล์ว	0	0	0	0	0%

ในการทดลอง เปิดวาล์วตลอด ค่าความขุ่นเฉลี่ยที่ นาทีที่ 120 ได้ 318 มีการสูญเสียน้ำ 1,920 ลิตร คิดเป็น 6.67 % ส่วนการปิดน้ำไม่มีการปล่อย ค่าความขุ่นเฉลี่ยที่ นาทีที่ 120 ได้ 897 การสูญเสียน้ำเป็น 0%

สรุป

จากผลการทดลอง ใช้ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง มาควบคุมการทำงานของ ไฮโดรไซโคลน โดยการวัดค่าความขุ่นของน้ำด้านขาออกจาก ด้วย Sensor แล้วใช้แอพพลิเคชั่น Blynk ใน Smart Phone ส่งคำสั่งมายัง Arduino Boardเพื่อควบคุมให้วาล์วเปิดปล่อยน้ำตะกอน พบว่าสามารถทำงานได้ตามการออกแบบ สามารถควบคุมความขุ่นของน้ำ ขาออกได้ และ ลดการสุญเสียน้ำ โดยการตั้งค่า 250 (30 NTU) จะทำให้ความขุ่นในระบบน้อย แต่จะมีการสูญเสียน้ำมาก ส่วน การตั้งค่า 400 (90 NTU) จะทำให้สูญเสียน้ำน้อยสุด และ ในการเปิดวาล์วตลอด จะได้ความขุ่นของน้ำน้อยสุด แต่สูญเสียน้ำมาก ส่วนการปิดวาล์วน้ำเลย ความขุ่นขาออกมากสุด แต่ไม่มีการสูญเสียน้ำ ในการนำผลการวิจัยไปใช้ ต้องคำนึงถึง ค่าที่เหมาะสมของน้ำด้านออก ว่าต้องการความขุ่นที่ยอมรับได้ที่ค่าใด ซึ่งการบำบัดน้ำแต่ละระบบ มีเงื่อนไข และตัวแปร ความต้องการที่แตกต่างกันไป ว่าต้องการความขุ่นน้อย หรือ ต้องการลดการสูญเสียน้ำ งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการ วิจัยไปใช้งาน แต่ละระบบต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ จะสามารถนำระบบ อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง มาเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฮโดรไซโคลน โดยไม่ต้องใช้แรงงานคนมา คอยเปิดวาล์วระบายตะกอน และ สามารถ บันทึกค่าความขุ่น และตั้งค่าความขุ่นของน้ำขาออก โดย Smart Phone ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่าน ที่ให้ การชี้แนะแนวทาง ในการวิเคราะห์ และ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ รวมทั้งห้องปฏิบัติการ วิศวกรรสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบและ อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ***Svarovsky L. (2000). Solid-liquid separation. Butterworth- Heinemann Oxford.***

[2] อภิชัย เทิดเทียนวงศ์. (2540). ไฮโดรไซโคลนกับการแยกอนุภาคและคัดขนาด. *วิศวกรรมสาร มข ปีที่ 25 ฉบับที่ 2 กทม*.

[3] คณาวุฒิ ศรีระหงส์. (2552). การแยกน้ำมันและน้ำโดยใช้ไฮโดร"ซโคลน. *วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.

[4] คณาวุฒิศรีระหงษ,ประธาน วงศริเวช,ธนิต สวัสดิ์เสว กฤษดา อาภาทองรัตน. (ม.ป.ป.). การพัฒนาไฮโดรไซโคลนที่ต่อแบบอนุกรมสำหรับการแยกของแข็ง ออกจากของเหลว. *การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

[5] ปรีชา แก้วศรีพรม. (2552). การศึกษาประสิทธิผลในการแยกอนุภาคของไฮโดรไซโคลนแบบใส่แกนโลหะอยู่นิ่งและแบบใส่แกนโลหะหมุน. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรมศาสตร์บัณฑิต ม ศรีนครินทรวิโรฒ*.

[6] P., Nakpong, N., and Nakjuatong, N Serikul. (21-23 November 2018). Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform: Case . *16th International Conference on ICT and Knowledge* , (หน้า pp 1-6). Bangkok, Thailand.

[7] พนัสชัย ,นรินทร์ จีระนันตสิน,กรีฑา จิรัตฐิวรุตม์กุล,สุรชาติ ปัญญา ศรีบำรุง. (2564). การพัฒนาต้นแบบระบบช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม. *งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต* .

ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

(A) https://www.matichonweekly.com/column/article_21083. (18 10 2567). เข้าถึงได้จาก https://www.matichonwe

21R1-02

การคาดการณ์ปริมาณขยะใบพัดกังหันลมและแนวทางเบื้องต้นในการจัดการใบพัดกังหันลมหลังการรื้อถอนของประเทศไทย

Forecasting Wind Turbine Blade Waste and Preliminary Approaches for Managing Wind Turbine Blades After Decommissioning in Thailand

ธันย์ชนก สังขะทิพย์[1*] สุชีลา พลเรือง[2] และ วรินทร์พร อโศกบุญรัตน์[3]
Tanchanok Sangkhatip[1*] Sucheela Polruang[2] and Varinporn Asokbunyarat[3]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. 10900
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. 10900
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. 10900
*โทรศัพท์ : 092-592-4954, E-mail : tanchanok.sang@ku.th, fengslpo@ku.ac.th, varinporn.a@ku.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางเบื้องต้นในการจัดการขยะใบพัดกังหันลมหลังการรื้อถอนในประเทศไทย โดยแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ปริมาณขยะใบพัดกังหันลมและช่วงเวลาที่คาดว่าจะมีการปลดระวาง 2) การเสนอแนวทางเบื้องต้นในการจัดการใบพัดกังหันลม การวิจัยในครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิมาใช้ในการวิจัย เช่น ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักใบพัดต่อกำลังไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการจัดการขยะ ค่าอ้างอิงการสูญเสียวัสดุระหว่างการลดขนาด เป็นต้น ผลการวิจัย พบว่า ใบพัดกังหันลมจากโรงไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป ที่ได้มีการใช้งานในปัจจุบันจะเริ่มปลดระวางตั้งแต่ปี พ.ศ. 2580 โดยในช่วงปี พ.ศ. 2580–2590 คาดว่าจะเกิดขยะใบพัดกังหันลมรวมประมาณ 20,550 ตัน โดยเฉพาะในปีพ.ศ. 2586 ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณสูงสุดถึง 6,721 ตัน สำหรับการพิจารณาแนวทางการจัดการขยะใบพัดกังหันลม พบว่า ค่าใช้จ่ายในการฝังกลบในช่วงเวลา 10 ปี อยู่ที่ประมาณ 91.3 ล้านบาท ในขณะที่การรีไซเคิลเชิงกลมีค่าใช้จ่ายประมาณ 79.9 ล้านบาท ซึ่งต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ อาจเนื่องมาจากการสูญเสียวัสดุระหว่างกระบวนการรีไซเคิล ส่งผลให้ปริมาณเศษวัสดุลดลงและช่วยลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ทั้งนี้ ควรใช้แนวทางผสมผสานระหว่างการรีไซเคิลและการเผาร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์ ควบคู่กับการจัดทำกฎหมายรองหรือระเบียบเฉพาะที่ชัดเจนสำหรับการจัดการขยะใบพัดกังหันลม เพื่อให้ผู้ก่อกำเนิดสามารถดำเนินการได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย

คำสำคัญ : แนวทางเบื้องต้น; ประเทศไทย; ขยะใบพัดกังหันลม; การรื้อถอน

Abstract

This research aimed to propose a preliminary approach for the management of wind turbine blade waste after decommissioning in Thailand. It was divided into two main parts: 1) analyzing the volume of wind turbine blade waste and the expected decommissioning timeline 2) proposing waste management approaches. The research utilized secondary data sources, such as data from wind power plants with a generating capacity of 1 megawatt or more, the relationship between blade weight and electrical output, reference costs for waste management, and estimated material loss during size reduction. The results indicated that wind turbine blades from wind power plants with a capacity of 1 megawatt or more will begin

to be decommissioned in 2037. Between 2037 and 2047, the total volume of blade waste is expected to reach approximately 20,550 tons, with the peak occurring in 2043 at around 6,721 tons. Regarding waste management options, the estimated cost of landfilling over a 10-year period was approximately 91.3 million baht, while mechanical recycling cost around 79.9 million baht, which was lower than expected. This reduction may be attributed to material loss during the recycling process, leading to a lower volume of waste and, consequently, reduced overall costs. A combined approach involving mechanical recycling and co-incineration in cement kilns is recommended. In addition, clear secondary laws or specific regulations should be established to ensure that waste generators can manage wind turbine blade waste in compliance with legal requirements.

Keywords : preliminary approach; Thailand; wind turbine blade waste; decommissioning

บทนำ

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้า ปัจจุบัน ประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังงานลม จำนวน 34 แห่ง กระจายตัวอยู่ในหลายจังหวัด ได้แก่ เพชรบุรี ชัยภูมิ มุกดาหาร นครราชศรีมา นครศรีธรรมราช [1] [2] ทั้งนี้ ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) และแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (PDP) ประเทศไทยมีแนวโน้มจะขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในอนาคต อย่างไรก็ตาม แม้พลังงานลมจะเป็นพลังงานสะอาด แต่การจัดการซากอุปกรณ์หลังหมดอายุการใช้งานโดยเฉพาะใบพัดกังหันลมยังคงเป็นความท้าทาย ใบพัดกังหันลมส่วนใหญ่ทำจากวัสดุคอมโพสิต เช่น เส้นใยแก้วผสมเทอร์โมเซต ซึ่งมีสัดส่วนรวมประมาณ 93% และวัสดุอื่นๆ อีกประมาณ 7% เช่น วัสดุแกนกลาง ระบบป้องกันฟ้าผ่า วัสดุเคลือบผิว ตัวยึดใบพัด [3] [4] [5] ในต่างประเทศ การจัดการขยะใบพัดกังหันลมยังคงพึ่งพาการฝังกลบเป็นหลัก โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาและบางประเทศในยุโรป ซึ่งจัดประเภทใบพัดเหล่านี้เป็นขยะไม่อันตราย [6] [7] อย่างไรก็ตาม บางประเทศ เช่น เยอรมนี ออสเตรีย เนเธอร์แลนด์ และฟินแลนด์ ได้ออกกฎหมายห้ามฝังกลบวัสดุคอมโพสิตแล้ว [8] ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาแนวทางในการจัดการขยะใบพัดกังหันลมเบื้องต้น เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับขยะใบพัดกังหันลมที่จะถูกปลดระวางหลังการรื้อถอน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินปริมาณขยะใบพัดกังหันลม รวมถึงคาดการณ์ช่วงเวลาที่จะต้องมีการปลดระวาง และเสนอแนวทางการจัดการขยะใบพัดกังหันลมเบื้องต้น โดยพิจารณาจากวิธีที่ประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ โดยประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดการด้วยวิธีการลดขนาดใบพัดก่อนนำไปฝังกลบ และลดขนาดก่อนนำไปรีไซเคิล นอกจากนี้ ยังได้มีการพิจารณาทางเลือกเพิ่มเติมที่อาจเหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้ได้ในประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิมาเพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น โดยการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การคาดการณ์ปริมาณใบพัดกังหันลมและช่วงเวลาที่จะถูกปลดระวาง และการวิเคราะห์แนวทางการจัดการใบพัดกังหันลม โดยการศึกษาในส่วนการคาดการณ์ปริมาณใบพัดกังหันลมและช่วงเวลาที่จะถูกปลดระวาง ได้พิจารณาโรงไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง 1 เมกะวัตต์ ขึ้นไป ประเภทกังหันลมแนวหมุนแกนนอน ชนิด 3 ใบพัด ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน ได้แก่ ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง 1 เมกะวัตต์ ขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วย กำลังการผลิตต่อต้น จำนวนกังหันลม วันที่เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า จากสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (2567) [1] และจาก Vorarat, S. and Tantawat, W. (2023) [2] และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของใบพัดกับกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้จาก P. Liu and C. Y. Barlow. (2017) [9] การวิเคราะห์ปริมาณขยะใบพัดกังหันลม ได้ใช้ข้อมูลกำลังการผลิตต่อต้น (ดังตารางที่ 1) คูณกับน้ำหนักใบพัดต่อกำลังไฟฟ้า โดยเลือกให้เหมาะกับประเภท (ดังตารางที่ 2) จากนั้นคูณด้วยจำนวนกังหันลม (ดังตารางที่ 1) ในส่วนของการคำนวณช่วงเวลาที่จะถูกปลดระวาง ได้มีการกำหนดสมมติฐานว่าระยะเวลาใช้งานสูงสุดของกังหันลมอยู่ที่ 25 ปี นับจากวันที่เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า โดยพิจารณาจากช่วงอายุการใช้งานทั่วไปของใบพัดกังหันลม ซึ่งอยู่ในช่วง 20-25 ปี จากข้อมูลของ Broniewicz, et al (2024) [10]

ตารางที่ 1 ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง 1 เมกะวัตต์ ขึ้นไป

บริษัท	กำลังการผลิตต่อต้น (เมกะวัตต์)	จำนวนกังหันลม (ต้น)	วันที่เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า	ที่มา
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	1.25	2	12/07/2565	[1] [2]
กรมพัฒนาฯโครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม	1.5	1	24/01/2556	
บริษัท อีเอ วินด์ หาดกังหัน 3 จำกัด	1.8	20	03/03/2560	
บริษัท อีเอ วินด์ หาดกังหัน 3 จำกัด	1.8	25	10/06/2560	
บริษัท อีเอ วินด์ หาดกังหัน 3 จำกัด	1.8	25	23/06/2560	
บริษัท วะตะแบก วินด์ จำกัด	2.0	30	24/12/2559	
บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด	2.0	1	17/03/2559	
บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด	2.0	4	17/03/2559	
บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด	2.0	25	29/12/2559	
บริษัท กรีโนเวชั่น เพาเวอร์ จำกัด (GNP-N)	2.0	18	27/03/2561	
	2.1	15		
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	2.0	12	20/04/2561	
บริษัท เฟิร์ส โคราช วินด์ จำกัด	2.3	45	14/11/2555	
บริษัท เค.อาร์.ทู จำกัด	2.3	45	08/02/2556	
บริษัท เขาค้อ วินด์ พาวเวอร์ จำกัด	2.5	24	05/08/2559	
บริษัท เทพพนา วินด์ฟาร์ม จำกัด	2.5	3	01/07/2556	
บริษัท ชัยภูมิ วินด์ฟาร์ม จำกัด	2.5	32	16/12/2559	
บริษัท นายางกลัก พัฒนา จำกัด	2.5	18	25/01/2562	
บริษัท นายางกลัก พลังลม จำกัด	2.5	18	25/01/2562	
บริษัท เบญจรัตน์ พัฒนา จำกัด	2.5	16	30/03/2562	
บริษัท บ้านชวน พัฒนา จำกัด	2.5	32	13/04/2562	
บริษัท โป่งนก พัฒนา จำกัด	2.5	19	22/03/2562	
บริษัท โคราชวินด์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	2.5	20	20/06/2561	
บริษัท ลมลิกอร์ จำกัด	2.5	4	11/04/2562	
บริษัท อินเตอร์ ฟาร์อีสท์ วินด์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	2.5	4	06/11/2558	
บริษัท เค อาร์ เอส ทรี จำกัด	3	30	28/09/2561	
บริษัท ทรอปิคอล วินด์ จำกัด	3	30	28/09/2561	
บริษัท เทพารักษ์ วินด์ จำกัด	3	30	27/11/2561	
บริษัท กฤษณา วินด์ พาวเวอร์ จำกัด	3	30	28/12/2561	
บริษัท เค.อาร์.วัน. จำกัด	3	30	16/03/2562	
บริษัท วินชัย จำกัด	3.45	13	01/04/2562	
บริษัท บ่อทองวินด์ฟาร์ม จำกัด (โครงการ 1)	4.0	2	30/07/2564	

บริษัท	กำลังการผลิตต่อต้น (เมกะวัตต์)	จำนวนกังหันลม (ต้น)	วันที่เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า	ที่มา
บริษัท บ่อทองวินด์ฟาร์ม จำกัด (โครงการ 2)	4.0	2	30/07/2564	

ตารางที่ 2 น้ำหนักใบพัดต่อกำลังไฟฟ้าที่ให้ต่อหน่วย

ประเภท	น้ำหนักใบพัดต่อกำลังไฟฟ้า (ตันต่อเมกะวัตต์)	ที่มา
≤1 เมกะวัตต์	8.43	[9]
1-1.5 เมกะวัตต์	12.37	
1.5-2 เมกะวัตต์	13.34	
2-5 เมกะวัตต์	13.41	
≥5 เมกะวัตต์	12.58	

ในส่วนของการวิเคราะห์แนวทางในการจัดการใบพัดกังหันลม ข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายอ้างอิงของ Bennet, et al (2021) [6] Liu, et al (2022) [11] Cooperman, et al (2021) [12] Ramirez-Tejeda, et al (2017) [13] Korey, et al (2023) [14] อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ณ วันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2567 ของธนาคารแห่งประเทศไทย (2567) [15] และค่าอ้างอิงการสูญเสียวัสดุระหว่างการลดขนาดของ Yamane, et al (2011) [16] Silvas, et al (2015) [17] การวิเคราะห์แนวทางการจัดการใบพัดกังหันลม ผู้วิจัยได้มีการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะใบพัดกังหันลม โดยพิจารณาจากสองวิธีหลัก คือ การลดขนาดก่อนนำไปฝังกลบและการลดขนาดก่อนนำไปรีไซเคิล รวมถึงพิจารณาทางเลือกเพิ่มเติมที่อาจเหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้ได้ในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้รวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ขั้นตอนในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการฝังกลบนั้นมีการกำหนดค่าเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณขยะใบพัด (A) ค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการตัดเป็นชิ้น (B) ค่าใช้จ่ายอ้างอิงด้วยวิธีการฝังกลบ (C) โดยค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการตัดเป็นชิ้นและค่าใช้จ่ายอ้างอิงด้วยวิธีการฝังกลบต้องมีการแปลงเป็นค่าเงินบาทก่อนนำไปคำนวณต่อในส่วนอื่น ตัวอย่างสมการที่ใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายด้วยวิธีการตัดเป็นชิ้นก่อนนำไปฝังกลบแสดงดังในสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 3

ค่าใช้จ่ายในการตัดเป็นชิ้น (บาท)	D	=	A * B	(1)
ค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ (บาท)	E	=	A * C	(2)
รวมค่าใช้จ่าย (บาท)	F	=	D + E	(3)

ในส่วนของขั้นตอนการคำนวณค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลนั้นมีการกำหนดค่าเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณขยะใบพัด (A) ค่าอ้างอิงการสูญเสียวัสดุประมาณ 6–29% โดยน้ำหนัก (B) ค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการตัดเป็นชิ้น (C) และค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการบด (D) โดยค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการตัดเป็นชิ้นและค่าใช้จ่ายอ้างอิงในการบดต้องมีการแปลงเป็นค่าเงินบาทก่อนนำไปคำนวณต่อในส่วนอื่น ตัวอย่างสมการที่ใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลเชิงกลแสดงดังในสมการที่ 4 ถึงสมการที่ 8

ปริมาณวัสดุที่สูญเสียระหว่างการรีไซเคิล (ตัน)	E	=	A * B	(4)
ปริมาณขยะใบพัดที่สามารถนำไปรีไซเคิล (ตัน)	F	=	A – E	(5)
ค่าใช้จ่ายในการตัดเป็นชิ้น (บาท)	G	=	A * C	(6)
ค่าใช้จ่ายในการบด (บาท)	H	=	F * D	(7)
รวมค่าใช้จ่าย (บาท)	I	=	G + H	(8)

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายอ้างอิงของแต่ละวิธีในการคำนวณ

วิธี	ราคา	ที่มา
การตัดและแยกชิ้นส่วนขนาดไม่เกินหนึ่งเมตร	40 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน	[11]
การบดด้วยเครื่องบด	90 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน	[12]
ฝังกลบ	60-120 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน	[6] [13] [14]

ตารางที่ 4 อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ณ วันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2567

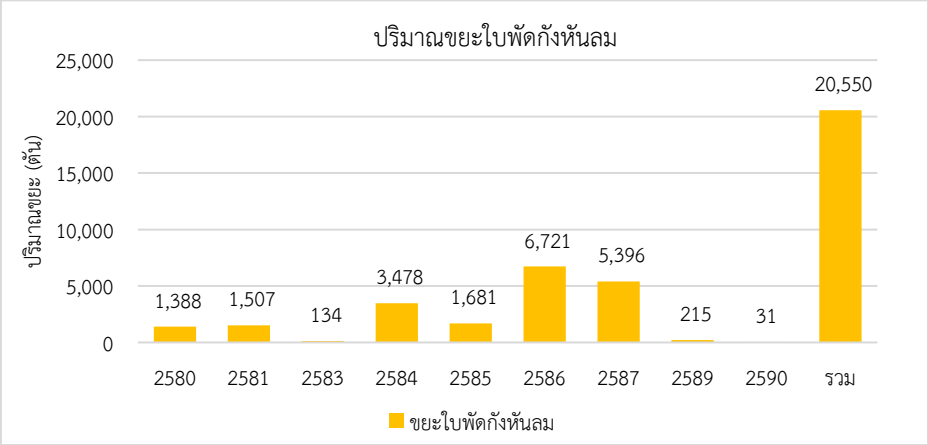
สกุลเงินต่างประเทศ	อัตราแลกเปลี่ยน (บาท)	ที่มา
ดอลลาร์สหรัฐฯ	34.2054	[15]

ตารางที่ 5 ค่าอ้างอิงการสูญเสียวัสดุระหว่างการลดขนาด

การสูญเสียวัสดุ	ที่มา
6–29 % โดยน้ำหนัก	[16] [17]

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการประเมินปริมาณขยะใบพัดกังหันลม รวมถึงคาดการณ์ช่วงเวลาที่จะต้องมีการปลดระวาง พบว่า ตั้งแต่ช่วงปีพ.ศ. 2580 เป็นต้นไป จะเริ่มมีการปลดระวางใบพัดกังหันลม โดยมีขยะใบพัดกังหันลมโดยรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2580-2590 ประมาณ 20,550 ตัน โดยในปีพ.ศ. 2586 จะมีปริมาณขยะใบพัดกังหันลมสูงสุดถึง 6,721 ตัน อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ปริมาณขยะมาจากการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของใบพัดและกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม ซึ่งอาจทำให้ผลการประมาณคลาดเคลื่อนได้

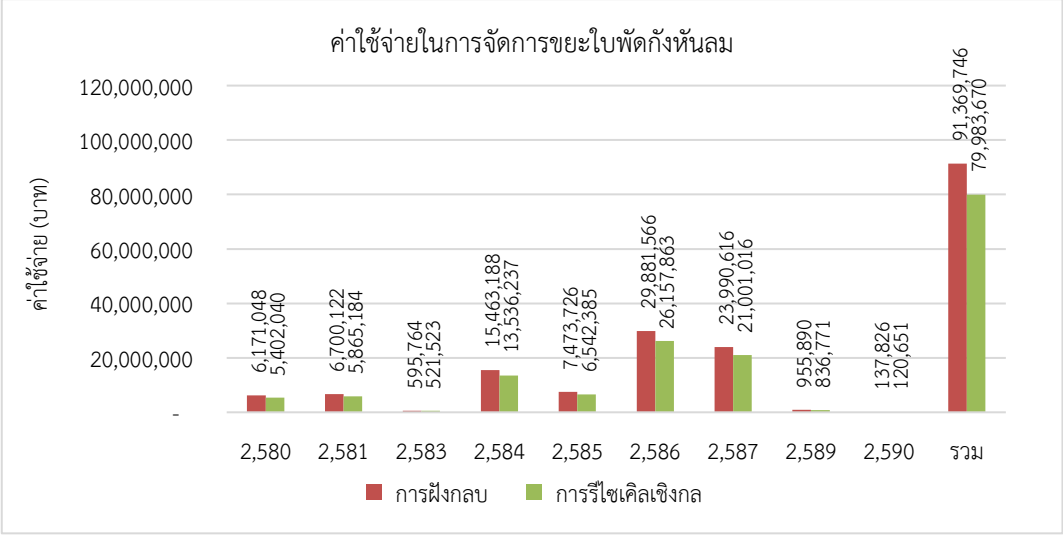


รูปที่ 1 ประมาณการณ์ปริมาณขยะใบพัดกังหันลมในช่วงปีพ.ศ. 2580 - พ.ศ. 2590 ที่ได้จากการประเมิน

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการลดขนาดใบพัดก่อนนำไปฝังกลบ และการลดขนาดก่อนนำไปรีไซเคิล พบว่า ในช่วงเวลา 10 ปี การฝังกลบมีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 91.6 ล้านบาท ในขณะที่การรีไซเคิลเชิงกลมีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 79.9 ล้านบาท สาเหตุอาจมาจากการสูญเสียวัสดุในกระบวนการรีไซเคิล ส่งผลให้ปริมาณเศษวัสดุลดลง และส่งผลให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม การเลือกแนวทางจัดการต้องพิจารณาร่วมกับข้อกำหนดของประเทศไทย ในปัจจุบันยังพบช่องโหว่ด้านกฎหมาย เนื่องจากเกณฑ์การปฏิบัติด้านการจัดการมูลฝอยและของเสียของประมวลหลักปฏิบัติสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานลมนั้น บังคับใช้กับผู้ประกอบกิจการโรงงานตามบัญชีท้ายกระทรวง ตามมาตร 7 แห่ง พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ซึ่งไม่ครอบคลุมถึงโรงไฟฟ้าพลังงานลม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ควรมีการกำหนดกฎหมายรองหรือระเบียบเฉพาะที่ชัดเจนสำหรับการจัดการขยะใบพัดกังหันลม เพื่อให้ผู้ก่อกำเนิดสามารถดำเนินการจัดการได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย

ใบพัดกังหันลมส่วนใหญ่ทำจากวัสดุคอมโพสิต (เส้นใยแก้ว และเทอร์โมเซต) โดยรวมประมาณ 93% โดยมีเส้นใยเป็นส่วนประกอบหลัก [18] และวัสดุอื่นๆ โดยรวมประมาณ 7% เช่น วัสดุแกนกลาง (ไม้บัลซ่าหรือ พีวีซีโฟม) ระบบป้องกันฟ้าผ่า (โลหะ) วัสดุเคลือบผิว (โพลียูรีเทน) ตัวยึดใบพัด (เหล็ก) [3] [4] [5] [19] เพื่อให้การจัดการของเสียจากใบพัดกังหันลมเป็นไปอย่างยั่งยืน ควรดำเนินการตามลำดับขั้นของการจัดการขยะ (Waste Hierarchy) ได้แก่ ลดการเกิดของเสีย การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล การเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน การกำจัด เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของใบพัดกังหันลมบางส่วน เช่น ตัวยึดและระบบป้องกันฟ้าผ่า สามารถคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ ส่วนที่เหลือสามารถนำไปผ่านกระบวนการบดย่อยเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุเติมเต็ม [20] หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์ [21] ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้วิธีฝังกลบ เนื่องจากของเสียทั้งหมดถูกใช้ในกระบวนการผลิต [8] [21] อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบของขยะใบพัดกังหันลมที่ใช้ในประเทศไทย รวมถึงความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุใบพัดมาใช้เป็นวัสดุเติมเต็มในผลิตภัณฑ์อื่น หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม หรือทดแทนวัตถุดิบในกระบวนการเผาร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อีกทั้ง ควรมีการตรวจวัดระดับมลพิษที่อาจเกิดขึ้น เพื่อประเมินความเหมาะสมและความปลอดภัยตามเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

การเผาร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์นับเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับนโยบายของสมาคมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย [22] โดยปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานปูนซีเมนต์ที่ได้รับอนุญาตให้กำจัดของเสียรวมทั้งสิ้น 10 แห่ง ทั่วประเทศ [23] ในขณะเดียวกันปัจจุบัน ยังไม่มีโรงงานรีไซเคิลที่สามารถรองรับการจัดการวัสดุคอมโพสิตโดยเฉพาะ โดยโรงงานที่ดำเนินการอยู่ส่วนใหญ่ยังคงเน้นไปที่การรีไซเคิลวัสดุทั่วไป เช่น พลาสติก กระดาษ โลหะ และขยะอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น หากมีการลงทุนเพื่อจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลวัสดุคอมโพสิตโดยเฉพาะ จะก่อให้เกิดประโยชน์ในวงกว้าง เนื่องจากวัสดุดังกล่าวไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะในอุตสาหกรรมพลังงานลม แต่ยังพบในอุตสาหกรรมอื่นด้วย เช่น อุตสาหกรรมต่อเรือ ยานยนต์ และการบิน ดังนั้น การจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลเฉพาะทางจะช่วยส่งเสริมความยั่งยืน และสอดคล้องกับนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ที่สนับสนุนการลงทุนด้านรีไซเคิลและการคัดแยกวัสดุ ผ่านสิทธิประโยชน์ทางภาษี ซึ่งครอบคลุมกิจการรีไซเคิล การนำกลับมาใช้ใหม่ และการคัดแยกวัสดุ โดยได้รับการยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลสูงสุดถึง 8 ปี [24]



รูปที่ 2 ประมาณการณ์ค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะใบพัดกังหันลมด้วยวิธีการฝังกลบและการรีไซเคิลเชิงกล

สรุป

ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2580 เป็นต้นไป คาดว่าจะเริ่มมีการปลดระวางใบพัดกังหันลม โดยในช่วงปีพ.ศ. 2580–2590 คาดว่าจะเกิดขยะใบพัดกังหันลมรวมประมาณ 20,550 ตัน โดยเฉพาะในปีพ.ศ. 2586 ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณสูงสุดถึง 6,721 ตัน สำหรับแนวทางการจัดการใบพัดกังหันลมหลังการรื้อถอนของประเทศไทย ควรใช้แนวทางผสมผสานระหว่างการรีไซเคิลและการเผาร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์ ควบคู่กับการกำหนดกฎหมายรองหรือระเบียบเฉพาะที่ชัดเจนสำหรับการจัดการขยะใบพัดกังหันลม เพื่อให้ผู้ก่อกำเนิดสามารถดำเนินการจัดการได้อย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน ขอขอบพระคุณต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุชีลา พลเรือง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรินทร์พร อโศกบุญรัตน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ ขอขอบคุณโครงการปริญญาโท ภาคพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนค่าลงทะเบียนสำหรับการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2567. รายชื่อผู้ได้รับใบอนุญาตผลิตไฟฟ้า. แหล่งที่มา: http://app04.erc.or.th/ELicense/Licenser/05_Reporting/504_ListLicensing_Columns_New.aspx?LicenseType=1. สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2567.

[2] Vorarat, S. and Tantawat, W. 2023. Life Cycle Cost Analysis of Commercial Onshore Wind Farms in Thailand. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology. 18(1): 1–13.

[3] Liu, P. and Barlow, C. Y. 2016. The Environmental Impact of Wind Turbine Blades. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 139(1): 012032.

[4] Jensen, J. P. and Skelton, K. 2018. Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews 97: 165-76.

[5] Paulsen, E. B. and Enevoldsen, P. 2021. A Multidisciplinary Review of Recycling Methods for End-of-Life Wind Turbine Blades. Energies 14: 4247.

[6] Bennet, L., Hailey, J., Lomoro, P., Fitzgerald. A., Fuller, J., Lightfoot, J., Velenturf, A. and Trifonova, K. 2021. SUSTAINABLE DECOMMISSIONING: WIND TURBINE BLADE RECYCLING REPORT.

[7] Beauson J., Laurent, A., Rudolph, D. P. and Jensen, J. P. 2022. The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context. Renewable and Sustainable Energy Reviews 155: 111847.

[8] WindEurope, Cefic and EuCIA. 2020. Accelerating Wind Turbine Blade Circularity. Available Source: https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Accelerating-wind-turbine-blade-circularity.pdf, October 11, 2024.

[9] Liu P. and Barlow, C. Y. 2017. Wind Turbine Blade Waste in 2050. Waste Management. 62: 229-40.

[10] Broniewicz M., Broniewicz, F., Dec, K. and Skubiak, B. 2023. The Concept of Using Wind Turbine Propellers in the Construction of Acoustic Screens as an Example of a Circular Economy Model. Economics and Environment 87: 1-18.

[11] Liu P., Meng F. and Barlow, C.Y. 2022. Wind turbine blade end-of-life options: An economic comparison. Resources, Conservation and Recycling. 180: 106202.

[12] Cooperman A., A. Eberle, and E. Lantz. 2021. Wind turbine blade material in the United States: Quantities, costs, and end-of-life options. Resources, Conservation and Recycling. 168: 105439.

[13] Ramirez-Tejeda K., Turcotte, D.A. and Pike, S. 2017. Unsustainable Wind Turbine Blade Disposal Practices in the United States. New solutions : a journal of environmental and occupational health policy. 26(4): 581–598.

[14] Korey M., Sproul, E., Rencheck, M.L. and Ennis, B.L. 2023. Development of wind turbine blade recycling baselines in the United States. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1293(1): 012018.

[15] ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2567. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ. แหล่งที่มา: https://www.bot.or.th/th/statistics/exchange-rate.html. สืบค้นเมื่อ 2 ธันวาคม 2567.

[16] Yamane, L.H., Moraes, V.T., Espinosa, D.C.R. and Tenório, J.A.S. 2011. Recycling of WEEE: Characterization of Spent Printed Circuit Boards from Mobile Phones and Computers. Waste Management 31(12): 2553-58.

[17] Silvas, F.P.C., Correa, M.M.J., Caldes, M.P.K., Moraes, V.T., Espinosa, D.C.R. and Tenório, J.A.S. 2015. Printed circuit recycling: physical processing and copper extraction by selective leaching. Waste Management 46: 503-10.

[18] Skelton, K. 2017. Discussion Paper on Managing Composite Blade Waste. Available Source: https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/topics/sustainability/Discussion-paper-on-blade-waste-treatment-20170418.pdf, April 5, 2025.

[19] Yokelink. Wind Blade Stud Bolt. Available Source: https://www.yokelink.com/hot-forging-parts/63673575.html, April 8, 2025.

[20] Setlak K., J. Przybyła, K. Korniejenko, W. Lin, A. Cheng and M. Łach. 2021. Recycling of Mechanically Ground Wind Turbine Blades as Filler in Geopolymer Composite. Materials 14: 6539.

[21] Angel, A.J., Delaney, E.L., Bank. L.C. and Leahy, P.G. 2020. A Comparative Life Cycle Assessment between landfilling and Co-Processing of waste from decommissioned Irish wind turbine blades. Journal of Cleaner Production. 277(23): 123321.

[22] Construction Thailand. 2567. TCMA ชูจุดแข็งอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ผนึกรัฐ-อุตสาหกรรม-ชุมชนกำจัดวัสดุไม่ใช้แล้วอย่างยั่งยืน ด้วยการเผาร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์. แหล่งที่มา: https://www.constructionthailand.net/news/tcma_enwasteexpo2024. สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2567.

[23] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2567. รายชื่อโรงงานที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการทั่วประเทศ ณ สิ้นปี 2567. แหล่งที่มา: https://www.diw.go.th/webdiw/static-fac/. สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2568.

[24] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. 2568. คู่มือการขอรับการส่งเสริมการลงทุน. แหล่งที่มา: https://www.boi.go.th/upload/content/BOI_A_Guide_Web_Th.pdf. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2568.

21R1-03

ผลกระทบจากกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมต่อพฤติกรรมในการจัดการขยะ

The Impact of Pro-environmental Initiatives on Solid Waste Management Behaviors

หนึ่งฟ้า ช้อนนาค[1] ทักษิณา โพธิ์ใหญ่[2] และ ณัฐพล ลี้บาย[3*]
Neungfa Chonnak[1] Thaksina Poyai[2] and Nattapon Leeabai[3*]
[1]นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ : 06 5965 6690, โทรสาร : 02-579-0730, E-mail : fengnpl@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ทั่วทุกมุมโลกรวมถึงประเทศไทยต่างก็ประสบปัญหาขยะตกค้างในสิ่งแวดล้อม ปัญหานี้เกิดจากการขยายตัวของประชากรทำให้เกิดปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้น โดยปัญหาดังกล่าวสามารถบรรเทาได้ด้วยการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพผ่านพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะ จากหลักทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรมเป็นกรอบแนวคิดที่ขยายการศึกษาผลกระทบของกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ ร่วมกับการศึกษาปัจจัยอิสระที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรม ประกอบด้วย ทัศนคติ บรรทัดฐาน และพฤติกรรมการรับรู้พื้นฐาน จาก 4 กิจกรรมส่งเสริมส่งแวดล้อม พบว่าปัจจัยทุกด้านส่งผลกระทบเชิงบวกต่อเจตนาพฤติกรรมอย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัยจากกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลสูงสุดในกิจกรรม Washable (β = 0.834) และกิจกรรมอบรมการจัดการขยะอย่างยั่งยืนในงานเกษตรแฟร์ 2568 (β = 0.797) ดังนั้นกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมจึงเป็นเครื่องมือส่งเสริมพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญ นอกจากนี้ปัจจัยด้านทัศนคติมีผลกระทบมากที่สุดในภาพรวมปัจจัยอิสระหลักทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรม (β = 0.709 – 0.760) ปัจจัยการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมเป็นลำดับรองมา (β = 0.264 – 0.819) ขณะที่บรรทัดฐานที่มีอิทธิพลจากสังคมส่งผลกระทบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น (β = 0.206 – 0.713) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโครงการส่งเสริมการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพ โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นประชาชน บุคคลทั่วไปที่ได้เข้าร่วมกิจกรรมการส่งเสริมสิ่งแวดล้อม เพื่อลดปริมาณขยะตกค้าง และเพิ่มอัตราการกำจัดขยะอย่างถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะ SDG 12 ด้านการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน

คำสำคัญ : การจัดการขยะ พฤติกรรม กิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม ทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรม

Abstract

Countries across the globe, including Thailand, are increasingly facing challenges associated with the management of municipal solid waste, largely driven by population growth and increased waste generation. Addressing the issue can be alleviated through efficient waste management, supported by pro-environmental behaviors in waste management. This study employs the Theory of Planned Behavior (TPB) as a conceptual framework to examine the impact of pro-environmental initiatives on waste management behavior. The study focuses on three key behavioral determinants towards behavioral intention outlined in attitude, subjective norms, and perceived behavioral control. According to an analysis of four pro-environmental initiatives, the study found that all examined factors had a significant positive influence on individuals' intentions to engage in proper waste management. The most significant pro-environmental initiative influencing waste management was Initiative B “Washable” which exhibited the strongest effect (β = 0.834), followed closely

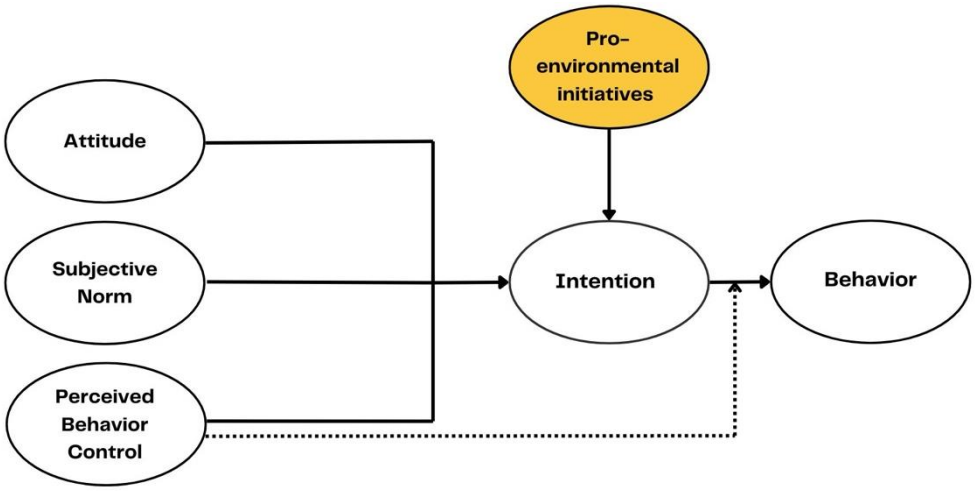
by Initiative D "a sustainable waste management training session during in the Kaset's Fair 2025" (β = 0.797). These results emphasized the effectiveness of practical, action-based pro-environmental initiatives in proposing positive waste management behaviors. In terms of independent influential factors, attitude emerged as the strongest predictor of behavioral intention (β = 0.709–0.760), followed by perceived behavioral control (β = 0.264–0.819). Subjective norms had the least influence on behavioral intention compared to other components (β = 0.206–0.713). The findings are applicable to the development of waste management programs implemented by governing authorities, particularly those designed to engage the public in pro-environmental initiatives. Enhancing pro-environmental behavior in the context of waste management holds promise for reducing residual waste and increasing the rate of proper waste disposal. Moreover, such efforts support Thailand's progress toward achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 12: Responsible Consumption and Production.

Keywords: Waste management, Behavior, Environmental promotion activities, Theory of Planned Behavior

บทนำ

การจัดการขยะเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยรวม ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste หรือ MSW) ได้กลายเป็นปัญหาระดับโลก เนื่องจากอัตราการเกิดขยะที่เพิ่มขึ้นและการจัดการที่ไม่เหมาะสม โดยคาดว่าอัตราการเกิดขยะมูลฝอยจะสูงถึง 3.4 พันล้านตันต่อปี ภายในปี พ.ศ. 2593 [1] โดยสถานการณ์ขยะประเทศไทยในปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น 27.20 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ 10.51 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดถูกต้อง 10.42 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดไม่ถูกต้อง 4.73 ล้านตัน [2] ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะ ทัศนคติต่อการแยกขยะ และการมีส่วนร่วมในกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อม มีผลต่อพฤติกรรมการแยกขยะอย่างมีนัยสำคัญ [3] ดังนั้นการส่งเสริมกิจกรรมที่ช่วยสร้างความตระหนักรู้และส่งเสริมพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหานี้

โดยทั่วไปแล้ว แบบจำลองทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรม (Theory of planned behavior, TPB) ถูกใช้เพื่อทำนายพฤติกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับทัศนคติ บรรทัดฐานที่มีอิทธิพลจากสังคม และการควบคุมพฤติกรรมที่รับรู้ [4] แบบจำลอง TPB ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแยกขยะ เช่น เพศ การศึกษา เครื่องมือข้อมูล ความสะดวกสบาย และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ [5] [6] การจัดการขยะมูลฝอยควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมและการมีส่วนร่วมของสังคม [7] จึงนำมาสู่แนวคิดการขยายแบบจำลองทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรมการคัดแยกขยะดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แนวคิดการขยายแบบจำลองพฤติกรรม TPB ด้วยปัจจัยกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมต่อพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบจากกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมที่มีต่อพฤติกรรมในการจัดการขยะ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการไปสู่สังคมที่ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีส่วนช่วยในการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) หลายประการ [8] โดยเฉพาะในการบรรลุ SDG 12 การบริโภคและการผลิตที่รับผิดชอบ [9]

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการวิจัยเป็นการจัดทำแบบสำรวจเชิงพฤติกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากผู้ตอบแบบสอบถามที่ได้ร่วมมีส่วนร่วมในกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม 4 กิจกรรม โดยมีการคำนวณหาความเพียงพอของจำนวนชุดแบบสอบถามที่ต้องใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทราบประชากรด้วยวิธีของ Yamane [10] และแบบไม่ทราบประชากรด้วยวิธีของ Cochran จะต้องเก็บข้อมูลอย่างน้อย 31 คน [11] ประกอบด้วย

1) กิจกรรมเดิน วิ่ง ปั่น เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระ-เจ้าอยู่หัว (กิจกรรม A) มีจำนวนประชากรที่เข้าร่วมจำนวนมากจึงไม่ทราบจำนวนประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมแน่นชัด ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีแบบไม่ทราบประชากรที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 90 และระดับคลาดเคลื่อนร้อยละ 15 โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 40 คน ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ในวันที่ 4 สิงหาคม 2567

2) กิจกรรม Washable (กิจกรรม B) มีจำนวนประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมจำนวน 192 คน โดยวิธีแบบทราบประชากรที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระดับคลาดเคลื่อนร้อยละ 8 จำเป็นต้องเก็บข้อมูลอย่างน้อย 87 คน โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 90 คน ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ในวันที่ 28 สิงหาคม 2567

3) กิจกรรมฐานภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ค่ายดงตาลแคมป์ 2567 (กิจกรรม C) มีประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมจำนวน 115 คน โดยวิธีแบบทราบประชากรที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระดับคลาดเคลื่อนร้อยละ 8 จำเป็นต้องเก็บข้อมูลอย่างน้อย 67 คน โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 115 คน ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2567

4) กิจกรรมโครงการอบรมการจัดการขยะอย่างยั่งยืนในงานเกษตรแฟร์ 2568 (กิจกรรม D) ซึ่งมีจำนวนประชากรที่เข้าร่วมจำนวนมากจึงไม่ทราบจำนวนประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมแน่ชัด ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีแบบไม่ทราบประชากรที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 90 และระดับคลาดเคลื่อนร้อยละ 15 โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 40 คนซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ในวันที่ 24 พฤศจิกายน 2568

โดยคำถามเพื่อศึกษาปัจจัยที่อิสระที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมประกอบด้วย ทัศนคติ (Attitude) บรรทัดฐานที่มีอิทธิพลจากสังคม (Subjective Norms) การควบคุมพฤติกรรมที่รับรู้ (Perceived behavioral control) และเจตนาพฤติกรรม (Intention) ตามหลักทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรม [2] และมีการออกแบบคำถามเพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม (Pro-environmental initiatives)

ผลกระทบของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเจตนาพฤติกรรม ในทฤษฎีการวางแผนพฤติกรรม (TPB) ได้รับการประเมินโดยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ค่าความสัมประสิทธิ์เบต้า (Beta Coefficient) ระหว่างชุดข้อมูลของปัจจัยที่มีอิทธิพลและเจตนาพฤติกรรมแสดงระดับของตัวทำนายเจตนา ค่าที่สูงขึ้นแสดงถึงผลกระทบที่มากของการทำนายพฤติกรรม ความน่าเชื่อถือของปัจจัยพฤติกรรมได้รับการทดสอบโดยใช้ค่าอัลฟาของครอนบาค (Cronbach’s alpha coefficient) ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยทั่วไปเมื่อค่าอัลฟามากกว่า 0.6 แสดงถึงผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ [12] และค่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับบริบท แนวทางที่ดีในการตีความ Cronbach's alpha มีดังนี้: 0.90 ขึ้นไปแสดงถึงความเชื่อมั่นที่ยอดเยี่ยม 0.70 ถึง 0.90 แสดงถึงความเชื่อมั่นที่สูง 0.50 ถึง 0.70 แสดงถึงความเชื่อมั่นปานกลาง และต่ำกว่า 0.50 แสดงถึงความเชื่อมั่นต่ำ [13]

ตารางที่ 1 ค่าอัลฟาของครอนบาคของปัจจัยในแต่ละกิจกรรม

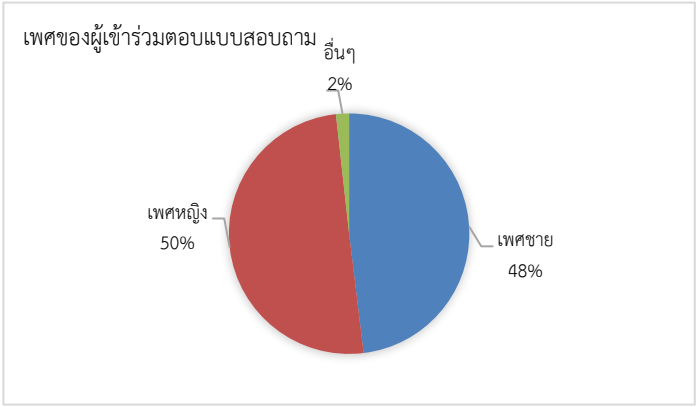
ชื่อกิจกรรม	Attitude	Subjective Norms	Perceived Behavior Control	Pro-environment initiatives	Intention
กิจกรรม A	0.512	0.515	0.680	0.440	0.779
กิจกรรม B	0.760	0.772	0.543	0.864	0.862
กิจกรรม C	0.316	0.672	0.667	0.548	0.790
กิจกรรม D	0.576	0.671	0.709	0.776	0.802

จากตารางที่ 1 จะสังเกตได้ว่าผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือหรือแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนั้น พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha) ส่วนใหญ่ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha) อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาสำหรับ Attitude ในกิจกรรม C และ ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาสำหรับ Pro-environment initiatives ในกิจกรรม A มีค่าต่ำกว่า 0.5 ดังนั้นการนำข้อค้นพบสำหรับปัจจัยเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้จำเป็นต้องคำนึงถึงความน่าเชื่อถือและนำไปใช้อย่างระมัดระวัง

ผลการทดลองและวิจารณ์

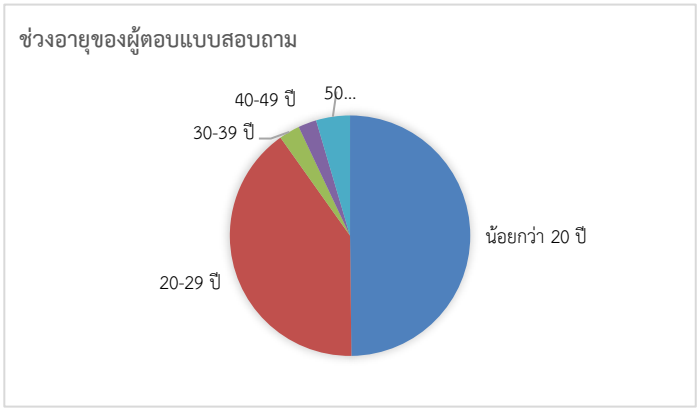
1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามจากทั้ง 4 กิจกรรม ทั้งหมด 285 ผลลัพธ์ แบ่งเป็นเพศชาย 137 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 48.07 เพศหญิง 143 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 50.18 และเพศอื่นๆ อีก 5 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 1.75 ดังแสดงในรูปที่ 2 เห็นได้ว่าจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นเพศชายและเพศหญิงมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้ช่วยลดอคติจากผลกระทบของเพศต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ เนื่องจากมุมมองด้านเพศถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ [14]



รูปที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จำนวนผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามจากทั้ง 4 กิจกรรม ทั้งหมด 285 ผลลัพธ์ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุน้อยกว่า 20 ปี จำนวน 142 คน คิดเป็นร้อยละ 49.82 ต่อมาอายุ 20-29 ปี จำนวน 115 คน คิดเป็นร้อยละ 40.35 อายุ 30-39 ปี จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 2.81 อายุ 40-49 ปี จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 2.46 และอายุ 50 ปีขึ้นไป จำนวน 13 คนคิดเป็นร้อยละ 4.56 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 เห็นได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุน้อยกว่า 30 ปี ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มคน Generation Z ที่มีแนวโน้มที่ดีต่อการจัดการขยะ [15] จึงอาจเกิดอคติจากปัจจัยด้านอายุต่อข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัย

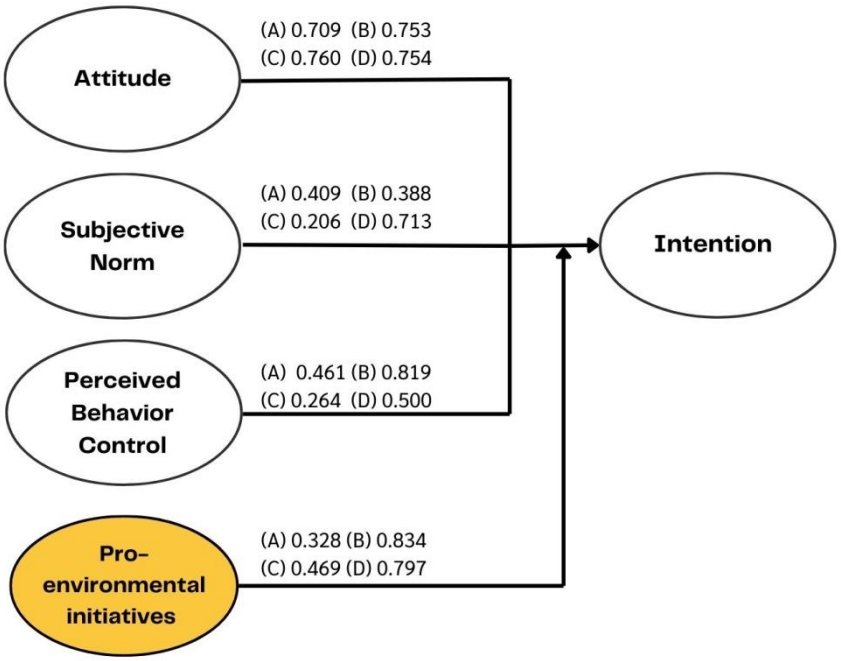


รูปที่ 3 ข้อมูลอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

2) ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ต่อเจตนาของพฤติกรรมการจัดการขยะ

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดแยกขยะ จะพบว่า ปัจจัยด้านทัศนคติ บรรทัดฐานที่มีอิทธิพลจากสังคม การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม และปัจจัยการเข้าร่วมโครงการส่งเสริมสิ่งแวดล้อมมีผลลัพธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจในการจัดการขยะที่แหล่งกำเนิด หากค่าสัมประสิทธิ์เบต้าของปัจจัยมีค่ามากจะส่งผลกระทบในการพยากรณ์ค่า Intention มากกว่าปัจจัยที่มีค่าสัมประสิทธิ์เบต้าน้อยกว่า จากกิจกรรม A ค่าสัมประสิทธิ์เบต้าของทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Intention อย่างมีนัยสำคัญ โดย Attitude ($\beta = 0.709$, $p < 2.31\times10^{-3}$) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความตั้งใจในการจัดการขยะ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบรองมาคือ Perceived behavioral control, PBC ($\beta = 0.461$, $p < 2.81\times10^{-4}$) Subjective norms ($\beta = 0.409$, $p < 2.87\times10^{-4}$) และ Pro-environmental initiatives ($\beta = 0.328$, $p < 1.44\times10^{-2}$) ตามลำดับ กิจกรรม B ค่าสัมประสิทธิ์เบต้าของทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Intention อย่างมีนัยสำคัญ โดย Pro-environmental initiatives ($\beta = 0.834$, $p < 5.57\times10^{-14}$) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความตั้งใจในการจัดการขยะ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบรองมาคือ PBC ($\beta = 0.819$, $p < 1.76\times10^{-18}$) Attitude ($\beta = 0.753$, $p < 1.87\times10^{-4}$) และ Subjective norms ($\beta = 0.388$, $p < 3.00\times10^{-4}$) ตามลำดับ

กิจกรรม C ค่าสัมประสิทธิ์เบต้าของทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Intention อย่างมีนัยสำคัญ โดย Attitude ($\beta = 0.760$, $p < 2.20\times10^{-11}$) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความตั้งใจในการจัดการขยะ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบรองมาคือ Pro-environmental initiatives ($\beta = 0.469$, $p < 3.06\times10^{-10}$) PBC ($\beta = 0.264$, $p < 2.63\times10^{-7}$) และ Subjective norms ($\beta = 0.206$, $p < 1.12\times10^{-5}$) ตามลำดับ กิจกรรม D ค่าสัมประสิทธิ์เบต้าของทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Intention อย่างมีนัยสำคัญ โดย Pro-environmental initiatives ($\beta = 0.797$, $p < 8.83\times10^{-9}$) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความตั้งใจในการจัดการขยะ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบรองมาคือ Attitude ($\beta = 0.754$, $p < 7.02\times10^{-5}$) Subjective norms ($\beta = 0.713$, $p < 3.12\times10^{-9}$) และ PBC ($\beta = 0.500$, $p < 7.08\times10^{-4}$) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองพฤติกรรม TPB แบบขยายด้วยปัจจัยกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมต่อพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะ

หมายเหตุ : A คือ กิจกรรมโครงการเดิน วิ่ง ปั่น เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน B คือ กิจกรรม Washable C คือ กิจกรรมฐานภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ค่ายดงตาลแคมป์ และ D คือ โครงการอบรมการจัดการขยะอย่างยั่งยืนในงานเกษตรแฟร์

ปัจจัยกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อเจตนาพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะสูงสุดใน 2 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรม B Washable และ กิจกรรม D โครงการอบรมการจัดการขยะอย่างยั่งยืนในงานเกษตรแฟร์ 2568 โดยมีค่าความน่าเชื่อถือของปัจจัยในระดับที่ยอมรับได้ ส่วนกิจกรรม C ฐานภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ค่ายดงตาลแคมป์ 2567 และ กิจกรรม A เดิน วิ่ง ปั่น เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบเชิงบวกต่อความตั้งใจในการจัดการขยะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ระบุไว้ว่าความรู้เกี่ยวกับขยะมูลฝอยส่งผลกระทบต่อเจตนาในการจัดการขยะอย่างมีนัยสำคัญ [16] ทัศนคติเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเจตนาพฤติกรรมมากที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าความน่าเชื่อถือของปัจจัยด้านทัศนคติใน 2 กิจกรรมนี้มีค่าน้อยกว่าระดับที่ยอมรับได้ (Alpha<0.6) ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังในการนำข้อค้นพบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้

สรุป

จากผลการวิจัยพบว่า การจัดกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม มีผลกระทบเชิงบวกต่อพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เบต้าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นทั้ง 2 ใน 4 กิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นกิจกรรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อมถือเป็นเครื่องมือในการผลักดันพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะ นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบมากที่สุดในปัจจัยที่อิสระที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมตามหลัก TPB คือ ทัศนคติ (β = 0.709 — 0.760) ดังนั้นการพัฒนาทัศนคติผ่านการปลูกฝัง การฝึกฝนการตระหนักรู้ และเพิ่มความคิดเชิงบวก อาจเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะ ข้อค้นพบเหล่านี้จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการรจัดการขยะผ่านปัจจัยที่ส่งผลกระทบในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญ เผื่อนำไปสู่การมีส่วนผลักดันในการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนที่ 12 (SDGs12)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และการจัดห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาการจัดการขยะอย่างยั่งยืน (Sustainable Trash Management Research and Development Laboratory, Trash Lab) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเก็บรวบรวมข้อมูลและสนับสนุนการศึกษาวิจัย ซึ่งทำให้การวิจัยครั้งนี้สามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิผลและประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. 2018. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications.

[2] กรมควบคุมมลพิษ. 2567. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี 2567. สืบค้นจาก https://thaimsw.pcd.go.th/report_country.php?year=2567

[3] Woodard, R., & Rossouw, A. 2021. An Evaluation of Interventions for Improving Pro-Environmental Waste Behaviour in Social Housing. *Sustainability*, *13*(13), 7272.

[4] Ajzen, I. 1991. The theory of planned behaviour. Organizational Behaviour and Human Decision Processes, 50 (2), 179-211.

[5] Stoeva, K., Alriksson, S. 2017. Influence of recycling programmes on waste separation behaviour. Waste Management 68, 732-741.

[6] Matiiuk, Y., Liobikienė, G. 2021. The impact of informational, social, convenience and financial tools on waste sorting behavior: Assumptions and reflections of the real situation. Journal of Environmental Management 297, 113323.

[7] Mishra, D. 2024. Sustainability in solid waste management to reduce environmental impact in community. International Journal of Research and Review in Applied Science, Humanities, and Technology, 1(2), (71)

[8] Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. 2020. Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. Journal of cleaner production, 269, 122263.

[9] He, R., Sandoval-Reyes, M., Scott, I., Semeano, R., Ferrao, P., Matthews, S., & Small, M. J. 2022. Global knowledge base for municipal solid waste management: Framework development and application in waste generation prediction. Journal of Cleaner Production, 377, 134501.

[10] Yamane, T., Elementary sampling theory. 1967.

[11] Cochran, W. G. 1977. *Sampling techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

[12] Field, A., 2013. Discovering statistics using IBM SPSS statistics. sage.

[13] Hinton, P. R., McMurray, I., & Brownlow, C. 2014. *SPSS explained*. Routledge.

[14] Oztekin, C., Teksöz, G., Pamuk, S., Sahin, E., & Kilic, D. S. 2017. Gender perspective on the factors predicting recycling behavior: Implications from the theory of planned behavior. Waste Management, *62,* 290–302.

[15] Karunasena, G. G., Ananda, J., & Pearson, D. 2021. Generational differences in food management skills and their impact on food waste in households. Journal of Cleaner Production, 294, 126333.

[16] Vassanadumrongdee, S., & Kittipongvises, S. 2018. Factors influencing source separation intention and willingness to pay for improving waste management in Bangkok, Thailand. Sustainable Environment Research, 28(2), 90–99.

21R1-04

การวิเคราะห์ด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมของการนำขยะชุมชนไปแปรรูปเป็นพลังงาน กรณีศึกษาของกรุงเทพมหานคร

Energy, economic and environmental (3E) analysis of transforming municipal solid waste to energy: Case study of Bangkok Metropolitan

อิทธิชัย ไชยลังกา[1*] และ ชาติ เจียมไชยศรี[2]
Ittichai Chailungka[1*] and Chart Chiemchaisri[2]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา;[2]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 *โทรศัพย์:089 927 3972,Email:Ittichai.cha@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม หรือ 3E จากการศึกษาการนำเทคโนโลยีแปรรูปของเสียเป็นพลังงานมาใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร โดยเปรียบเทียบเทคโนโลยีเตาเผาแบบตะกรับที่สถานีหนองแขมและเทคโนโลยีเชิงกล-ชีวภาพ (MBT) ที่สถานีอ่อนนุช การศึกษาครอบคลุมประสิทธิภาพด้านพลังงานของขยะมูลฝอยโดยวิเคราะห์ทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและความร้อน การประเมินทางเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาค่าลงทุน ค่าจ้างบุคลากร การบำรุงรักษา และรายได้จากการให้บริการการจัดการขยะและการขายพลังงานในรูปไฟฟ้าและขยะเชื้อเพลิง (RDF) ส่วนการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างกระบวนการกำจัดขยะ กระบวนการขนส่งขยะ และประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 3E พบว่าเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุชมีประสิทธิภาพการนำกลับพลังงานสูงกว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขม เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของขยะมูลฝอยของเทคโนโลยี MBT ยังถูกเก็บอยู่ในรูปขยะเชื้อเพลิง ในขณะที่พลังงานจากเตาเผาถูกแปรรูปไปอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมมีค่าลงทุน ค่าบุคลากรและค่าบำรุงรักษาต่ำกว่าเทคโนโลยี MBT ในขณะที่มีรายได้จากการให้บริการจัดการขยะมูลฝอย และรายได้จากการขายไฟฟ้าเป็นหลักที่สูงกว่า ส่วนเทคโนโลยี MBT มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าเทคโนโลยีเตาเผา แม้ว่าเทคโนโลยีเตาเผามีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้สูงกว่าเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช

คำสำคัญ : การแปรรูปของเสียเป็นพลังงาน, เทคโนโลยีเตาเผา, เทคโนโลยีเชิงกล-ชีวภาพ, ประสิทธิภาพ 3E, การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Abstract

This study aims to assess the Energy, Economic, Environment or 3E efficiency of Waste-to-Energy technologies applied to manage municipal solid waste in Bangkok. The study compares grate incineration technology at Nong Khaem Station and Mechanical-Biological Technology (MBT) at On Nut Station. Its scope covers the evaluation of energy efficiency in the forms of electricity and heat. The economic assessment considers the investment cost, personnel cost, maintenance cost, and income received from waste management services and selling energy in the form of electricity and Refuse Derived Fuel (RDF). The environmental assessment covers greenhouse gas emissions during waste treatment, transportation, and reduction of greenhouse gas emissions from electricity generation to replace fossil fuels. The comparison of 3E efficiency reveals higher energy recovery efficiency of the MBT technology at On-nut station than the MBT technology at Nong Khaem station due to its storage of energy conversion mainly in the form of RDF product. Meanwhile, energy is mostly transformed into electricity for incineration technology. The economic evaluation suggests lower capital, personnel and operation costs of the incinerator technology at Nong Khaem Station while generating higher income from waste management services and mainly electricity sales. However, the MBT technology emits lower greenhouse gases than the incinerator technology although the incinerator technology has higher potential to mitigate greenhouse gas through electricity generation from renewable energy.

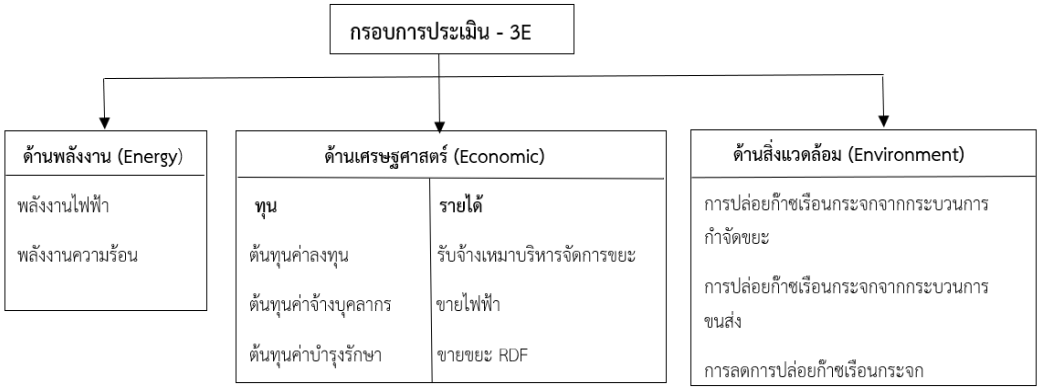
Keywords: Waste To Energy, Incineration Technology, Mechanical-Biological Treatment Technology 3E efficiency, Greenhouse Gas Emission

บทนำ

ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste) เป็นปัญหามลพิษที่สำคัญในประเทศไทย ในปี พ.ศ.2566 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนมากกว่า 26.95 ล้านตัน คิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.12 กิโลกรัม/คน/วัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.86 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2565 [1] ในปี พ.ศ.2566 ประเทศไทยมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกต้อง 114 แห่ง โดยเป็นประเภทการฝังกลบที่มากที่สุด 73 แห่ง สถานที่กำจัดมูลฝอยแบบไม่ถูกต้อง 1,965 แห่ง โดยเป็นประเภทการเทกองมากที่สุด 1,607 แห่ง จากข้อมูลพบว่าการกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 5.48 ของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยทั้งหมด [1] แสดงให้เห็นถึงปัญหาการจัดการขยะ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อระบบนิเวศและสุขภาพของประชากร ในขณะที่ กรุงเทพมหานครมีปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย 8,775 ตัน/วันในปี พ.ศ.2566 [2] โดยขยะมูลฝอยจะอาศัยวิธีการกำจัดแบบฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีการนำขยะบางส่วนไปหมักทำปุ๋ย (Composting) และแปรรูปเป็นพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีการบำบัดแบบเชิงกล-ชีวภาพ (MBT) และการเผาขยะมูลฝอยโดยนำพลังงานกลับมาผลิตไฟฟ้า ในอนาคตกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มในการนำขยะมูลฝอยไปแปรรูปเป็นพลังงานเพิ่มขึ้น เพื่อลดปริมาณการกำจัดด้วยวิธีฝังกลบ แต่ทางเลือกของเทคโนโลยีแปรรูปขยะมูลฝอยที่นำมาใช้ ยังไม่มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียในด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน ซึ่งทำให้ไม่สามารถกำหนดแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยที่ชัดเจนในอนาคตได้ การศึกษานี้ จึงทำการวิเคราะห์เทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยทั้ง 2 เทคโนโลยีดังกล่าวโดยอาศัยข้อมูลของระบบที่ใช้งานของกรุงเทพมหานครอยู่ในปัจจุบัน

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิเคราะห์พลังงาน (Energy) เศรษฐศาสตร์ (Economic) และสิ่งแวดล้อม (Environment) หรือ 3E ของเทคโนโลยีแปรรูปขยะมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานคร ทำการเปรียบเทียบเทคโนโลยีเตาเผาที่หนองแขมและเทคโนโลยีเชิงกล-ชีวภาพที่อ่อนนุช โดยใช้ข้อมูลการศึกษา ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2561-2567 ภายใต้กรอบการประเมิน 3E ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบการประเมิน 3E สำหรับ เทคโนโลยีเตาเผาขยะ และ เทคโนโลยี MBT

1.การวิเคราะห์ด้านพลังงาน (Energy)

ประสิทธิภาพด้านพลังงานของระบบแปรรูปขยะมูลฝอยประเมินในรูปของความร้อนโดยใช้ข้อมูลลักษณะสมบัติของขยะกรุงเทพมหานครเพื่อคำนวณค่าพลังงานความร้อนทางทฤษฎีของขยะโดยใช้ Modified Dulong Formula เปรียบเทียบกับค่าจากการตรวจวัด และการคำนวณปริมาณความร้อนจากผลิตภัณฑ์ของระบบแปรรูปขยะมูลฝอย ทั้งในรูปของไฟฟ้า เชื้อเพลิงขยะ (RDF) และก๊าซชีวภาพโดยอาศัยข้อมูลจากการดำเนินงานของระบบจริง โดยที่

$$\text{ประสิทธิภาพการนำกลับพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานความร้อนในผลิตภัณฑ์ของระบบ}}{\text{พลังงานความร้อนในขยะมูลฝอยที่ป้อนเข้าระบบ}} \times 100$$

ข้อมูลองค์ประกอบขยะกรุงเทพมหานครและปริมาณขยะของเทคโนโลยีเตาเผา ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 นำมาประเมินปริมาณธาตุองค์ประกอบและใช้ Modified Dulong Formula ที่แสดงในสมการที่ 1 และ 2 คำนวณค่าพลังงานความร้อนของขยะทางทฤษฎีและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการดำเนินงานของระบบเตาเผาดังแสดงในตารางที่ 3 โดยอ้างอิงข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร และการไฟฟ้านครหลวง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2561 - 2566

หน่วย: ร้อยละ

ประเภท/ใช้ประโยชน์	2561	2562	2563	2564	2565	2566	เฉลี่ย
เศษอาหาร	52.96	48.18	45.41	46.21	49.04	49.1	48.48
ไม้และใบไม้	6.13	5.51	5.76	6.36	5.02	5.38	5.69
กระดาษ recycle	2.38	2.36	2.71	2.43	2.30	1.47	2.28
พลาสติก recycle	5.17	4.69	4.94	2.15	1.76	0.94	3.28
โฟม	1.11	1.12	1.34	1.38	1.51	1.29	1.29
แก้ว	1.79	1.99	2.30	1.92	1.52	1.64	1.86
โลหะ	1.26	0.91	1.38	1.18	1.60	1.34	1.28
กระดาษ non recycle	7.11	9.03	11.31	9.63	9.30	9.93	9.39
พลาสติก non recycle	14.66	15.34	16.30	19.36	17.70	17.77	16.86
หนังและยาง	0.88	0.68	1.050	1.00	1.57	1.36	1.09
ผ้าและสิ่งทอ	4.70	5.33	4.15	5.49	5.08	6.16	5.15
หินและเซรามิค	0.53	0.17	0.25	0.46	1.09	1.19	0.62
กระดูกและเปลือกหอย	1.32	1.02	1.10	1.20	1.68	1.41	1.29
ผ้าอ้อมสำเร็จรูป	0.00	3.67	2.00	1.23	0.83	1.02	1.46
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาณมูลฝอยที่เข้าเตาเผาที่สถานีหนองแขม

เดือน	ประจำปี น้ำหนัก (ตัน)							เฉลี่ย(ตัน) ต่อเดือน
	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	
มกราคม	15,502.35	11,236.48	12,780.36	16,741.38	10,480.17	13,711.37	13,293.77	13,970.40
กุมภาพันธ์	14,559.31	11,815.13	4,622.07	14,041.97	12,745.74	13,730.81	14,559.62	
มีนาคม	11,031.33	5,663.35	15,501.46	6,638.91	9,484.85	15,498.75	15,510.51	
เมษายน	16,499.99	9,973.15	15,000.36	13,382.60	13,640.68	9,858.14	14,997.02	
พฤษภาคม	17,050.38	10,302.25	15,499.93	15,560.45	12,590.64	12,534.78	15,520.48	
มิถุนายน	16,498.48	16,498.60	14,986.03	15,068.79	15,318.01	15,039.79	15,048.09	
กรกฎาคม	17,049.10	15,501.29	15,516.33	15,645.69	16,938.83	15,523.25	15,542.56	
สิงหาคม	17,050.99	16,120.23	15,500.92	15,575.90	15,501.10	15,516.94		
กันยายน	4,314.78	15,599.80	9,750.62	10,320.37	11,053.92	15,057.41		
ตุลาคม	17,049.86	16,370.01	16,163.09	13,890.70	15,089.62	15,546.87		
พฤศจิกายน	16,499.89	15,939.59	16,456.53	12,184.54	14,998.14	13,050.00		
ธันวาคม	13,082.09	16,298.61	16,952.80	15,000.70	13,612.18	12,378.19		
รวม	176,188.55	161,318.49	168,730.50	164,052.00	161,453.88	167,446.30	104,472.05	

จากตารางข้อมูลขยะที่เข้าเตาเผาที่สถานีหนองแขมต่อเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 13,970.40 ตัน คิดเป็นเฉลี่ยต่อวันที่ 465.68 ตัน ค่าความร้อนต่ำที่ได้จากกระบวนการเผามูลฝอย (H_l) ประเมินจากค่าความร้อนจากการเผาไหม้มูลฝอยตามทฤษฎี (H_h) หักลบด้วยค่าความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่กลายเป็นไอ ตาม Modified Dulong Formula ดังสมการที่ 1 และ 2

H_h (Higher Heating Value) = 80.60C+339.10(H-O/8) + 5.56N+22.2S Kcal/kg (1)

H_l (Lower Heating Value) = H_h – 5.72(9H+W) Kcal/kg (2)

โดย C, H, O, S, N เป็น % โดยน้ำหนักเปียก,W* คือค่าพลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่ระเหยเป็นไอ ส่วน W คือค่า % ความชื้น

ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและผลิตไฟฟ้าของเตาเผาที่สถานีหนองแขม

เดือน	การผลิตไฟฟ้าประจำปี หน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)						การผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	2565			2566			
	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การขายไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	รวมการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การขายไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	รวมการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	
มกราคม	1,158,800.00	5,864,230.30	7,023,030.30	1,171,200.00	5,926,981.82	7,098,181.82	7,033,739.71
กุมภาพันธ์	1,149,080.00	5,815,041.21	6,964,121.21	1,068,400.00	5,406,751.52	6,475,151.52	
มีนาคม	1,064,400.00	5,386,509.09	6,450,909.09	1,235,920.00	6,069,000.00	7,304,920.00	
เมษายน	1,150,280.00	5,821,113.94	6,971,393.94	976,360.00	4,940,973.33	5,917,333.33	
พฤษภาคม	1,062,080.00	5,374,768.48	6,436,848.48	1,124,080.00	5,688,526.06	6,812,606.06	
มิถุนายน	1,235,680.00	6,253,289.70	7,488,969.70	1,236,000.00	6,254,909.09	7,490,909.09	
กรกฎาคม	1,279,120.00	6,473,122.42	7,752,242.42	1,260,400.00	6,378,387.88	7,638,787.88	
สิงหาคม	1,268,600.00	6,419,884.85	7,688,484.85	1,272,760.00	6,465,000.00	7,737,760.00	
กันยายน			0.00	1,244,400.00	6,297,418.18	7,541,818.18	
ตุลาคม	1,148,320.00	5,811,195.15	6,959,515.15	1,288,000.00	6,518,060.61	7,806,060.61	
พฤศจิกายน	1,165,240.00	5,896,820.61	7,062,060.61	1,012,000.00	5,121,333.33	6,133,333.33	
ธันวาคม	1,207,120.00	6,108,758.79	7,315,878.79	941,440.00	4,764,256.97	5,705,696.97	
รวม	12,888,720.00	65,224,734.55	78,113,454.55	13,830,960.00	69,831,598.79	83,662,558.79	

กำลังผลิตไฟฟ้าของระบบเตาเผาขยะมูลฝอยที่หนองแขมเท่ากับ 9.8 MW และจากข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 7,033,739.71 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือเฉลี่ย 234,458 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อวัน (ตารางที่ 3) จึงสามารถประเมินเป็นพลังงานได้เท่ากับ 201,732,352 kcal ต่อวัน (1 kWh = 860.42 kcal) ซึ่งค่าพลังงานนี้คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 23.4 ของปริมาณความร้อนจากขยะมูลฝอยที่ป้อนเข้าระบบ เมื่อคิดค่าพลังงานความร้อนต่ำของขยะมูลฝอยจากการตรวจวัดจริงเท่ากับ 1,848.48 kcal/kg (อ้างอิงข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร) หรือร้อยละ 14.6 เมื่อคิดค่าพลังงานความร้อนต่ำของขยะมูลฝอยในทางทฤษฎีเท่ากับ 2,958.72 kcal/kg

ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณขยะโดยรวมและปริมาณขยะแยกแต่ละประเภท ของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช

เดือน	มูลฝอยรวม ประจำปี น้ำหนัก (ตัน)				ขยะ RDF ประจำปี น้ำหนัก (ตัน)				มูลฝอย RECYCLE ประจำปี น้ำหนัก (ตัน)				มูลฝอยอินทรีย์ ประจำปี น้ำหนัก (ตัน)			
	2563	2564	2565	เฉลี่ย(ตัน)ต่อเดือน	2563	2564	2565	เฉลี่ย(ตัน)ต่อเดือน	2563	2564	2565	เฉลี่ย(ตัน)ต่อเดือน	2563	2564	2565	เฉลี่ย(ตัน)ต่อเดือน
มกราคม		19,472.23	18,547.21	19,246.21		5,240.21	6,096.05	3,650.86		254.09	258.00	229.16		13,977.93	12,193.16	15,450.29
กุมภาพันธ์		18,898.53	20,504.54			4,462.11	6,962.89			214.68	228.47			14,221.74	13,313.18	
มีนาคม	13,384.13	17,490.89	19,260.23			1,760.52	5,992.50			273.23	274.87			15,457.14	12,992.86	
เมษายน	17,432.99	14,846.22				1,904.17				215.30				12,726.75		
พฤษภาคม	20,638.44	19,971.24				636.55				268.83				19,065.86		
มิถุนายน	22,810.90	22,165.95				4,209.52				243.20				17,713.23		
กรกฎาคม	20,751.27	23,022.36				2,262.36				249.43				20,510.57		
สิงหาคม	24,113.02	11,456.87				1,891.67				137.68				9,427.52		
กันยายน	14,078.78	23,157.30				2,539.73				265.30				20,352.27		
ตุลาคม	23,763.13	21,821.74			1,677.67	1,638.80			138.71	235.78			21,946.75	19,947.16		
พฤศจิกายน	19,537.71	17,141.94			2,594.44	4,454.51			175.28	196.44			16,767.99	12,490.99		
ธันวาคม	15,438.86	21,448.71			4,726.61	6,665.23			241.00	254.59			10,471.25	14,528.89		
รวม	191,949.23	230,893.98	58,311.98		8,998.72	37,665.38	19,051.44		554.99	2,808.55	761.34		49,185.99	190,420.05	38,499.20	

จากตารางข้อมูลขยะที่เข้าระบบเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุชต่อเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 19,246.21 ตัน คิดเป็นเฉลี่ยต่อวันที่ 641.54 ตัน ส่วนปริมาณการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF มีค่าเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 3,650.86 ตัน หรือ 121.7 ตัน/วัน

ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช

เดือน	การผลิตไฟฟ้าประจำปี หน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)									การผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	2563			2564			2565			
	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การขายไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	รวมการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การขายไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	รวมการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การขายไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	รวมการผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	
มกราคม				396,973.56	536,026.44	933,000.00	440,432.00	179,568.00	620,000.00	710,166.67
กุมภาพันธ์				385,277.74	391,722.26	777,000.00	362,334.00	(7,334.00)	355,000.00	
มีนาคม				356,580.67	684,419.33	1,041,000.00	386,020.00	(159,020.00)	227,000.00	
เมษายน				302,664.71	449,335.29	752,000.00				
พฤษภาคม				407,146.70	492,853.30	900,000.00				
มิถุนายน				451,889.49	507,110.51	959,000.00				
กรกฎาคม				469,348.82	531,651.18	1,001,000.00				
สิงหาคม				233,567.21	331,432.79	565,000.00				
กันยายน				472,099.80	130,900.20	603,000.00				
ตุลาคม	484,450.64	197,549.36	682,000.00	444,872.20	(28,872.20)	416,000.00				
พฤศจิกายน	398,308.48	297,691.52	696,000.00	349,466.75	209,533.25	559,000.00				
ธันวาคม	314,746.65	582,253.35	897,000.00	437,267.37	362,732.63	800,000.00				
รวม	1,197,505.78	1,077,494.22	2,275,000.00	4,707,155.05	4,598,844.95	9,306,000.00	1,188,786.00	13,214.00	1,202,000.00	

หมายเหตุ :เดือน ตุลาคม 2564 ,กุมภาพันธ์ 2565 และ มีนาคม 2565 ที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าการขายไฟฟ้า

จากข้อมูลของระบบ MBT ที่ดำเนินการโดยบริษัท กรุงเทพธนาคม จำกัด ระบุว่ามีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 42,228 ลบ.ม./วัน โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนเท่ากับ 21,686 กิโลจูล (5,179.61 kcal) [3] โดยคิดเป็นค่าพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 218,724,571 kcal ต่อวัน เมื่อนำก๊าซชีวภาพดังกล่าวไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า มีข้อมูลปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบ MBT ของสถานีอ่อนนุช แสดงดังตารางที่ 5 โดยมีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 710,166.67 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็น 23,672.22 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อวัน จึงสามารถประเมินเป็นพลังงานได้เท่ากับ 20,368,052 kcal ต่อวัน (1 kWh = 860.42 kcal)

ส่วนปริมาณการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF มีค่าเฉลี่ย 121.7 ตัน/วัน เมื่ออ้างอิงค่าพลังงานเฉลี่ยของขยะ RDF เท่ากับ 3,539.15 kcal/Kg [4] จึงสามารถคำนวณพลังงานจากขยะเชื้อเพลิงได้เท่ากับ 430,714,555 kcal ต่อวัน

ดังนั้นระบบ MBT ที่อ่อนนุชมีการนำกลับพลังงานในรูปของไฟฟ้าและ RDF ได้รวมกันเท่ากับ 451,082,607 kcal ต่อวัน ซึ่งค่าพลังงานนี้คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 38.5 ของปริมาณความร้อนจากขยะมูลฝอยที่ป้อนเข้าระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,172,638,889 kcal ต่อวัน เมื่อคิดค่าพลังงานความร้อนต่ำขยะมูลฝอยจากการตรวจวัดจริงเท่ากับ 1,827.85 kcal/kg (อ้างอิงข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร) และปริมาณขยะมูลฝอยเข้าระบบเท่ากับ 641.54 ตันต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 23.8 เมื่อคิดเทียบกับค่าพลังงานความร้อนต่ำของขยะมูลฝอยในทางทฤษฎีเท่ากับ 2,958.72 kcal/kg

2.การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic)

ค่าลงทุนของระบบแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงานทั้ง 2 เทคโนโลยีอ้างอิงข้อมูลจากกรุงเทพมหานคร โดยเทคโนโลยีเตาเผาขยะคิดค่าจ้างบุคลากรต่อปีเท่ากับร้อยละ 2 ของเงินลงทุน และค่าบำรุงรักษาต่อปีเท่ากับร้อยละ 2.5 ของเงินลงทุน [6] ในส่วนเทคโนโลยี MBT คิดค่าจ้างบุคลากรต่อปีเท่ากับร้อยละ 1.7 ของเงินลงทุน และค่าบำรุงรักษาต่อปีเท่ากับร้อยละ 2.6 ของเงินลงทุน [7] ส่วนรายได้จากการจ้างเหมาบริหารจัดการขยะอ้างอิงข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร และรายได้จากการขายไฟฟ้าคิดในรูปแบบ Feed-in Tariff ในส่วนราคารับซื้อ RDF กำหนดเท่ากับ 0.20 บาท/Kcal/ตัน โดยขยะ RDF มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 121.7 ตัน/วัน การขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้านครหลวงในรูปแบบ Feed-in Tariff โดยการคำนวณแสดงดังสมการ 3 และ 4 ดังนี้

$$FiT_i = FiT_F + Fit_{V,i-1} \times (1 + \text{Core inflation}_{i-1}) + \text{FiT Premium} + \text{Adder} \quad (3)$$

$$Fit_{V,i} = FiT_{v,i-1} \times (1 + \text{Core inflation}_{i-1}) \quad (4)$$

โดย i = ปีใดๆ โดยให้ใช้ดัชนีราคาผู้บริโภคพื้นฐาน Annual to Annual (A/A) ณ เดือนธันวาคมของปีที่ i-1 เป็นค่า Core inflation_{i-1} โดยมีหน่วยเป็นร้อยละ (%) ที่กำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ ส่วนอัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT พิเศษ (FiT Premium) ระยะเวลา 8 ปีแรก สำหรับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงขยะ เท่ากับ 0.7 บาท/หน่วย และค่า Adder สำหรับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงขยะมีอัตรา 3.5 บาท/หน่วย เป็นเวลา 7 ปี (เริ่ม ส.ค.2558 สิ้นสุด เม.ย.2568)

3.การวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใช้ค่าแนะนำของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาขยะตามประเภทและเทคโนโลยีเตาเผาและการบำบัดขยะจากทาง IPCC Guidelines [8] ในส่วนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอ้างอิงการคำนวณขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO)

การคำนวณการปล่อยกาซเรือนกระจกของเทคโนโลยีเตาเผาขยะแสดงดังสมการที่ 5,6 และ 7 ดังนี้

$$CO_2 \text{ Emissions} = MSW \sum_j (WF_j \bullet dm_j \bullet CF_j \bullet FCF_j \bullet OF_j) \bullet 44/12 \quad (5)$$

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum (IW_i \bullet EF_i) \bullet 10^{-6} \quad (6)$$

$$N_2O \text{ Emissions} = \sum (IW_i \bullet EF_i) \bullet 10^{-6} \quad (7)$$

โดยที่ MSW=ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่นำเข้าเตาเผา (น้ำหนักเปียก,กิกะกรัม, Gg), j=ชนิดขององค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชน: กระดาษ พลาสติกและอื่นๆ, WF_j=สัดส่วนองค์ประกอบ j ในขยะมูลฝอยชุมชน โดยที่ $\sum WF_j = 1$, dm_j=สัดส่วนปริมาณขยะแห้งในองค์ประกอบขยะมูลฝอยประเภท j (fraction), CF_j =สัดส่วนของคาร์บอนเทียบกับปริมาณขยะแห้งในองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนชนิด j (fraction), FCF_j=สัดส่วนของฟอสซิลคาร์บอนเทียบกับคาร์บอนทั้งหมด ในองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนชนิด j (fraction), OF_j=ค่าออกซิเดชันแฟคเตอร์ สำหรับขยะมูลฝอยประเภท j (fraction), i=ประเภทของขยะนำเข้าเตาเผา, IW_i=ปริมาณขยะมูลฝอยประเภท i ที่นำเข้าเตาเผา (น้ำหนักเปียก,กิกะกรัม,Gg), 44/12=ค่าการแปลงจาก C เป็น CO_2 EF_i =ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CH_4 หรือ N_2O จากการเผาขยะหรือของเสีย (กก. CH_4 หรือ N_2O)/ กิกะกรัมของขยะ), 10^{-6}=ค่าการแปลงหน่วยจาก กิโลกรัม เป็น กิกะกรัม

ส่วนค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดขยะทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศของเทคโนโลยี MBT แสดงดังสมการที่ 8 ดังนี้

$$CH_4 \text{ Emissions} = [\sum_i (M_i \bullet EF_i] \bullet 10^{-3}] - R \quad (8)$$

โดยที่ M_i=ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปบำบัดทางชีวภาพด้วยวิธี i (กิกะกรัม, Gg), EF_i=ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย จากการบำบัดทางชีวภาพด้วยวิธี i (กรัม CH_4/กิกะกรัม ขยะ), R=ปริมาณก๊าซมีเทนที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ (กิกะกรัม, Gg)

ในส่วนค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล สามารถคำนวณดังสมการที่ 9,10 และ 11 ดังนี้

$$BE_y = BE_{EG,y} \quad (9)$$

$$BE_{EG,y} = (EG_{Grid,PJ,y} \times 10^{-3}) \times EF_{EG_RE,PJ,y} \quad (10)$$

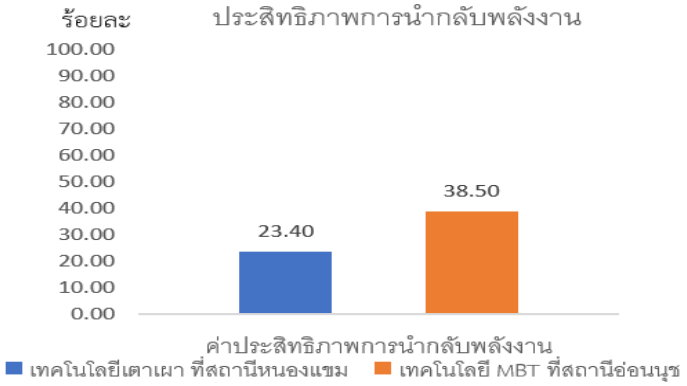
$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (11)$$

โดยที่ BE_y=ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน ในปี y (tCO_2/year), $BE_{EG,y}$=ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในปี y (tCO_2/year), $EG_{Grid,PJ,y}$=ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เพื่อจำหน่ายเข้าสู่ระบบสายส่งจากการดำเนินโครงการพลังงานหมุนเวียน ในปี y (kWh/year), $EF_{EG_RE,PJ,y}$=ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน ในปี y (tCO_2/MWh),ER_y=การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y (tCO_2eq/year), PE_y=การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO_2eq/year), LE_y=การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการในปี y (tCO_2eq/year), กรณีกำลังการผลิตติดตั้งรวมแต่ละประเภทเทคโนโลยีไม่เกิน 15 MW ค่า LE_y = 0

ผลการทดลองและวิจารณ์

1.การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพลังงาน

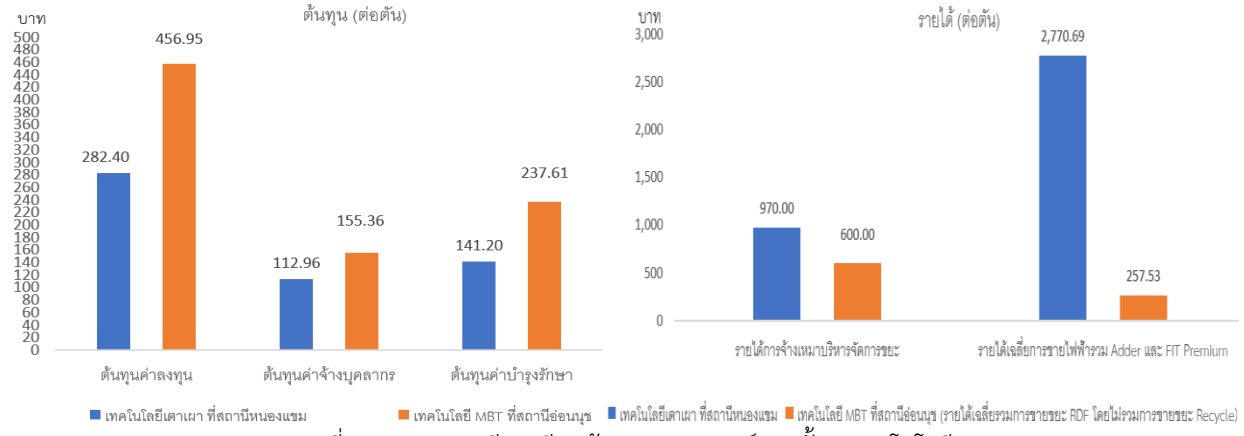
จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับพลังงานของเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขม และเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช จะเห็นได้ว่า การนำกลับพลังงานของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 38.5 มีค่าสูงกว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขม ซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 23.4 ในกรณีที่ประเมินโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนของขยะมูลฝอยจากการวิเคราะห์จริง เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของขยะมูลฝอยยังถูกเก็บอยู่ในรูปขยะเชื้อเพลิง (RDF) ในขณะที่พลังงานจากเตาเผาถูกแปรรูปไปในรูปของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด



ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการนำกลับพลังงานของทั้ง 2 เทคโนโลยี

2.การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์

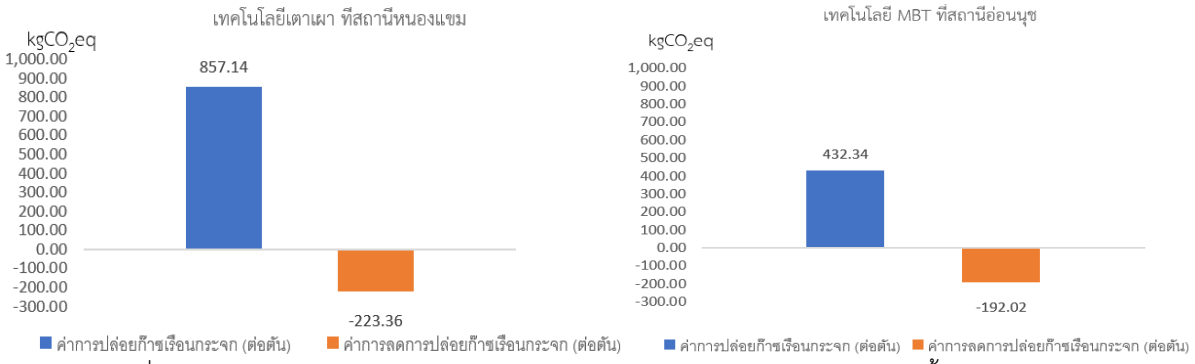
จากการวิเคราะห์ต้นทุนของระบบแปรรูปขยะมูลฝอย พบว่าเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช มีต้นทุนการลงทุนต่อตันขยะประมาณ 1.6 เท่าของระบบเตาเผา ในส่วนค่าบุคลากร และค่าบำรุงรักษามีค่าประมาณ 1.4 เท่าและ 1.7 เท่าของระบบเตาเผาตามลำดับ ในขณะที่มีขนาดของระบบเท่ากับ 641.54 ตันต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 1.4 เท่าของระบบเตาเผา (465.68 ตันต่อวัน) และมีเครื่องจักรอุปกรณ์ในการดำเนินงานที่มากกว่า ในส่วนของรายได้จากการดำเนินงาน พบว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมมีรายได้เท่ากับ 2,770.69 บาทต่อตันขยะมูลฝอย ซึ่งเป็น 10.8 เท่ารายได้ของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช (257.53 บาทต่อตันขยะมูลฝอย) อันเนื่องมาจากรายได้หลักจากการขายไฟฟ้า ในขณะที่เทคโนโลยี MBT มีรายได้หลักมาจากการขายขยะเชื้อเพลิง (RDF) ดังนั้น เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยที่สถานีหนองแขมจึงมีประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีกว่าเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่าและมีรายได้จากการดำเนินงานสูงกว่า ข้อมูลแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 เทคโนโลยี

3.การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลพบว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขม มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากกว่า อันเนื่องมาจากการเผาไหม้วัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนจากฟอสซิล ในขยะมูลฝอยที่มากกว่า ส่วนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขม มีค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากกว่าอันเนื่องมาจากมีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มากกว่าเนื่องมาจากกระบวนการเผาไหม้สามารถแปรรูปขยะมูลฝอยอินทรีย์ได้ทั้งหมด แต่ภาพรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุชมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตันมูลฝอยที่น้อยกว่าจากการแปรรูปขยะอินทรีย์โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพจึงทำให้ภาพรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อตันมูลฝอยมีปริมาณที่น้อยกว่า



ภาพที่ 4 แสดงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 2 เทคโนโลยี

สรุป

การวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงานของกรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการนำกลับพลังงานของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุชมีค่าเป็น 1.6 เท่าของเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมเนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของขยะมูลฝอยยังถูกเก็บกักอยู่ในรูปขยะเชื้อเพลิง (RDF) ในขณะที่พลังงานจากเตาเผาถูกแปรรูปไปอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมมีค่าลงทุนต่ำกว่าเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช โดยค่าลงทุนของเทคโนโลยี MBT คิดเป็น 1.6 เท่าของระบบเตาเผา และค่าบุคลากร และค่าบำรุงรักษาของระบบ MBT มีสัดส่วน 1.4 เท่าและ 1.7 เท่าของระบบเตาเผาตามลำดับ เนื่องจากเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุชมีการใช้กระบวนการและอุปกรณ์ในการดำเนินงานมากกว่า ในขณะที่รายได้จากการดำเนินงานของเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมมีค่าเท่ากับ 10.8 เท่าของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุช อันเนื่องมาจากรายได้หลักจากการขายไฟฟ้า ในขณะที่เทคโนโลยี MBT มีรายได้หลักมาจากการขายขยะเชื้อเพลิง (RDF) ส่วนการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าเทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมมีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น 2 เท่าของเทคโนโลยี MBT ที่สถานีอ่อนนุชเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนจากฟอสซิล ซึ่งมีปริมาณโดยรวมมากกว่าที่อยู่ในขยะเชื้อเพลิง RDF ถึงแม้เทคโนโลยีเตาเผาที่สถานีหนองแขมจะมีศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งสูงกว่าเทคโนโลยี MBT ที่อ่อนนุชเล็กน้อย จากการผลิตไฟฟ้าเพื่อทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีเตาเผาขยะใช้พื้นที่น้อยและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากแต่ก็ยังพบข้อจำกัดในเรื่องการปลดปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพการนำกลับพลังงานจากการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการเผาไหม้ที่มากถึง 60-70% ในส่วนของเทคโนโลยี MBT กลับมีข้อดีในเรื่องการปลดปล่อยมลพิษที่ต่ำกว่า มีประสิทธิภาพการนำกลับพลังงานที่มากโดยเก็บกักอยู่ในรูปขยะเชื้อเพลิง (RDF) แต่มีข้อจำกัดเรื่องการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่น้อยจากก๊าซชีวภาพ ตลอดจนถึงพบปัญหาเรื่องกลิ่นจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เอกสารอ้างอิง

[1] ส่วนขยะมูลฝอยชุมชน กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปีพ.ศ.2566

[2] สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร สถิติปริมาณมูลฝอยประจำปีงบประมาณ 2566

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน การใช้เทคโนโลยีพลังงานก๊าซชีวภาพ

[4] รัฐไกร คำหมู่. 2564: การเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าขยะโดยมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงขยะ (RDF) กรณีศึกษานิคมอุตสาหกรรมพิจิตร วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน การศึกษาต้นทุนและประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนในประเทศไทย รายงานฉบับสมบูรณ์ พ.ศ.2562

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2562)

[7] Adrian Paul Raj, Parames Chutima (2018) Determination of Waste Treatment Fee Pricing Mechanism for Municipal Solid Waste by Mechanical Biological Treatment Method utilizing the Public Private Partnership Model in Thailand, International Scientific Journal Of Engineering And Technology (ISJET), Vol. 2 No. 1

[8] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.

21R1-05

การใช้กระจกพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตมอร์ต้าร์

Utilizing of Solar Panel Glass in Mortar

จิรพัชร์ บุตรดี[1*] พิชญ รัชฎาวงศ์[2]

Jirapat Buddee[1*] Pichaya Rachdawong[2]

[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

[1*] นิสิตมหาบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

*โทรศัพท์ : 090 956 6149, E-mail : 6572010821@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

จากการคาดการณ์ปริมาณแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.7 ล้านตันในปี 2030 และมากถึง 60 ล้านตันในปี 2050 [1] โดยองค์ประกอบหลักของแผงพลังงานแสงอาทิตย์คือกระจก ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักทั้งหมด [2] อย่างไรก็ตามกระบวนการจัดการขยะจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีข้อจำกัด เช่น ค่าใช้จ่ายสูง และขั้นตอนที่ซับซ้อน โดยทั่วไปเศษวัสดุเหล่านี้มักถูกนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบอุตสาหกรรม [3] ซึ่งส่งผลให้สูญเสียวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การนำกระจกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนทรายในมอร์ต้าเป็นแนวทางในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานส่วนใหญ่ถูกทิ้งในหลุมฝังกลบ ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษานี้ใช้ขนาดของกระจกที่ 0.15 – 0.60 มิลลิเมตร ที่ร้อยละ 0, 30, 50, 70 และ 100 จากการศึกษาสัดส่วนคละพบว่างสองวัสดุมีสัดส่วนคละที่ใกล้เคียงกันแต่กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดที่เล็กกว่าทราย กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณการลอดผ่านที่สูงกว่า ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะมากกว่าทราย ในส่วนค่ากำลังการรับแรงอัดที่ 28 วัน พบว่าเมื่อปริมาณกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ค่าการรับแรงอัดที่ลดลง ที่ร้อยละ 50 และ 70 เป็นอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม การทดแทนทรายด้วยกระจกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้ไม่เพียงลดปริมาณขยะ แต่ยังช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติจากการขุดทราย นอกจากนี้ยังช่วยลดการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ เนื่องมาจากคุณสมบัติการกันน้ำตามธรรมชาติของอนุภาคกระจก และยังช่วยลดค่าการนำความร้อนโดยรวมของมอร์ต้าได้ เนื่องจากตัวกระจกเองมีค่าการนำความร้อนต่ำโดยธรรมชาติ

คำสำคัญ : แผงพลังงานแสงอาทิตย์, การนำกลับมาใช้ใหม่, ของเสียกระจก, มอร์ต้าร์

Abstract

The global end-of-life solar panel volume is projected to increase to 1.7 million tons by 2030 and to 60 million tons by 2050 [1]. Glass is the most important component of solar panels, making up over 70% of their overall weight. Solar panel waste management is still limited, however, by its high expense and intricate processes. Renewable materials are lost when this waste material is often dumped in Secured landfill [3]

When the majority of end-of-life solar panel glass is disposed of in landfills, which has a detrimental effect on the environment, replacing sand in mortar with solar panel glass is one way to manage the growing amount of e-waste. Glass diameters ranging from 0.15 to 0.60 mm at 0, 30, 50, 70, and 100 percent were used in this investigation. Although the two materials had comparable aggregate gradation, the solar panel glass was smaller than the sand, according to the aggregate gradation analysis. In comparison to the sand, the solar panel glass exhibited a higher percentage of passing and a higher percentage of water absorption. In terms of the amount of solar panel glass decreased the compressive strength at 28 days, it was discovered that the most appropriate replacement ratios were 50 and 70 percent, as their compressive strengths were comparable to those of the control sample. By using these solar panel glasses instead of sand, waste was decreased and natural resources from sand mining were preserved. Due to the glass particles' natural ability to reject water, it also decreased chloride permeability. Additionally, because glass has a low thermal conductivity by nature, it decreased the mortar's overall thermal conductivity.

Keywords: Solar panel, Recovery, Waste glass, Cement mortar

บทนำ

จากการคาดการณ์แผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานทั่วโลก ภายในปี 2030 เพิ่มขึ้นเป็น 1.7 ล้านตัน และคาดว่าภายในปี 2050 จะเพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 60 ล้านตัน [1] โดยที่แผงพลังงานแสงอาทิตย์มีองค์ประกอบที่เป็นกระจกมากกว่าร้อยละ 70 และมีแนวโน้มที่จะมากขึ้น [2] แต่กระบวนการคัดแยกแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อน โดยมักทำการกำจัดซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการคัดแยกอย่างง่าย ก่อนจะนำส่วนที่เหลือไปบดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบอุตสาหกรรม (Secured landfill) [3] ซึ่งนอกจากจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการกำจัด ยังสูญเสียวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้จากการทิ้งไปที่หลุมฝังกลบ โดยเป็นเศษวัสดุกระจกจำนวนมาก แต่ว่าวัสดุกระจกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ มักจะมีสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ เช่น Ethylene Vinyl Acetate (EVA) และสาร Anti–Reflectance ทำให้ยากแก่การนำกลับมาใช้ใหม่ และเป็นข้อจำกัดสำคัญของโรงงานคัดแยก เนื่องจากวัสดุเหล่านี้จะกลายเป็นภาระที่โรงงานจะต้องจ่ายค่ากำจัดเพื่อให้ไปกำจัดอย่างถูกต้องที่หลุมฝังกลบ [4]

กระจกที่ใช้ในการผลิตแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นกระจกที่มีธาตุเหล็กต่ำ (Low iron) มีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายกับแก้วโซดาไลม์ (Soda lime glass) แต่กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความแข็งมากกว่ากระจกทั่วไป ทนต่อการ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อเกิดการแตกของกระจกจะแตกเป็นเม็ดเล็กๆ มีความแหลมคมไม่มาก [5] ซึ่งเป็นสมบัติของกระจกเทมเปอร์ (Tempered glass)

มอร์ต้าร์เป็นส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ น้ำ และทราย โดยการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมวลรวมละเอียดและมอร์ต้าร์ อย่างการทดสอบหาส่วนคละ การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด และการทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ต้าร์ เพื่อตรวจสอบสมบัติของวัสดุให้เป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากความแข็งแรงของมอร์ต้าร์จึงมีผลต่อความแข็งแรงและความทนทานของโครงสร้างโดยรวม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การนำเศษแก้วหรือกระจกเหลือใช้มาใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานคอนกรีตและมอร์ต้าร์ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะสามารถช่วยลดปัญหาขยะจากแก้วที่ย่อยสลายยาก และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ทรายและหินที่ใช้เป็นมวลรวม ทั้งยังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการรั่วไหลของโลหะหนักตามเกณฑ์ RCRA-8 [6] นอกจากนี้ยังช่วยลดการซึมผ่านของคลอไรด์ เนื่องมาจากคุณสมบัติการกันน้ำตามธรรมชาติของอนุภาคแก้วและกระจก ช่วยลดค่าการนำความร้อนโดยรวมของมอร์ต้า เนื่องจากแก้วและกระจกมีค่าการนำความร้อนต่ำโดยธรรมชาติ [7] และเพิ่มคุณค่าของวัสดุให้เกิดการนำมาใช้ใหม่อีกครั้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ประกอบด้วยเศษกระจกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์และทรายธรรมชาติ ที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.15–0.60 มิลลิเมตร ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ขั้นพื้นฐาน สำหรับเตรียมส่วนผสมมอร์ต้าร์

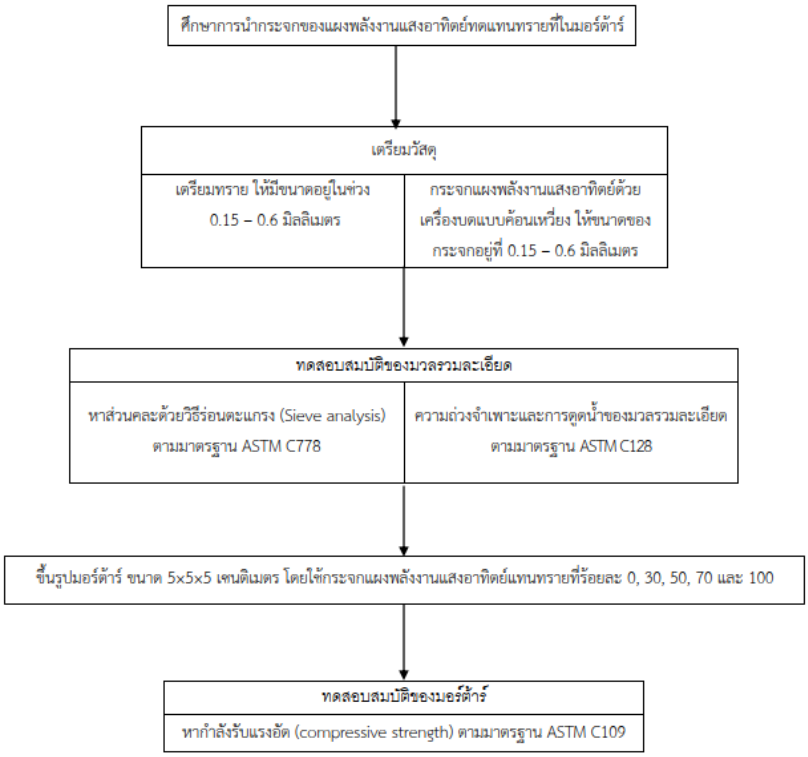


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1 (ก) ซากกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (ข) กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกบด (ค) ทรายแม่น้ำ

2.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

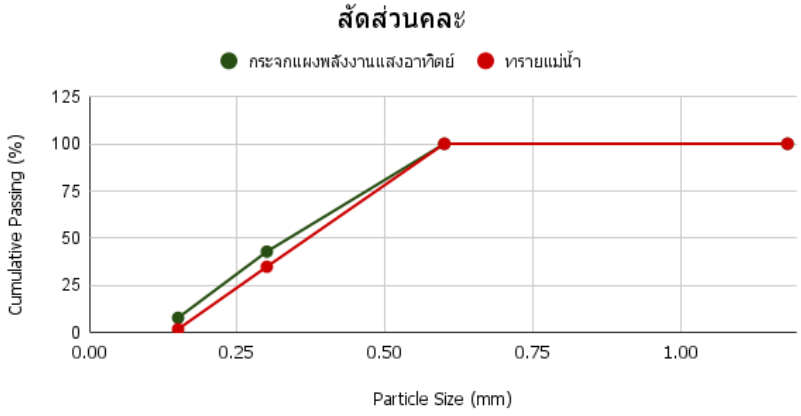
เตรียมวัสดุอย่างกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill) และคัดแยกให้ขนาดของกระจกและทรายอยู่ที่ 0.15 – 0.60 มิลลิเมตร นำกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์และทรายหาส่วนคละด้วยวิธีร่อนตะแกรง (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C778, (2021) [8] และความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C128, (2022). [9] จากนั้นทำการเตรียมขึ้นรูปมอร์ต้าร์ ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร โดยผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1:ทราย:น้ำ ที่อัตราส่วน 1.00:2.75:0.60 และใช้กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์แทนทรายที่ร้อยละ 0, 30, 50, 70 และ 100 ตามลำดับเพื่อนำไปหากำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ที่ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C109, (2020) [10]



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบสมบัติมวลรวมละเอียด



รูปที่ 3 สัดส่วนคละของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์และทราย

ตารางที่ 1 ส่วนคละของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์และทราย

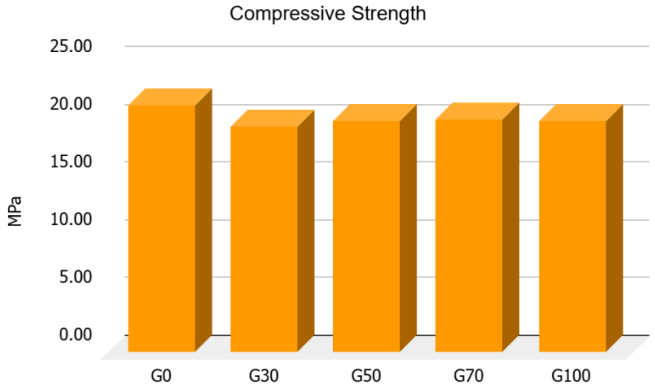
ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (มม.)	น้ำหนักตะแกรง (ก.)	น้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักกระจก (ก.)	น้ำหนักค้างของกระจก (ก.)	ร้อยละค้างของกระจก (%)	ร้อยละค้างสะสมของกระจก (%)	ร้อยละผ่านสะสมของกระจก (%)	น้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักทราย (ก.)	น้ำหนักค้างของทราย (ก.)	ร้อยละค้างของทราย (%)	ร้อยละค้างสะสมของทราย (%)	ร้อยละผ่านสะสมของทราย (%)
เบอร์ 16	1.18	395	395	0	0	0	100	395	0	0	0	100
เบอร์ 30	0.60	355	355	0	0	0	100	355	0	0	0	100
เบอร์ 50	0.30	345	625	285	57	57	43	670	325	65	65	35
เบอร์ 100	0.15	315	490	175	35	92	8	480	165	33	98	2
ถาดรอง	-	360	400	40	8	-	0	370	10	2	-	0
น้ำหนักมวลรวมละเอียด = 500 กรัม												

จากการหาส่วนคละด้วยวิธีร่อนตะแกรง (Sieve analysis) ของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์และทราย พบว่าส่วนคละของทั้งสองนั้นมีการกระจายของขนาดเม็ดที่ต่างกัน โดยที่ขนาดเม็ดของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์เล็กกว่าทราย กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณการลอดผ่านที่สูงกว่า ทั้งสองวัสดุมีสัดส่วนคละที่ใกล้เคียงกันความคล้ายคลึงของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคช่วยให้สามารถรักษาการทำงานได้ดีเมื่อแทนที่ทรายด้วยกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 2 ความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของทรายและกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์

	ทราย	กระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์
น้ำหนักของตัวอย่างหลังจากอบแห้ง (A)	496.83	497.13
น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (B)	650.00	650.00
น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่ทตัวอย่างและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (C)	947.69	941.50
น้ำหนักของตัวอย่างที่สภาวะอิ่มตัวแห้ง (S)	500.00	500.45
ความถ่วงจำเพาะรวม Bulk specific gravity	2.46	2.38
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง Bulk specific gravity, SSD	2.47	2.40
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ Apparent specific gravity	2.49	2.38
ร้อยละการดูดน้ำของตัวอย่าง Absorption (%)	0.64	0.67

ส่วนของความถ่วงจำเพาะและการดูดน้ำของมวลรวมละเอียด พบว่าความถ่วงจำเพาะรวมของทรายและกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 2.46 และ 2.38 ตามลำดับ ส่งผลทำให้น้ำหนกของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นจะมีน้ำหนักที่ลดลง การดูดน้ำของทรายและกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับร้อยละ 0.64 และ 0.67 ตามลำดับ ส่งผลต่อสัดส่วนของปูนซีเมนต์ต่อน้ำในการผสมและอาจเกิดการแยกตัวของวัสดุ (Bleeding) หากไม่ปรับให้เหมาะสม



รูปที่ 4 ผลทดสอบกำลังรับแรงอัด (compressive strength)

ผลของกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน พบว่าการแทนที่ทรายด้วยกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 50 – 70% จากนั้นเมื่อใช้กระจก 100% กำลังรับแรงอัดจะเริ่มลดลงเล็กน้อย

สรุป

จากผลการทดลองสัดส่วนคละที่ใกล้เคียงกันทำให้สามารถใช้กระจกทดแทนทรายได้ แต่การมีเม็ดละเอียดและร้อยละการดูดซึมน้ำของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มากกว่าอาจต้องปรับปริมาณน้ำในส่วนผสม ในส่วนของความถ่วงจำเพาะรวมนั้นแสดงว่ากระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีความหนาแน่นน้อยกว่าทราย ทำให้มอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นจะมีน้ำหนักที่เบาลง และการแทนที่ด้วยกระจกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50 และ 70 มีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเศษกระจกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้แทนทรายในมอร์ต้าร์ได้ อย่างไรก็ตามการใช้เศษกระจกในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลเสียต่อคุณสมบัติทางเชิงกล เหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่ไม่ได้เน้นการรับน้ำหนักหรือแรงอัดมาก เช่น ผนังกั้นห้อง หรือผนังอิฐมวลเบา งานวิจัยนี้เสนอแนวทางใหม่ในการจัดการขยะจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์อย่างยั่งยืน พร้อมทั้งสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ในภาคก่อสร้าง

กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อนุเคราะห์เครื่องและสถานที่ในการทำการวิจัย รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำ รวมถึงข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการทำงาน ที่มีส่วนสำคัญในการสนับสนุนและช่วยเหลือให้การดำเนินงานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] National Renewable Energy Laboratory (2011), Polycrystalline Thin-Film Materials and Devices R&D, web page, National Renewable Energy Laboratory.

[2] Paiano, A. (2015). Photovoltaic waste assessment in Italy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 99-112. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.208

[3] ณิชชา บูรณสิงห์. (2561). แผงโซลาร์เซลล์ : ขยะพิษที่ไม่ควรมองข้าม. https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2561/sep2561-1.pdf

[4] พิชญ รัชฎาวงศ์, สมชัย รัตนธรรมพันธ์, เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย, ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์, & สันต์ สัมปัตตะวนิช. (2559). โครงการ “การจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า (Management of expired solar PV panels)”. https://elibrary.trf.or.th/download_fullstep1.asp

[5] Humood, M., Beheshti, A., & Polycarpou, A. A. (2017). Surface reliability of annealed and tempered solar protective glasses: Indentation and scratch behavior. Solar Energy, 142, 13-25. doi:10.1016/j.solener.2016.12.011

Pavlopoulos, C., Kelesi, M., Michopoulos, D., Papadopoulou, K., Lymperopoulou, T., Skaropoulou, A., Tsivilis, S., & Lyberatos, G. (2022). Management of end–of–life photovoltaic panels based on stabilization using Portland cement. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *27*. https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100687

[6] Pavlopoulos, C., Kelesi, M., Michopoulos, D., Papadopoulou, K., Lymperopoulou, T., Skaropoulou, A., Tsivilis, S., & Lyberatos, G. (2022). Management of end–of–life photovoltaic panels based on stabilization using Portland cement. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *27*. https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100687

[7] Gorospe, K., Booya, E., Ghaednia, H., & Das, S. (2019). Strength, Durability, and Thermal Properties of Glass Aggregate Mortars. Journal of Materials in Civil Engineering, 31(10). https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002884

[8] ASTM C778. (2021). Standard Specification for Standard Sand. Book of ASTM Standards, 04.01. doi:10.1520/C0778-96R03.

[9] ASTM C128. (2022). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. Book of Standards, 04.01, 11.doi:10.1520/C0128_C0128M-22

[10] ASTM C109. (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). Book of Standards, 04.01, 11. doi:10.1520/C0109_C0109M-20.

21R1-06

การศึกษาแนวทางการแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางความร้อน

Investigation of Thermal Process Approaches for End-of-Life Solar Panel Separation

สุมินทร์ญา เอกฉาย[1*] พิชญ รัชฎาวงศ์[2]

Suminya Ekchai[1*] Pichaya Rachadawong[2]

[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2]รองศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

*โทรศัพท์ : 0877983464, Email : Suminya.ekc@gmail.com

บทคัดย่อ

การจัดการซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานเป็นความท้าทายสำคัญด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ผลึกซิลิคอนแบบสองหน้า และเพื่อระบุสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกส่วนประกอบด้วยกระบวนการทางความร้อน โดยมุ่งเน้นการสลายตัวของสารผนึกเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) การทดลองดำเนินการโดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างซากแผงฯ ในช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ และประเมินประสิทธิภาพการแยกโดยการสังเกตลักษณะทางกายภาพ ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำให้ EVA สลายตัวอย่างสมบูรณ์และสามารถแยกส่วนประกอบหลักออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นระยะเวลา 60 นาที เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ให้ผลสมบูรณ์และใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสภาวะอื่นที่ให้ผลลัพธ์เดียวกัน การวิเคราะห์องค์ประกอบของแผงฯ ที่ศึกษาภายหลังการแยก พบว่าประกอบด้วยกระจกประมาณร้อยละ 93, แผ่นซิลิคอนร้อยละ 5 และลวดโลหะนำร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของกระบวนการทางความร้อนในการเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการรีไซเคิลซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: แผงพลังงานแสงอาทิตย์, กระบวนการทางความร้อน, กระจก, แผ่นซิลิคอน, ลวดโลหะ

Abstract

The management of end-of-life (EoL) solar panels presents a significant environmental challenge. This research aimed to analyze the quantitative composition of EoL bifacial monocrystalline silicon solar panels and to identify the optimal conditions for component separation using a thermal process, focusing on the decomposition of the Ethylene Vinyl Acetate (EVA) encapsulant. Experiments involved heating panel samples at various temperatures and durations, with separation efficiency evaluated through physical observation. The study found that the optimal condition for achieving complete EVA decomposition and effective separation of primary components was thermal treatment at 450°C for 60 minutes. This condition represented the lowest temperature yielding complete separation, thus requiring less energy compared to other similarly effective higher temperatures. Compositional analysis of the separate panels revealed approximately 93% glass, 5% silicon wafer, and 2%

metallic conductors by weight. These findings highlight the potential of thermal processing as a preliminary approach for recycling EoL solar panels.

Keywords: Solar panels, Thermal process, Glass, Silicon wafer, Metallic conductors

บทนำ

ในปัจจุบัน การกำจัดซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการฝังกลบยังคงเป็นทางเลือกที่นิยมใช้ในบางพื้นที่ เนื่องจากความสะดวกและต้นทุนต่ำ แต่วิธีการนี้ไม่สอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารอันตรายเช่น แคดเมี่ยม ตะกั่ว ออกสู่สิ่งแวดล้อมในระยะยาว (Dias et al., 2016) [2] ดังนั้น การรีไซเคิลจึงเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับว่ามีความเหมาะสมและยั่งยืนมากกว่า โดยมีเป้าหมายเพื่อนำวัสดุที่มีมูลค่า เช่น กระจก อะลูมิเนียม ซิลิคอน และโลหะอื่น ๆ กลับคืนสู่กระบวนการผลิตใหม่ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะ ลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(Kang et al., 2012) [6] กระบวนการรีไซเคิลซากแผงสามารถดำเนินการได้หลายวิธี อาทิ กระบวนการทางกายภาพ (Mechanical recycling) กระบวนการทางเคมี (Chemical recycling) และกระบวนการทางความร้อน (Thermal recycling) แต่ความท้าทายสำคัญประการหนึ่งคือ การยึดติดกันอย่างแน่นหนาของชั้นวัสดุต่าง ๆ ด้วยสารพอลิเมอร์ เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate: EVA) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารผนึก (Encapsulant) ทำให้การแยกส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น กระจกและเซลล์แสงอาทิตย์ ออกจากกันได้ยาก (Pagnacco et al., 2018) [8]

ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาแนวทางการแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยกระบวนการทางความร้อนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและสัดส่วนเชิงปริมาณของวัสดุในซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการระบุสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimal conditions) สำหรับการสลายตัวทางความร้อนของสารผนึกเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate: EVA) ด้วยการสังเกตทางกายภาพ จากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการอบแยกด้วยกระบวนการทางความร้อน

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์องค์ประกอบและสัดส่วนเชิงปริมาณของวัสดุในซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์
2. ระบุสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimal conditions) สำหรับการสลายตัวทางความร้อนของสารผนึก (EVA) ด้วยการสังเกตทางกายภาพ จากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านการอบแยกด้วยกระบวนการทางความร้อน

ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษานี้ใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอนแบบสองหน้า (Bifacial Monocrystalline Silicon) ซึ่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้าระบุอยู่ในช่วง 535–550 วัตต์
2. กระบวนการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ดำเนินการโดยใช้เตาอบสำหรับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Oven)
3. ตัวอย่างซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาศึกษาไม่รวมส่วนประกอบที่สามารถถอดแยกได้ด้วยวิธีทางกายภาพเบื้องต้น ได้แก่ กรอบอะลูมิเนียม (Aluminum Frame) และกล่องรวมสายไฟฟ้า (Junction Box)
4. การวัดค่ามวลของวัสดุต่าง ๆ ดำเนินการโดยใช้เครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Balance) ที่มีความละเอียดในการอ่านค่า 0.001 กิโลกรัม สามารถรองรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 0-15 กิโลกรัม

5. การศึกษาวิจัยนี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) โดยใช้ตัวอย่างซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 15 x 15 ตารางเซนติเมตร สำหรับการทดสอบ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและพัฒนากระบวนการแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีทางความร้อน จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในองค์ประกอบทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบหลักของแผงฯ โดยทั่วไปแล้ว แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon PV Modules) ซึ่งมีการใช้งานแพร่หลายที่สุด มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กระจก (Glass) ซึ่งมักเป็นกระจกนิรภัยชนิดโซดาไลม์ (Soda-lime tempered glass) คิดเป็นสัดส่วนน้ำหนักมากที่สุดประมาณ 70 - 80% ตามมาด้วยกรอบอะลูมิเนียม (Aluminum Frame) ประมาณ 10 – 15% ชั้นพอลิเมอร์ ได้แก่ เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate: EVA) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารผนึก (Encapsulant) ยึดติดกระจก เซลล์แสงอาทิตย์ และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน (Silicon Solar Cells) ประมาณ 3 – 5% และส่วนของลวดโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (เช่น บัสบาร์ทองแดงเคลือบดีบุก, โลหะบัดกรี) และกล่องรวมสายไฟ ประมาณ 1 – 2% (IRENA, 2016) [4] สัดส่วนเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปบ้างขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและรุ่นของแผง

หัวใจสำคัญของการแยกด้วยวิธีทางความร้อนคือการใช้พลังงานความร้อนเพื่อทำให้เกิดการสลายตัว (Decomposition or Degradation) ของชั้นพอลิเมอร์ EVA ซึ่งเป็นพันธะที่ยึดส่วนประกอบต่าง ๆ ไว้ด้วยกัน จากการศึกษาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักด้วยความร้อน (Thermogravimetric Analysis: TGA) พบว่า EVA จะเริ่มเกิดการสลายตัวทางความร้อนอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิประมาณ 300-350 °C และเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิประมาณ 400 – 500 °C โดยอุณหภูมิที่สลายตัวสูงสุด (Peak Decomposition Temperature) มักอยู่ระหว่าง 450 – 480 °C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะบรรยากาศ (เช่น มีหรือไม่มีออกซิเจน) และอัตราการให้ความร้อน (Heating Rate) (Pagnacco et al., 2018; Xu et al., 2018) [8] [11] การเข้าใจช่วงอุณหภูมิจึงจำเป็นต่อการกำหนดสภาวะการทำงานของเตาอบเพื่อให้ EVA สลายตัวได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ

นอกจากอุณหภูมิสลายตัวของ EVA แล้ว การพิจารณาจุดหลอมเหลว (Melting Point) หรือจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของวัสดุอื่น ๆ ก็มีความสำคัญต่อการออกแบบกระบวนการเช่นกัน กระจกโซดาไลม์ที่ใช้ทั่วไปไม่มีจุดหลอมเหลวที่ชัดเจน แต่จะเริ่มอ่อนตัวลงอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 – 700 °C (Varshneya & Mauro, 2019) [10] โลหะบัดกรี (Solder) ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์และริบบอน (Ribbon) ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก-ตะกั่ว (Sn-Pb) หรือโลหะผสมไร้สารตะกั่ว เช่น ดีบุก-เงิน-ทองแดง (Sn-Ag-Cu) มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำ โดย Sn-Pb หลอมเหลวที่ประมาณ 183 °C และ Sn-Ag-Cu หลอมเหลวที่ประมาณ 217 – 220 °C (IPC-Association Connecting Electronics Industries, 2018) [5] ในขณะที่ซิลิคอน (Silicon) ซึ่งเป็นวัสดุหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ มีจุดหลอมเหลวสูงมากที่ประมาณ 1414 °C (Haynes, 2014) [3] ดังนั้น การเลือกอุณหภูมิในการดำเนินการทางความร้อนจึงต้องเป็นจุดสมดุลที่สามารถสลาย EVA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพยายามหลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่จะทำให้กระจกเกิดการอ่อนตัวหรือเสียรูปทรง หรือทำให้ซิลิคอนเสื่อมสภาพ หากต้องนำวัสดุเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ในรูปเดิม

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินการศึกษาแนวทางการแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางความร้อน เริ่มจากการพิจารณาองค์ประกอบทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบหลักของแผงฯ รวมถึงจุดหลอมเหลว เพื่อกำหนดแนวทางในการทดลองอบแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของ EVA โดยไม่ทำให้วัสดุอื่นเสื่อมสภาพ ทั้งนี้ เงื่อนไขการทดลองจะเลือกอบแผงขนาด 15x15 cm ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 600 °C เพิ่มขึ้นทีละ 50 °C โดยในแต่ละค่าอุณหภูมิจะใช้เวลาในการอบที่ 30, 60 และ 90 นาที จำนวน 3 รอบต่อเงื่อนไข เนื่องจาก ในปี ค.ศ. 2021 อี-เนส รีช และคณะ

ได้ศึกษาการอบแยกแผงพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ที่อุณหภูมิ 650 °C ใช้เวลา 30 นาที เป็นเงื่อนไขที่ EVA เกิดการสลายตัวอย่างสมบูรณ์ (Ines Riech et al., 2021) [9] ในขณะที่ ในปี ค.ศ. 2023 ปินหานเฉินและคณะ ได้ศึกษาการแยกวัสดุจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการ Pyrolysis พบว่า ที่อุณหภูมิ 600 °C ใช้เวลา 60 นาที EVA เกิดการสลายตัวอย่างสมบูรณ์เช่นกัน (Chen, P et al., 2024) [1] ดังนั้น การเพิ่มระยะเวลาทดลองที่ 90 นาที ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อขยายขอบเขตการศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการสลายตัวของ EVA

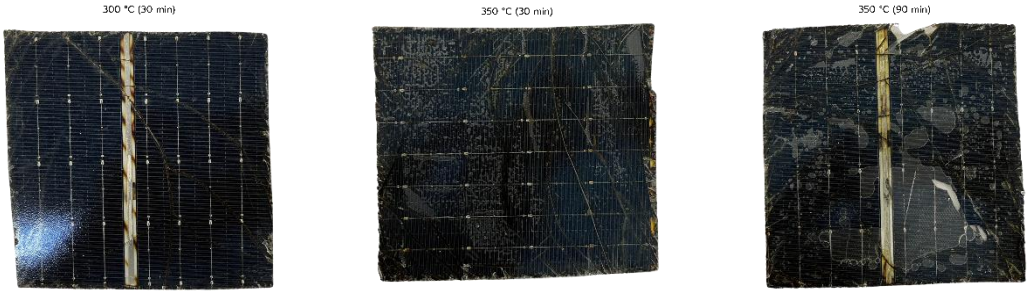
ทั้งนี้ ตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบและสัดส่วนเชิงปริมาณของวัสดุในซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้แก่ ค่าน้ำหนักของกระจก แผ่นซิลิกอน และลวดโลหะ ด้วยวิธีการ Data Normalization และระบุสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimal conditions) สำหรับการสลายตัวทางความร้อนของสารผนึก (EVA) ด้วยการสังเกตทางกายภาพ จากการอบแยกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้กำหนดไว้ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังรูปที่ 1



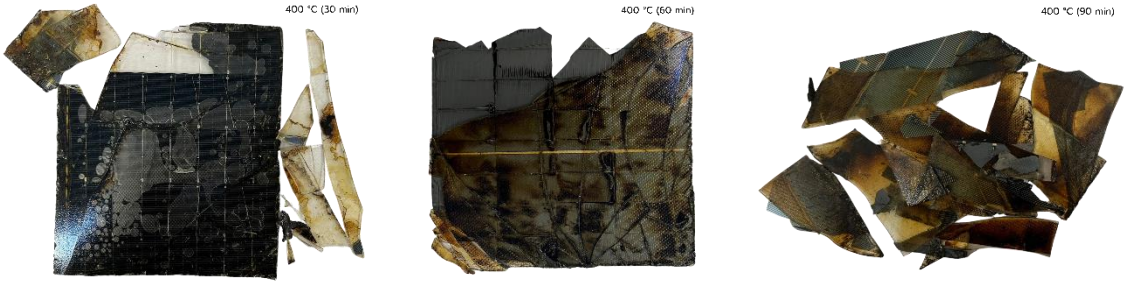
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ผลการศึกษา

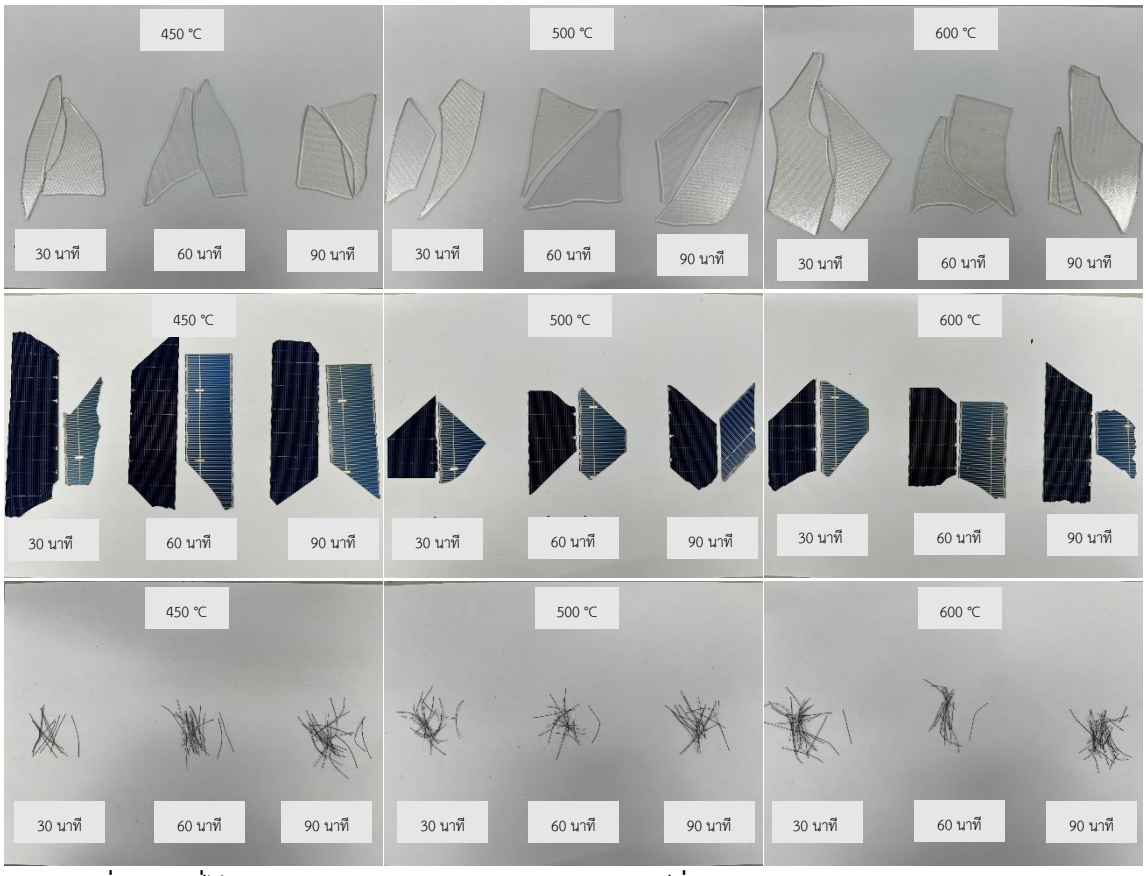
ผลการทดลองให้ความร้อนแก่ตัวอย่างซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 15x15 ตารางเซนติเมตร ในช่วงอุณหภูมิ 300°C ถึง 600 °C (โดยปรับเพิ่มขึ้นละ 50 °C) ในระยะเวลา 30, 60 และ 90 นาที (ดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อเงื่อนไข รวมทั้งสิ้น 63 การทดลอง) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการแยกส่วนประกอบของแผงฯ อย่างชัดเจน ผลการสังเกตพบว่าที่อุณหภูมิ 300 °C และ 350 °C ไม่ปรากฏการแยกตัวขององค์ประกอบในแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกเวลาที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 2 อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 °C พบว่าเริ่มมีการแยกตัวขององค์ประกอบบางส่วน เกิดขึ้นได้ในทุกเวลาที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 3 ซึ่งบ่งชี้ถึงการเริ่มต้นของการสลายตัวของสารผนึก EVA ในขณะที่ ที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 450 °C ขึ้นไป (จนถึง 600 °C) พบว่าสารผนึก EVA เกิดการสลายตัวอย่างสมบูรณ์ในทุกช่วงเวลาที่ทดลอง ส่งผลให้สามารถแยกองค์ประกอบหลักของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วย กระจก แผ่นซิลิกอน และลวดโลหะ (ลวด/ริบบอน) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 ผลการอบแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 300°C และ 350 °C



รูปที่ 3 ผลการอบแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 400 °C



รูปที่ 4 วัสดุที่ได้จากการอบแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 450 °C 500 °C และ 600 °C

วัสดุหลักที่ได้จากการทดลองแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยความร้อน ณ อุณหภูมิตั้งแต่ 450 °C ถึง 600 °C (ซึ่งครอบคลุมทุกระยะเวลาทดสอบคือ 30, 60 และ 90 นาที) ได้แก่ กระจก แผ่นซิลิคอน และส่วนที่เป็นลวดโลหะ (ลวด/ริบบอน) จากตัวอย่างที่แยกส่วนประกอบได้สมบูรณ์จำนวน 36 ชุด ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาสัดส่วนองค์ประกอบเชิงปริมาณ ด้วยวิธี Data Normalization จากการวิเคราะห์พบว่า แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ผลึกซิลิคอนแบบสองหน้าที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ มีองค์ประกอบโดยน้ำหนักเฉลี่ยประกอบด้วยกระจกเป็นหลัก คิดเป็นสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 93 ตามมาด้วยแผ่นซิลิคอนเฉลี่ยร้อยละ 5 และส่วนของลวดโลหะเฉลี่ยร้อยละ 2 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนองค์ประกอบเชิงปริมาณของวัสดุที่ได้จากการอบแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์

อุณหภูมิ	เวลา	น้ำหนักแผงฯ ก่อนอบ (kg)			น้ำหนักกระจก หลังอบ (kg)			น้ำหนักแผ่นซิลิกอน หลังอบ (kg)			น้ำหนักลวด หลังอบ (kg)			Normalization น้ำหนักกระจก			Normalization น้ำหนักแผ่นซิลิกอน			Normalization โลหะตัวนำ (ลวด)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
450	30	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.04	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
450	60	0.22	0.23	0.23	0.21	0.21	0.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
450	90	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.04	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
500	30	0.21	0.22	0.21	0.20	0.21	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
500	60	0.24	0.22	0.22	0.22	0.20	0.20	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.92	0.93	0.93	0.06	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
500	90	0.22	0.23	0.21	0.21	0.22	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.05	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02
550	30	0.23	0.20	0.22	0.21	0.19	0.21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.04	0.05	0.05	0.02	0.03	0.02
550	60	0.22	0.20	0.23	0.20	0.18	0.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.90	0.93	0.05	0.05	0.04	0.02	0.03	0.02
550	90	0.21	0.22	0.22	0.20	0.20	0.21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
600	30	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.93	0.93	0.93	0.04	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02
													เฉลี่ย	0.93			0.05			0.02		

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอนแบบสองหน้าที่นำมาวิเคราะห์ มีองค์ประกอบและสัดส่วนเชิงปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ยประกอบด้วยกระจกเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 93 รองลงมาคือแผ่นซิลิคอนร้อยละ 5 และส่วนของลวดโลหะ(ลวดบัดกรีและริบบอน) ร้อยละ 2 โดยสัดส่วนของกระจกที่สูงนี้อาจสะท้อนถึงการออกแบบเฉพาะของแผงชนิดสองหน้า (Bifacial) ที่แตกต่างจากสัดส่วนในแผงชนิดหน้าเดียว (Monofacial) ซึ่งมีปริมาณกระจกอยู่ในช่วง 70 – 80% (IRENA, 2016; Lunardi et al., 2018) [4] [7] สำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Condition) ต่อการแยกส่วนประกอบของซากแผงฯ ด้วยกระบวนการทางความร้อน ซึ่งประเมินจากการสลายตัวอย่างสมบูรณ์ของสารผนึก EVA โดยอาศัยการสังเกตลักษณะทางกายภาพ (Physical Observation) คือเงื่อนไขที่อุณหภูมิ 450 °C ระยะเวลาในการให้ความร้อน 60 นาที เนื่องจาก เป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดในเงื่อนไขที่ใช้ทดสอบซึ่งสามารถทำให้ EVA สลายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกส่วนประกอบได้อย่างสมบูรณ์ การใช้อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ยังคงประสิทธิผลนี้สอดคล้องกับหลักการลดการใช้พลังงานและลดผลกระทบเชิงความร้อนต่อวัสดุที่ต้องการกู้คืน (Pagnacco et al., 2018) [8] การพิจารณาระยะเวลา 60 นาที ณ อุณหภูมิ 450 °C เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเหตุผลสนับสนุนที่สำคัญคือ หากใช้ระยะเวลาเพียง 30 นาที พบว่าการสลายตัวของ EVA ยังไม่สมบูรณ์ ทำให้วัสดุต่าง ๆ โดยเฉพาะกระจกและแผ่นซิลิคอน ยังคงมีลักษณะเหนียวและยึดติดกันอยู่ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการแยกออกจากกันด้วยวิธีการทางกายภาพอย่างง่าย เช่น การร่อน (Sieving) หรือการเคาะ (Tapping) ในทางกลับกัน การเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็น 90 นาที ณ อุณหภูมิ 450 °C แม้จะทำให้การแยกส่วนประกอบเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ แต่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของกระจกที่กู้คืนได้ โดยพบว่ากระจกเริ่มมีลักษณะขุ่นมัวหรืออมเหลืองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงความร้อน (Thermal Oxidation) หรือการเกิดคราบตกค้างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของ EVA ที่อุณหภูมิและระยะเวลาดังกล่าวนานขึ้น (Xu et al., 2018) [11] ปรากฏการณ์นี้อาจส่งผลลบต่อมูลค่าและการนำกระจกกลับไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความใสสูง ดังนั้นอุณหภูมิ 450 °C ระยะเวลา 60 นาที จึง

เป็นจุดสมดุลที่ดีที่สุดระหว่างการสลายตัวของ EVA อย่างเพียงพอเพื่อการแยกส่วนประกอบ และการรักษาคุณภาพของกระจกไว้ได้มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุน คำแนะนำ และความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ยิ่ง จนกระทั่งงานวิจัยเรื่อง การศึกษาแนวทางการแยกซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางความร้อน ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen, P.-H., Chen, W.-S., Lee, C.-H., & Wu, J.-Y. (2024). Comprehensive review of crystalline silicon solar panel recycling: From historical context to advanced techniques. Sustainability, 16(1), 60. https://doi.org/10.3390/su16010060

[2] Dias, P., Schmidt, L., Kourmpetti, C., Mira, T., & Beylot, A. (2016). End of life management of photovoltaic panels: trends and challenges. European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy (ETC/WMGE).

[3] Haynes, W. M. (Ed.). (2014). CRC Handbook of Chemistry and Physics (95th ed.). CRC Press.

[4] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels. IRENA and the International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS).

[5] IPC-Association Connecting Electronics Industries. (2018). IPC-HDBK-005: Guide to soldering and solderability. IPC.

[6] Kang, D., Yoo, J., Yi, J., & Kim, R. (2012). Recycling of manufacturing scrap containing silicon and silver from crystalline silicon solar cells. Renewable Energy, 47, 150-155. https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.024

[7] Lunardi, M. M., Alvarez-Gaitan, J. P., Bilbao, J. I., & Corkish, R. (2018). A review of recycling processes for photovoltaic modules. Solar Energy, 165, 114-132. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.041

[8] Pagnacco, M. C., Mosquera, M. J., Andreoli, V., Barbis, D. P., & Mendes, L. A. (2018). Evaluation of thermal treatment for recycling crystalline silicon photovoltaic modules. Waste Management, 76, 468-476. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.010

[9] Riech, I., Castro-Montalvo, C., Wittersheim, L., Giácoman-Vallejos, G., González-Sánchez, A., Gamboa-Loira, C., Acosta, M., & Méndez-Gamboa, J. (2021). Experimental methodology for the separation materials in the recycling process of silicon photovoltaic panels. *Materials*, *14*(3), 581. https://doi.org/10.3390/ma14030581

[10] Varshneya, A. K., & Mauro, J. C. (2019). Fundamentals of Inorganic Glasses (3rd ed.). Society of Glass Technology.

[11] Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. Waste Management, 75, 450-458. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036

21R1-07

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการแยกกระจกออกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ลิโมนีน

Analysis of Optimal Conditions for Separating Glass from Solar Panel Waste using Limonene

กิตติวดี รุจิสรรย์[1*] พิชญ รัชฎาวงศ์[2]

Kittiwadee Rujisan[1*] Pichaya Rachdawong[2]

[1*] นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ : 0632161122, E-mail : 6572004021@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการแยกกระจกออกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนที่หมดอายุการใช้งาน โดยใช้ลิโมนีนซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่พบในเปลือกผลไม้รสเปรี้ยว มีคุณสมบัติช่วยละลายโคพอลิเมอร์เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตต (EVA) ที่เป็นชั้นยึดติดระหว่างกระจกกับเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาได้ทำการทดสอบปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการอบ (160°C, 180°C และ 200°C) ความเข้มข้นของลิโมนีน (ร้อยละ 50, 60 และ 70) และระยะเวลาในการแช่ (60, 90 และ 120 นาที) รวมทั้งสิ้น 27 เงื่อนไขการทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเข้มข้นของลิโมนีนที่มากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยก EVA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ขณะที่ระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นจาก 90 นาทีเป็น 120 นาทีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.78$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกกระจกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิในการอบ 200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของลิโมนีนร้อยละ 70 และระยะเวลาการแช่ 90 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C ซึ่งให้ประสิทธิภาพการแยกสูงสุดโดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 7.43

คำสำคัญ : แผงพลังงานแสงอาทิตย์; ลิโมนีน; การรีไซเคิล; การแยกกระจก

Abstract

This study aimed to analyze the optimal conditions for separating glass from end-of-life crystalline silicon solar panels using limonene, a natural substance found in citrus fruit peels with properties that dissolve ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymer, which serves as the adhesive layer between glass and solar cells. The research investigated three key factors: heating temperature (160°C, 180°C, and 200°C), limonene concentration (50%, 60%, and 70%), and immersion time (60, 90, and 120 minutes), resulting in 27 experimental conditions with three replications each. The results showed that higher temperatures and increased limonene concentrations significantly improved EVA separation efficiency ($p<0.001$), while extending immersion time from 90 to 120 minutes showed no significant difference ($p=0.78$). The optimal conditions for glass separation from solar panel waste were determined to be heating at 200°C for 1 hour, using 70% limonene concentration, and immersing for 90 minutes at 80°C, which yielded the highest separation efficiency with an average weight loss of 7.43%.

Keywords : solar panels; limonene; recycling; glass separation

บทนำ

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (c-Si) เป็นแผงที่นิยมมากในตลาดโลก โดยครอบคลุมกว่าร้อยละ 90-95 ของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด (Sabatino et al., 2024) [1] เมื่อแผงเหล่านี้หมดอายุการใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 25-30 ปี จะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องจัดการอย่างเหมาะสม การรีไซเคิลชิ้นส่วนของแผงเหล่านี้ โดยเฉพาะกระจกซึ่งมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนักทั้งหมด จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ

โดยทั่วไป แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนใช้โคพอลิเมอร์เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตต (EVA) เป็นสารห่อหุ้มเพื่อยึดติดกระจกและเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน (Trivedi et al., 2023) [2] การแยกชิ้นส่วนของแผงเหล่านี้จำเป็นต้องทำลายสารห่อหุ้มนี้ออกก่อน ปัจจุบันมีวิธีการแยกองค์ประกอบหลัก 3 วิธี ได้แก่ วิธีทางความร้อน วิธีทางกายภาพ และวิธีทางเคมี (Klugmann-Radziemska et al., 2010; Pagnanelli et al., 2016) [3] [4] วิธีทางเคมีที่ใช้สารเคมีเพื่อละลายวัสดุยึดติด เช่น EVA มีประสิทธิภาพสูงในการแยกชิ้นส่วน แต่สารเคมีที่ใช้มักมีพิษและก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ (Klugmann-Radziemska et al., 2010; Pagnanelli et al., 2016) [3] [4]

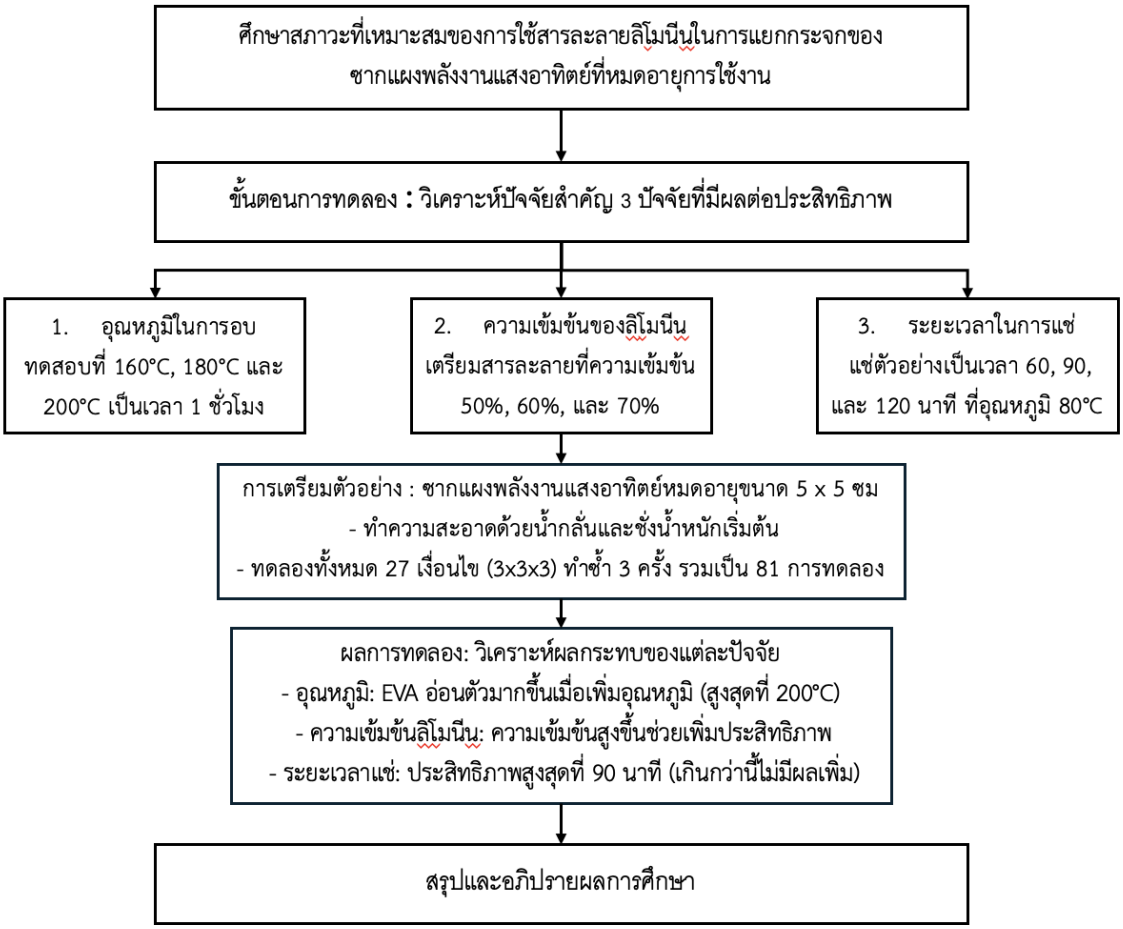
จากการศึกษาล่าสุด นักวิทยาศาสตร์จากสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งประเทศจีน (Chinese Academy of Sciences) ได้พัฒนาวิธีการใหม่ในการแยก EVA ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ลิโมนีน ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่สกัดได้จากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม ลิโมนีนสามารถควบคุมการขยายตัวของ EVA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการแยกชั้นวัสดุออกจากกัน วาง (Wang) และคณะได้อธิบายว่า “การควบคุมระดับการขยายตัวของ EVA มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการแยกชั้นวัสดุ จากการศึกษาของเรา เราได้เลือกลิโมนีนธรรมชาติเป็นตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม ลิโมนีนสามารถทำให้ EVA ขยายตัวอย่างเหมาะสม ทำลายพันธะที่รอยต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้เกิดการขยายตัวมากเกินไปและไม่เกิดความเสียหายต่อเซลล์แสงอาทิตย์” (Chinese Academy of Science, 2024) [5]

ลิโมนีนเป็นสารธรรมชาติที่พบในเปลือกผลไม้รสเปรี้ยว มีข้อดีคือเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัยสูงกว่าสารเคมีทั่วไป มีคุณสมบัติช่วยละลาย EVA คุณสมบัติที่ไม่เป็นขั้วของลิโมนีนช่วยให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้าง EVA และทำให้วัสดุแยกออกจากกันได้ (Abdo et al., 2023) [6] แนวทางนี้ช่วยลดการใช้สารเคมีอันตรายและสามารถนำไปพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการรีไซเคิลที่ยั่งยืน (Abdo et al., 2023) [6]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายลิโมนีนในการแยกกระจกของซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน โดยมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก ได้แก่ อุณหภูมิในการอบ ความเข้มข้นของสารละลายลิโมนีน และระยะเวลาในการแช่ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกกระจกออกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำความเข้าใจถึงความจำเป็นของการรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการรีไซเคิลที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

การรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานเป็นประเด็นที่มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากปริมาณแผงเหล่านี้ที่ต้องถูกกำจัดจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนประกอบด้วยวัสดุที่มีคุณค่า เช่น ซิลิกอนและเงิน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การแยกกระจกออกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นขั้นตอนที่ท้าทาย โดยเฉพาะการแยก EVA ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการปิดผนึกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ สารละลายลิโมนีน (D-limonene) เป็นสารที่มีศักยภาพในการช่วยให้การแยกส่วนประกอบเหล่านี้ง่ายขึ้นโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมมากนัก การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกกระจกออกจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาจากอุณหภูมิในการอบ ความเข้มข้นของสารละลายลิโมนีน และระยะเวลาในการแช่ เพื่อปรับปรุงกระบวนการรีไซเคิลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีขั้นตอนดำเนินงานวิจัยดัง**รูปที่ 1**



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก EVA

1. อุณหภูมิในการอบ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก EVA จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนแก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 170 ± 5°C ทำให้ EVA อ่อนตัวลงและสามารถแยกกระจกออกได้โดยใช้แรงกล อุณหภูมิดังกล่าวอยู่เหนือจุดหลอมเหลวของ EVA (66.9°C) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัว (215-385°C) (Glonek et al., 2017) [7]

ในการทดลองที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบที่ 160°C, 180°C และ 200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ EVA อ่อนตัวมากขึ้น อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการสลายตัวของ EVA และปล่อยสารที่เป็นพิษออกมา การศึกษาของจาง (Zhang) และคณะแนะนำว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรอยู่ระหว่าง 180-190°C เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการแยก EVA โดยไม่ทำลายเซลล์ซิลิกอน (Zhang et al., 2023) [8]

2. ความเข้มข้นของสารละลายลิโมนีน

ความเข้มข้นของลิโมนีนมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการแยก EVA การศึกษาของวาง (Wang) และคณะพบว่า “ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม ลิโมนีนสามารถทำให้ EVA ขยายตัวอย่างเหมาะสม ทำลายพันธะที่รอยต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ” (Chinese Academy of Science, 2024) [5] ในการทดลองที่ศึกษาความเข้มข้นของลิโมนีนที่ร้อยละ 50, 60 และ 70 พบว่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นทำให้อัตราการแยกชั้นของกระจกเพิ่มขึ้น แต่หากความเข้มข้นสูงเกินไปอาจส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์เสียหายได้

นอกจากนี้ การศึกษายังแสดงให้เห็นว่าลิโมนีนสามารถเข้าถึงและทำลายพันธะซิลานที่รอยต่อระหว่าง EVA และกระจกได้ดีกว่าสารละลายอินทรีย์อื่นๆ เช่น โทลูอีน ไซโคลเฮกเซน หรือไซลีน การทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 60-70 ลิโมนีนสามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้น EVA และทำให้เกิดการพองตัวที่เหมาะสม นำไปสู่การแยกชั้นที่มีประสิทธิภาพโดยไม่ทำลายเซลล์ซิลิกอน

3. ระยะเวลาในการแช่

ระยะเวลาในการแช่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก EVA งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาการแช่ชิ้นตัวอย่างในตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 25°C กระบวนการพองตัวและการแยกชั้นสิ้นสุดหลังจาก 50 นาที ที่อุณหภูมิ 35°C ใช้เวลา 35 นาที และที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาเพียง 30 นาที

ในการทดลองที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่ที่ 60, 90 และ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C พบว่าการแช่เป็นเวลานานขึ้นทำให้อัตราการแยกชั้นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ 90-120 นาที อย่างไรก็ตาม การศึกษาของเฮง (Heng) และคณะพบว่าการแช่ในเวลาที่นานเกินไปอาจทำให้เกิดการละลายของส่วนประกอบบางอย่างของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ขั้วโลหะ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อคุณภาพของวัสดุที่รีไซเคิลได้ (Huang et al., 2025) [9]

<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

1. ซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนที่หมดอายุการใช้งาน
2. สารละลายลิโมนีน (D-limonene, ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95)
3. น้ำกลั่น
4. ตู้อบความร้อน
5. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
6. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. เครื่องแก้วพื้นฐาน: บีกเกอร์ กระบอกตวง
8. อุปกรณ์ตัดแผงพลังงานแสงอาทิตย์

<u>วิธีการทดลอง</u>

การทดลองนี้ศึกษาปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกกระจกออกจากซากแผงฯ ได้แก่

1. อุณหภูมิในการอบ ทดสอบที่ 160°C, 180°C และ 200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำให้ EVA อ่อนตัว
2. ความเข้มข้นของสารละลายลิโมนีน เตรียมสารละลายลิโมนีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยใช้น้ำกลั่น
3. ระยะเวลาในการแช่ แช่ชิ้นตัวอย่างเป็นเวลา 60, 90 และ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

1. ตัดแผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นชิ้นขนาด 5×5 ซม. ดัง**รูปที่ 2**



รูปที่ 2 ชิ้นตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มตามอุณหภูมิที่ใช้

2. ทำความสะอาดตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้ง
3. ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างแต่ละชิ้น บันทึกค่า

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิทดสอบ (160°C, 180°C หรือ 200°C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาแช่ในสารละลายลิโมนีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 50, 60 หรือ 70 ที่อุณหภูมิ 80°C
3. แช่ตัวอย่างตามระยะเวลาที่กำหนด (60, 90 หรือ 120 นาที)
4. เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างออกจากสารละลาย ล้างด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้ง
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังการทดลอง บันทึกค่า

การทดลองมีทั้งหมด 27 เงื่อนไข (3×3×3) ทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมเป็น 81 การทดลอง

การวิเคราะห์ผล

1. คำนวณอัตราการสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss) ตาม**สมการที่ 1**

$$\% \text{ weight loss} = (\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}) / \text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times 100 \quad (1)$$

2. วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยที่ศึกษา
3. ใช้การทดสอบ Tukey's HSD เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของอุณหภูมิในการอบต่อประสิทธิภาพการแยก EVA

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในการอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการแยก EVA ออกจากกระจก ($p<0.001$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 160°C เป็น 180°C และ 200°C พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.25 เป็นร้อยละ 4.71 และร้อยละ 6.18 ตามลำดับ

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ชั้น EVA อ่อนตัวมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้พันธะภายในโมเลกุลของ EVA อ่อนแรงลง โครงสร้างโพลิเมอร์เปลี่ยนจากสถานะแข็งเป็นสถานะเหนียวหนืด (viscous state) ส่งผลให้ลิโมนีนสามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้น EVA ได้ง่ายขึ้น เกิดการละลายและแยกชั้น EVA ออกจากกระจกได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการสลายตัวของ EVA และเกิดสารประกอบที่เป็นพิษได้ จึงไม่แนะนำให้ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 200°C

ผลของความเข้มข้นของสารละลายลิโมนีนต่อประสิทธิภาพการแยก EVA

ความเข้มข้นของสารละลายลิโมนีนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการแยก EVA ($p<0.001$) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 60 และร้อยละ 70 ปริมาณ EVA ที่แยกได้เพิ่มขึ้นจาก 0.87 กรัม เป็น 1.21 กรัม และ 1.63 กรัม ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของลิโมนีนกับประสิทธิภาพการแยก EVA พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้น ($R^2 = 0.92$, $p<0.001$) สารละลายลิโมนีนที่มีความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพในการละลาย EVA ได้ดีกว่า เนื่องจากลิโมนีนมีโครงสร้างที่ไม่มีขั้ว (non-polar) ซึ่งสามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของ EVA ที่มีส่วนที่ไม่มีขั้วได้ดี การเพิ่มความเข้มข้นของลิโมนีนจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลาย EVA และส่งผลให้สามารถแยกกระจกออกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น

ผลของระยะเวลาในการแช่ต่อประสิทธิภาพการแยก EVA

ระยะเวลาในการแช่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก EVA โดยพบว่าประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่จาก 60 นาทีเป็น 90 นาที ($p<0.001$) แต่การเพิ่มระยะเวลาการแช่จาก 90 นาทีเป็น 120 นาทีไม่ทำให้ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.78$

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การแช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายลิโมนีนเป็นเวลา 90 นาทีเพียงพอที่จะให้ลิโมนีนแทรกซึมเข้าไปในชั้น EVA และละลาย EVA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มระยะเวลาการแช่เป็น 120 นาทีไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแยกอย่างมีนัยสำคัญ แต่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเวลามากขึ้น ดังนั้น ระยะเวลาการแช่ที่เหมาะสมคือ 90 นาที เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการแยกที่ดีและประหยัดเวลาและพลังงานในกระบวนการ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อประสิทธิภาพการแยก EVA

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามที่ศึกษา พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอบและความเข้มข้นของลิโมนีนอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) โดยที่อุณหภูมิสูง (200°C) ร่วมกับการใช้ลิโมนีนความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 70) ให้ประสิทธิภาพการแยก EVA สูงที่สุด ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอบและความเข้มข้นของลิโมนีนต่ออัตราการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย (%)

อุณหภูมิในการอบ (°C)	ความเข้มข้นของลิโมนีน (%)	อัตราการสูญเสียน้ำหนัก (%)
160	50	2.11 ±0.08
160	60	3.27 ±0.10
160	70	4.37 ±0.12
180	50	3.42 ±0.12
180	60	4.83 ±0.15
180	70	5.89 ±0.18
200	50	4.75 ±0.18
200	60	6.24 ±0.20
200	70	6.24 ±0.20

ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่า อุณหภูมิที่สูงช่วยทำให้ EVA อ่อนตัวและโครงสร้างเปิดกว้างมากขึ้น ทำให้ลิโมนีนที่มีความเข้มข้นสูงสามารถแทรกซึมเข้าไปและละลาย EVA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเกิดปฏิสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของลิโมนีน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยก EVA สูงขึ้น

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการแยกกระจก

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกกระจกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ลิโมนีน ดังนี้

1. อุณหภูมิในการอบ 200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ($p<0.001$)
2. ความเข้มข้นของลิโมนีน ร้อยละ 70 ($p<0.001$)
3. ระยะเวลาการแช่ 90 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C ($p<0.001$)

สภาวะดังกล่าวให้ประสิทธิภาพการแยก EVA สูงสุด โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 7.43 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ ($p<0.001$) การเพิ่มระยะเวลาแช่เป็น 120 นาทีไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.78$) จึงควรใช้เวลา 90 นาทีเพื่อประหยัดพลังงานและเวลา

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแยก EVA โดยใช้สารเคมีอื่น ๆ เช่น โทลูอีน (toluene) หรือไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพการแยก EVA ได้ถึงร้อยละ 8-10 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของลิโมนีนต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ลิโมนีนมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือเป็นสารธรรมชาติที่มีความเป็นพิษต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์อย่างยั่งยืน

สรุป

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการแยกกระจกออกจากซากแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ลิโมนีน ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยก EVA ได้แก่ อุณหภูมิในการอบ ความเข้มข้นของลิโมนีน และระยะเวลาในการแช่ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิในการอบ 200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของลิโมนีนร้อยละ 70 และระยะเวลาการแช่ 90 นาที ที่อุณหภูมิ 80°C ซึ่งให้ประสิทธิภาพการแยก EVA สูงสุด โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 7.43

ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการรีไซเคิลแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถนำกระจกและวัสดุอื่น ๆ กลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคตควรพิจารณาการนำลิโมนีนกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการ และการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sabatino, M., Hendawi, R., & Garcia, A. S. (2024). Silicon Solar Cells: Trends, Manufacturing Challenges, and AI Perspectives. Crystals, 14(2), 167

[2] Trivedi, H. K., Meshram, A., & Gupta, R. (2023). Removal of encapsulant Ethylene-vinyl acetate (EVA) from solar cells of photovoltaic modules (PVMs). Materials Today: Proceedings.

[3] Klugmann-Radziemska, E., Ostrowski, P., Drabczyk, K., Panek, P., & Szkodo, M. (2010). Experimental validation of crystalline silicon solar cells recycling by thermal and chemical methods. Solar Energy Materials and Solar Cells, 94(12), 2275-2282.

[4] Pagnanelli, F., Moscardini, E., Granata, G., Atia, T. A., Altimari, P., Havlik, T., & Toro, L. (2016). Physical and chemical treatment of end-of-life panels: An integrated automatic approach viable for different photovoltaic technologies. Waste Management, 59, 422-431.

[5] Chinese Academy of Science. (2024, April 2). New decapsulation tech for solar module recycling. PV Magazine. https://www.pv-magazine.com/2024/04/02/new-decapsulation-tech-for-solar-module-recycling/

[6] Abdo, D. M., Mangialardi, T., Medici, F., & Piga, L. (2023). D-limonene as a promising green solvent for the detachment of end-of-life photovoltaic solar panels under sonication. Processes, 11(6), 1848.

[7] Glonek, K., Wróblewska, A., Makuch, E., Ulejczyk, B., Krawczyk, K., Wróbel, R. J., Koren, Z. C., & Michalkiewicz, B. (2017). Oxidation of limonene using activated carbon modified in dielectric barrier discharge plasma. Science.gov. https://www.science.gov/topicpages/l/limonene+oxidation+products

[8] Zhang, R., Li, Q., & Chen, T. (2023). Comparative analysis of EVA separation methods for crystalline silicon solar panels recycling. Renewable Energy, 195, 1126-1138. ผู้เขียน. (2025). Sustainable and Efficient Recycling of Waste Crystalline Silicon Pv Modules Through Enhanced Eva Separation Using Hexane and Ultrasonic Heating. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5123525

[9] Huang et al (2025). Sustainable and Efficient Recycling of Waste Crystalline Silicon Pv Modules Through Enhanced Eva Separation Using Hexane and Ultrasonic Heating. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5123525

21R1-08

การนำชานอ้อยไปใช้เป็นวัสดุในการทำคอนกรีตบล็อกก่อผนัง
Utilization of Bagasse as a Material for Masonry Wall

กัญญารัตน์ บุญคง[1] กัญญาณัฐ อ่ำจ้อย[1] ไปรยา นิ่มเนียม[1] และ นรารัชต์พร นวลสวรรค์[2*]
Kanyarat Boonkong[1] Kanyanat Amjoy[1] Priya Nimnium[1] and Nararatchporn Nuansawan[2*]
[1] นักศึกษา [2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
*โทรศัพท์ : 02-5552000 ต่อ 6511, E-mail : Nararatchporn.n@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำชานอ้อยจากจังหวัดกาญจนบุรีมาใช้ประโยชน์โดยทำเป็นอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนัก เพิ่มคุณค่าและลดของเสียในภาคเกษตรกรรม โดยใช้แบบหล่อคอนกรีตบล็อกก่อผนังมาตรฐาน ขนาด 7 x 13 x 39 ซม. พิจารณากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ทั้งนี้อัตราส่วนของส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1 : 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 แปรผันการแทนที่ทรายด้วยชานอ้อยร้อยละ 1, 3, 4, 6, 7 และ 9 โดยน้ำหนักทราย ระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน จากการทดสอบการนำชานอ้อยแทนที่ทรายร้อยละ 9 โดยน้ำหนักทราย ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วันมีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 39.47 กก./ตร.ซม. ที่ 14 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.46 กก./ตร.ซม. และที่ 28 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.15 กก./ตร.ซม. โดยมากกว่ามาตรฐานมอก.58-2530 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ค่าความหนาแน่น 2 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 25.82 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในด้านส่วนผสมพบว่าการผลิตอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนักจากชานอ้อย 1 ก้อน เมื่อแทนที่ของเสียชานอ้อยในปริมาณ 0.615 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายราคาต่อ 1 ก้อน เท่ากับ 5.64 บาท

คำสำคัญ : ชานอ้อย; คอนกรีตบล็อกก่อผนัง; อิฐบล็อก

Abstract

This study uses bagasse from Kanchanaburi, were used to investigate compressive strength, density, and water absorption. The cement-to-sand ratio was 1 : 2 by weight, with a water-to-binder ratio of 0.4. Bagasse was used to replace sand at replacement rates of 1%, 3%, 4%, 6%, 7%, and 9% by weight of sand. Curing times for the samples were 7, 14, and 28 days. The results showed that when 9% of sand was replaced by bagasse, the average compressive strength of the blocks at 7 days was 39.47 kg/cm², at 14 days was 42.46 kg/cm², and at 28 days was 57.15 kg/cm², all of which exceeded the Thai Industrial Standard (TIS 58-2530) for non-load-bearing concrete blocks. The average density was 2 grams per cubic centimeter, and the average water absorption rate was 25.82%. The initial cost of the mixture for producing one non-load-bearing wall block from bagasse, replacing 0.615 kg of bagasse waste, was 5.64 baht per block.

Keywords : Bagasse waste; Masonry Wall; Concrete block.

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยมีการผลิตอาหารและพืชผลทางการเกษตรมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งพืชผลทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท โดยเฉพาะอ้อยถือเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย และยังมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดติดอันดับ 4 ของโลก [1] ในปี 2566-2567 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยในเขตพื้นที่สำรวจรวม 47 จังหวัด จำนวน 11,125,480 ไร่ [2] อ้อยหลังจากผ่านการสกัดเอาน้ำอ้อยเพื่อไปแปรรูปแล้วจะเหลือเป็นชานอ้อย ส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยการทิ้งหรือเผา ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เกิดหมอกควัน ฝุ่น PM2.5 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงและก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการนำชานอ้อยมาเป็นส่วนผสมทดแทนในการทำอิฐบล็อกก่อผนัง โดยคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนัง จึงได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศ มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7 x 13 x 39 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะของการใช้งานก่ออิฐจะใช้กระบวนการก่อเหมือนงานอิฐมอญ มีข้อดีกว่า คือ สามารถก่อได้รวดเร็วกว่า และมีขนาดที่มาตรฐานกว่า ทำให้สามารถที่จะทำการประมาณปริมาณการใช้วัสดุได้ง่ายขึ้นทั้งนี้ เมื่อรวมค่าแรงในงานก่อสร้างแล้วจะถูกกว่าการก่ออิฐมอญ จึงเป็นแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อน พร้อมทั้งสามารถต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนที่มีมูลค่าเพิ่มในเชิงเศรษฐกิจได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมชิ้นงาน

นำชานอ้อยมาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้วดังรูปที่ 1 ทำการล้างทรายด้วยน้ำสะอาดและตากทรายให้แห้ง โดยทรายที่นำมาใช้ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร) จากนั้นหล่อก้อนมอร์ต้าขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด ดังรูปที่ 2 โดยใช้อัตราส่วนของส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1 : 2 โดยน้ำหนักและแปรผัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.3 0.4 และ 0.5 ทำการผสมปูนซีเมนต์และทรายตามอัตราส่วนที่ได้ แปรผันการผสมชานอ้อยด้วยอัตราส่วนของเสียร้อยละ 1 3 4 6 7 และ 9 โดยแทนที่น้ำหนักทราย ระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างเท่ากับ 7, 14 และ 28 วัน พิจารณาค่าที่เหมาะสมโดยเลือกค่าที่สามารถแทนของเสียได้มากที่สุดและผ่านมาตรฐานจากนั้นทำก้อนตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบสูตรละ 9 ตัวอย่างตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก[3]



รูปที่ 1 ชานอ้อย



รูปที่ 2 แบบหล่อก้อนทดลอง

2. การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทำการทดสอบกำลังอัดดังรูปที่ 3 ครั้งละ 3 ตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์กำลังรับแรงอัด และคำนวณดังสมการที่ (1) ตามมาตรฐาน ASTM C39 [4]

$$P = \frac{F}{A_n} \qquad (1)$$

เมื่อ P เป็นกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)

F เป็นน้ำหนักกดประลัย (N)

A_n เป็นพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง (mm^2)



รูปที่ 3 ทดสอบกำลังรับแรงอัด

3. การวิเคราะห์ร้อยละการดูดซึมน้ำ

หล่อก้อนทดลองด้วยอัตราส่วนของเสียตามร้อยละที่ผ่านเกณฑ์ในการผลิตอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2530 (ไม่ต่ำกว่า 25.49 กก./ตร.ซม. หรือ 2.5 เมกะปาสคาล) บ่มเป็นเวลา 7 วัน นำก้อนตัวอย่างมาเช็ดผิว ชั่งน้ำหนัก และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนัก หาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C128 [4] ดังสมการที่ (2)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{W' - W_s}{W_s} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ W' เป็นน้ำหนักของอิฐหลังจากแช่น้ำ (g)

W_s เป็นน้ำหนักอิฐที่อบแห้ง (g)

4. การหาความหนาแน่นของมวลรวม

หาความหนาแน่นของมวลรวมจากการชั่งน้ำหนักก่อนบ่ม และคำนวณหาความหนาแน่นดังสมการที่ (3)

$$\rho_m = \frac{m}{V} \quad (3)$$

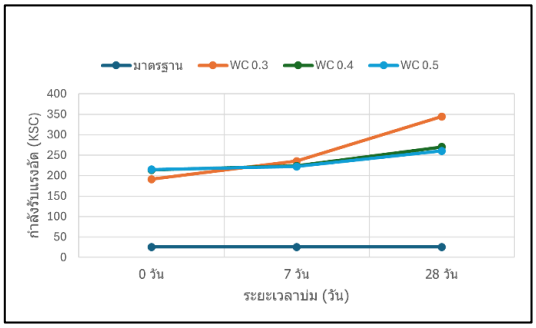
เมื่อ ρ_m เท่ากับความหนาแน่น (kg/m^3)

m มวลของอิฐที่หาได้โดยการชั่ง (kg)

V ปริมาตรของอิฐ (m^3)

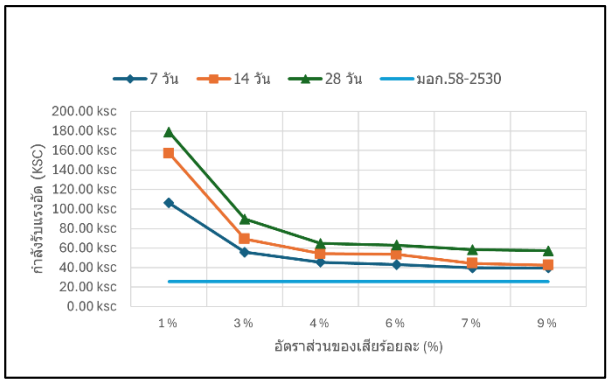
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ผสมอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่ 1 : 2 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.3 มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงที่สุด 345 ksc ดังรูปที่ 4 แต่เมื่อนำมาผสมกับอัตราส่วนของเสียพบว่ามวลรวมของก้อนตัวอย่างไม่เกาะตัวกัน เนื่องจากชานอ้อยมีการดูดซับน้ำมากจากอัตราส่วนน้ำน้อยเกินไป จึงเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่มคอนกรีต

เมื่อใช้อัตราส่วนของชานอ้อยแทนที่ทรายร้อยละ 10 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 [5] พบว่าก้อนตัวอย่างไม่สามารถรับแรงอัดได้ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างปูนซีเมนต์กับมวลรวมหยาบลดลง [4] เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ทำการแปรผันโดยใช้อัตราส่วนของเสียแทนที่ทรายด้วยชานอ้อยร้อยละ 1 3 4 6 7 และ9 ตามลำดับโดยน้ำหนักทราย พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อก มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 178.84 89.73 64.62 62.90 58.39 และ 57.15 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 5 เนื่องจากต้องการกำจัดชานอ้อยที่เป็นของเสียที่ให้มากที่สุด ทำให้อิฐบล็อกผนังจากชานอ้อยที่อัตราส่วนของเสียร้อยละ 9 จึงมีความเหมาะสมนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนัก และผ่านค่ามาตรฐานของมอก.58-2530 (ไม่ต่ำกว่า 25.49 กก./ตร.ซม. หรือ 2.5 เมกะปาสคาล) [3]



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์อัตราส่วนของชานอ้อย

ผลการศึกษาพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะมีค่าลดลง ตามอัตราส่วนของเสียร้อยละที่เพิ่มขึ้น [2] โดยอิฐบล็อกที่มีอัตราส่วนผสมชานอ้อยมากที่สุดคือร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก เมื่อทำการหล่อคอนกรีตเข้าแบบและคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่ผลิตได้ดังรูปที่ 6 และ7 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมอก.58-2530 ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มีร้อยละการดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ย 25.82 ความหนาแน่นของตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่อัตราส่วนของเสียร้อยละ 9 เท่ากับ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 8.897 กิโลกรัมต่อก้อน (7 x 13 x 39 เซนติเมตร)



รูปที่ 6 การเข้าแบบของคอนกรีต



รูปที่ 7 คอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้

สรุป

อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1 : 2 โดยน้ำหนัก น้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.4 แทนที่ทรายด้วยชานอ้อยร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่ม 7 วัน อิฐบล็อกก่อผนังที่มีส่วนผสมชานอ้อยมากที่สุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมอก.58-2530 ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ต้องการค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 25.490 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 39.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความหนาแน่น 2 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 25.82 ซึ่งสามารถนำไปใช้กับงานอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนักได้ ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนักจากชานอ้อย ขนาด 7 x 19 x 39 ซม. ใช้ปริมาณชานอ้อย 0.615 กิโลกรัมต่อก้อน ต้นทุนของอิฐบล็อกรวมค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำและไฟฟ้าพบว่าราคาของอิฐบล็อกก่อผนังเท่ากับ 5.64 บาทต่อก้อน ในขณะคอนกรีตบล็อกภาคอุตสาหกรรมพบว่าราคาอยู่ที่ 8.60 บาทต่อก้อน [6]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำหรับอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการเกษตร. (2547). เอกสารวิชาการอ้อย. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2568. จากhttp://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00288.pdf.

[2] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2567). รายงานผลการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยประจำปีการผลิต 2566/2567. สืบค้นเมื่อ เมื่อ 5 เมษายน2568.จาก https://www.ocsb.go.th/wp-content/uploads/2024/06/รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยปีการผลิต-2566-67.pdf.

[3] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. (2530). สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2895-25xx.pdf.

[4] CPAC Academy. (2568). กำลังอัดของคอนกรีต. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2568. จาก https://www.cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/E-CEMENTAPP%20U15.pdf.

[5] กษมา เตชะฤทธิ์. “อิฐบล็อกเสริมแรงด้วยเส้นใยชานอ้อย” ในการประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2. วันที่ 16 ธันวาคม 2561. ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า. หน้า 332-339. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2568. จาก https://re.kbu.ac.th/pdf_read.php?p_id=9EE22F6A-3709-4A32-96E8-42E8F980A1BE&type=abs.

[6] onestockhome. (2568). ราคาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกก่อผนัง. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2568. จาก https://www.onestockhome.com/th/products/77608313/.

21R1-09

จลนพลศาสตร์ของการบำบัดบิสฟีนอล เอ ในน้ำเสียท่าอากาศยานด้วย *Alcaligenes faecalis* No.4

Kinetics of Bisphenol A Removals in Airport Wastewater by *Alcaligenes faecalis* No.4

ชญานิษฐ์ วิทยาภิรมย์[1] นรารัชต์พร นวลสวรรค์[2*] และ ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช[3]
Chayanid Witthayaphirom[1] Nararatchporn Nuansawan[2*] and Piyarat Premanoch[3]
[1]อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240
[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
[3]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240
*โทรศัพท์ : 02-5552000 ต่อ 6511, E-mail : Nararatchporn.n@cit.kmutnb.ac.th[2]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การศึกษาเพื่อบำบัดสารอินทรีย์บิสฟีนอล เอ (บีพีเอ): Bisphenol A (BPA) ในน้ำเสียจากท่าอากาศยานด้วย *Alcaligenes faecalis* No.4 (*A. faecalis* No.4) ร่วมกับตะกอนบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยาน ในการทดลองประกอบด้วยระบบควบคุม (Control), ตะกอน (Sludge), *A. faecalis* No.4 (No.4) และ A. faecalis No.4 ผสมตะกอน (Mixed) พบว่า การบำบัด BPA เท่ากับร้อยละ 8.89, 33.33, 53.33 และ 62.22 ตามลำดับ บ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยานทำงานร่วมกับ *A. faecalis* No.4 สามารถบำบัด BPA ได้ดี ค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในการบำบัด BPA อยู่ในช่วง 0.0056-0.0134 h^{-1} ทั้งนี้ค่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของ *A. faecalis* No.4 และ *A. faecalis* No.4 ร่วมกับตะกอนท่าอากาศยาน มีค่าเท่ากับ 0.1267 h^{-1} และ 0.1463 h^{-1} สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยานได้

คำสำคัญ : *Alcaligenes faecalis* No.4, บีสฟีนอล เอ, น้ำเสียท่าอากาศยาน

Abstract

The objective of this study was to treat the organic compound Bisphenol A (BPA) in wastewater from an airport using *Alcaligenes faecalis* No.4 (*A. faecalis* No.4) in combination with airport wastewater treatment sludge. The experiment included the following systems: Control, Sludge, *A. faecalis* No.4 (No.4), and a mixture of *A. faecalis* No.4 with sludge (Mixed). BPA removal efficiencies were found to be 8.89%, 33.33%, 53.33%, and 62.22%, respectively. This indicates that when the airport wastewater treatment sludge works in conjunction with *A. faecalis* No.4, BPA can be effectively removed. The first-order reaction rate constants for the degradation of BPA ranged from 0.0056 to 0.0134 h^{-1}. Additionally, the microbial growth rates of *A. faecalis* No.4 alone and *A. faecalis* No.4 with airport sludge were 0.1267 h^{-1} and 0.1463 h^{-1}, respectively. These findings suggest the potential for application in airport wastewater treatment systems.

Keywords : *Alcaligenes faecalis* No.4, bisphenol A, Wastewater from airports

บทนำ

บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A, BPA) เป็นวัตถุดิบเคมีอินทรีย์ที่สำคัญ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่สำคัญของฟีนอล ส่วนใหญ่พบในการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ พลาสติกประเภทโพลีคาร์บอเนตและอีพอกซีเรซิน ซึ่งสามารถปนเปื้อนในน้ำเสียท่าอากาศยานได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น การใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกและสารเคลือบภายในท่าอากาศยาน น้ำเสียจากการล้างพื้นผิวอากาศยานที่มีสารเคมีป้องกันการแข็งตัว (de-icing fluids) และสารทำความสะอาด การซ่อมบำรุงเครื่องบินและโครงสร้างพื้นฐาน เนื่องจาก BPA เป็นสารก่อกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (Endocrine Disruptor) ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอ่อนในครรภ์และเด็กและสิ่งแวดล้อม [1] จึงมีความจำเป็นต้องอาศัยบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัด BPA ในน้ำเสียท่าอากาศยาน น้ำเสียในท่าอากาศยานรองรับน้ำเสียจากอาคารผู้โดยสาร เครื่องบิน คลังสินค้า สำนักงาน โรงแรม ครัวการบิน และอาคารซ่อมบำรุงภายในท่าอากาศยาน โดยทั่วไปน้ำเสียจากท่าอากาศยานนิยมใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพระบบบำบัดมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ โดยการให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหาร สารอินทรีย์ประมาณ 95 % จะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน เปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเกิดเซลล์ใหม่ ทำให้น้ำเสียมีสารอินทรีย์ลดลงจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามกฎหมายที่กำหนด [2] แบคทีเรียบางชนิดสามารถย่อยสลาย BPA ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Burkholderia* ในระบบบำบัดทางชีวภาพเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) เป็นต้น [3] นอกจากนี้ *Alcaligenes faecalis* No.4 (*A. faecalis* No.4) มีความสามารถในการย่อยสลาย BPA ในน้ำเสียชะขยะมูลฝอย [4-5] การใช้แบคทีเรียในการบำบัดน้ำเสียที่มี BPA ไม่เพียงแต่ช่วยลดความเข้มข้นของสารพิษนี้ แต่ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์โดยอาศัยความสามารถในการบำบัดทางชีวภาพของสารมลพิษ BPA ของ *A. faecalis* No.4 และการทำงานร่วมกันของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียท่ายานอากาศ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. แหล่งตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียใช้น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

2. ตะกอน

ตะกอนจากระบบเติมอากาศจากระบบ BNR ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (รูปที่ 1) พบว่าสีของตะกอนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ก่อนทำการทดลองได้มีการเติมอากาศและใส่อาหารเพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบมีชีวิต



รูปที่ 1 ตะกอนจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์ BPA ในน้ำเสียตามขั้นตอนของ Witthayaphirom, et al (2020) [6] โดยใช้วิธีสกัดด้วยเฟสของแข็ง (Solid Phase Extraction, SPE) ทำการปรับสภาพ SPE cartridges โดยเติม methanol 10 mL ตามด้วยน้ำกลั่น 10 mL จากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GC/F แล้วผ่านเข้า SPE cartridges จนหมด หลังจาก cartridges แห้งแล้วทำการชะโดยเติม methanol: dichloromethane (1:4) 15 ml ให้ลงหลอดทดลอง ทำการระเหยตัวอย่างโดยการเป่าด้วยไนโตรเจนและปรับปริมาตร

ด้วยการเติม methanol 1 mL จากนั้นกรองตัวอย่างที่ได้ด้วย membrane filter ใส่ใน amber glass vial ขนาด 2 mL เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C จนกระทั่งนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS (Shimadzu, Japan) การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดดังสมการที่ (1)

ประสิทธิภาพการบำบัด (%) = $[(C_i C_t)xC_i]x100$ (1)

เมื่อ C_i และ C_t คือควาเข้มข้นเริ่มต้นและตามเวลา (µg/L)

4. ขั้นตอนและกระบวนการ

4.1 การเพาะเลี้ยง *A. faecalis* No.4 ในอาหารสังเคราะห์

นำ *A. faecalis* No.4 จาก stock culture 30 mLมาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ 150 mL และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (30°C, 100 rpm) อุณหภูมิที่ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนับจำนวนเซลล์ *A. faecalis* No.4 ที่มีชีวิตในจานที่มีอาหารแข็ง L agar และบ่มอุณหภูมิที่ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [7] เพื่อคำนวณปริมาณจำนวนเซลล์ ดังสมการที่ (2)

$$X_t = X_0 e^{\mu t} \quad (2)$$

เมื่อ X_0 คือ ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น (0), X_t คือ ความเข้มข้นตามเวลา (t) และ µ คืออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (h^{-1})

4.2 จลนพลศาสตร์การบำบัด BPA

ทำการทดลองแบบกะ (Batch experiment) โดยนำน้ำเสียท่าอากาศยานมาใส่ขวดชมพู ปริมาตร 100 mL มี 4 สภาวะการทดลอง (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) ได้แก่

(1) ชุดควบคุม (Control)

(2) ชุดที่เติมตะกอนท่าอากาศยาน 1 กรัม (Sludge)

(3) ชุดที่เติม *A. faecalis* No.4 1 กรัม (No.4)

(4) ชุดผสมตะกอนท่าอากาศยานร่วมกับ *A. faecalis* No.4 อย่างละ 0.5 กรัม (Mixed)

จากนั้นนำมาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 30 °C รอบความเร็วที่ 100 rpm สุ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ BPA ที่ 0, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่าง $\ln(C_t/C_0)$ และเวลาที่ใช้ในการบำบัด เนื่องจาก R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการอื่น จึงได้นำสมการ First-order model มาคำนวณจลนพลศาสตร์ ดังสมการที่ (3)

$$\ln(C_t/C_0)=k_t t \quad (3)$$

เมื่อ C_0, C_t (µg/L) คือความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำเสียเริ่มต้นและตามเวลา t (h) คือเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย และ kt (h^{-1}) คือค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง และหาอัตราการเจริญเติบโตของ *A. faecalis* No.4 ที่ 0 และ 72 ชั่วโมง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเลี้ยงเชื้อ *A. faecalis* No.4

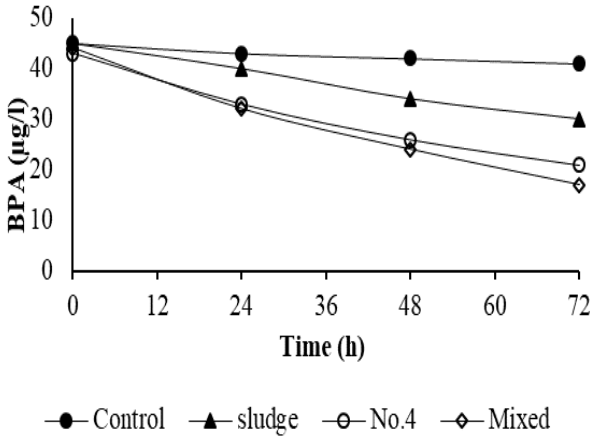
A. faecalis No.4 หลังเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง มีปริมาณจำนวนเซลล์เริ่มต้น เท่ากับ $4.4x10^{13}$ cell/mL พบว่าเชื้อมีลักษณะสีชมพูเข้มข้น เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 *A. faecalis* No.4

2. จลนพลศาสตร์การบำบัด BPA

จากรูปที่ 3 แสดงการบำบัดสาร BPA โดยความเข้มข้น BPA ในน้ำเสียท่าอากาศยานเริ่มต้นเท่ากับ 45 µg/L หลังการบำบัด 72 ชั่วโมงในสภาวะ Control, Sludge, *A. faecalis* No.4 (No.4), Mixed สามารถบำบัด BPA เท่ากับ 8.89%, 33.33%, 53.33% และ 62.22% ตามลำดับ พบว่าสภาวะ *A. faecalis* No.4 บำบัดได้ดีกว่า Control และ Sludge เมื่อนำ *A. faecalis* No.4 มาผสมกับตะกอน (Mixed) เป็นการส่งเสริมการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น ซึ่ง *A. faecalis* No.4 สามารถบำบัดฟีนอลได้ เนื่องจาก BPA เป็นสารอนุพันธ์ที่สำคัญของฟีนอลและเป็นสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มีโซ่พันธะคาร์บอนสั้น ดังนั้นจึงสามารถย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shoda and Ishikawa, (2005) [7] ที่ใช้ *A. faecalis* No. 4 บำบัดน้ำเสียจากบริษัทเคมีภัณฑ์ และใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากถ่านหิน (Coke Wastewater) เพื่อบำบัดฟีนอลที่มีความเข้มข้นสูง และ *A. faecalis* No.4 มีความสามารถในการย่อยสลาย BPA โดยนำตัวกลางสังเคราะห์ เป็นแหล่งคาร์บอนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nuansawan, et al (2023) [4-5]



รูปที่ 3 การบำบัด BPA

และตารางที่ 1 แสดงค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในการบำบัด BPA ในน้ำเสียตลอด 72 ชั่วโมง ทั้ง 4 สภาวะ อยู่ช่วง 0.0014-0.0134 h^{-1} พบว่า *A. faecalis* No.4 และ Mixed สามารถบำบัดได้ดี เท่ากับ 0.0110 h^{-1} และ 0.0134 h^{-1} ตามลำดับ บ่งชี้ว่า *A. faecalis* มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพกับ BPA ได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในการบำบัด BPA

ชุดการทดลอง	ค่าคงที่ปฏิกิริยา (h^{-1})
Control	0.0014
Sludges	0.0056
A. faecalis No.4	0.0110
Mixed	0.0134

3. การเจริญเติบโตของ *A. faecalis* No.4 ในน้ำเสีย

การเจริญเติบโต*ของ A. faecalis* No.4 และ Mixed มีค่าเท่ากับ 0.1267 h^{-1} และ 0.1463 h^{-1} ตามลำดับ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า *A. faecalis* No.4 สามารถเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ที่ 0.2 h^{-1} [8-9] จึงเป็นไปได้ว่าในน้ำเสียท่าอากาศยานอาจมีสารยับยั้งการเจริญเติบโตหรือสารอาหารอาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด BPA ของน้ำเสียท่าอากาศยาน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมเบื้องต้นในการนำเชื้อ *A. faecalis* No.4 ร่วมบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยาน ด้วยระบบแบตช์ (Batch experiment) โดยเปรียบเทียบการทดลอง 4 สภาวะ คือ ควบคุม (Control), ตะกอน (Sludge), *A. faecalis* No.4 (No.4) และ *A. faecalis* No.4 ร่วมกับตะกอน (Mixed) พบว่า 4 สภาวะมีประสิทธิภาพในการลดลงของ BPA เท่ากับ 8.89%, 33.33%, 53.33% และ 62.22% ตามลำดับ ค่าคงที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในการบำบัด BPA อยู่ในช่วง 0.014-0.034 h^{-1} ทั้งนี้ค่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของ *A. faecalis* No.4 และ *A. faecalis* No.4 ร่วมกับตะกอนท่าอากาศยาน (Mixed) พบว่า เมื่อนำตะกอนที่ได้มาผสมกัน มีอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น บ่งชี้ว่าสามารถเพิ่มเชื้อ *A. faecalis* No.4 ร่วมกับตะกอนทำให้การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียดีขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดอื่นๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนน้ำเสียและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รวมถึงห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

เอกสารอ้างอิง

[1] Lee, V.V. 2013. Hazard form Bisphenol (A). RMUTP Research Journal. 7(2): 182-191

[2] Nimrat, S. Wastewater microbiology, 1st ed., Chulalongkorn University Publisher, Thailand, 2005.

3] Jagaba, A.H., Kutty, S.R.M., Lawal, I.M., Abubakar, S., Hassan, I., Zubairu, I., Umaru, I., Abdurrasheed, A.S., Adam, A.A., Ghaleb, A.A.S., Almahbashi, N.M.Y., Al-dhawi, B.N.S. and Noor, A. 2021. Sequencing batch reactor technology for landfill leachate treatment: a state-of-the-art review. Journal of Environmental Management. 282: 111946.

[4] Nuansawan, N., Witthayaphirom, C. Sawasdee, A., Chiemchaisri C. and Shoda, M. 2023. Removals of endocrine disrupting compounds during landfill leachate treatment in two-stage aerobic sequential batch reactor: Effect of *Alcaligenes faecalis* no.4 bio-augmentation, Emerging Contaminants. 9: 100223.

[5] Nuansawan, N., Witthayaphirom, C.., Chiemchaisri, C. and Shoda, M. 2023. Removals of emerging contaminants from municipal waste leachate by *Alcaligenes faecalis* no.4 and acclimated activated sludge cultures. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 100524.

[6] Witthayaphirom, C., Chiemchaisri, C. and Chiemchaisri, W. 2020. Optimization of reactive media for removing organic micro-pollutants in constructed wetland treating municipal landfill leachate. Environmental Science and Pollution Research. 27: 24627-24638.

[7] Shoda, M. and Ishikawa, Y. 2015. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification of a Wastewater from a Chemical Company by *Alcaligenes faecalis* No.4. International Journal of Water and Wastewater Treatment. 1.2: 1-5.

[8] Joo, H.S., Hirai, M. and Shoda, M. 2005. Improvement in ammonium removal efficiency in wastewater treatment by mixed culture of *Alcaligenes faecalis* no. 4 and L1, Journal of Bioscience and Bioengineering. 100: 184–191.

[9] Nuansawan, N., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Shoda, M. 2018. Treatment of concentrated leachate with low greenhouse gas emission in two-stage membrane bioreactor bio-augmented with *Alcaligenes faecalis* no. 4, Journal of the Air & Waste Management Association. 68: 1378-1390.

21R1-10

เว็บแอปพลิเคชันสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Web Application for Effluent Quality Prediction of Ubon Ratchathani University

ถนัดกิจ ชารีรัตน์[1*] กมลลักษณ์ จิตตฤกษ์[2] และ ณพดล จันเทพา[2]
Thanudkij Chareerat[1*] Kamonluck Jittalerk[2] and Napadol Chantaepa[2]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ; [2]บัณฑิตปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190
*โทรศัพท์ : 045-353-333, โทรสาร : 045-353-300, E-mail : thanudkij.c@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาซอฟแวร์เข้ามามีบทบทในสังคมปัจจุบันเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถทำให้ผู้คนเข้าถึงและจัดการข้อมูลได้อย่างครอบคลุมและสะดวกสบาย ดังนั้น โครงงานนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ภาษาไพทอนในการสร้างแบบจำลองโปรแกรมเว็บแอปพลิเคชันการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีจุดประสงค์เพื่อจัดการข้อมูลของน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยฯ ให้มีประสิทธิภาพ และเพื่อคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้ในอนาคต โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดและนำเสนอข้อมูลค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดแบบย้อนหลังในรูปแบบแผนภูมิแท่ง ได้แก่ ข้อมูลทุติยภูมิจากงานบำบัดน้ำเสียและขยะมูลฝอย สำนักงานบริหารกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งเป็นบันทึกผลวิเคราะห์น้ำทิ้งหลังบำบัดย้อนหลัง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 1 ปี ได้แก่ปี พ.ศ. 2565 โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ ความเป็นกรดและด่าง (pH) บีโอดี (BOD) ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) ซัลไฟด์ (Sulfide) สารที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids) ตะกอนหนัก (Settleable Solids) น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ทีเคเอ็น (TKN) จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเตรียมเพื่อใช้สำหรับการรายงานผลข้อมูลย้อนหลังและคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดล่วงหน้า โดยใช้แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นด้วยภาษาไพทอน ภายใต้โมเดล Linear Regression ทำการเทรนชุดข้อมูลโดยแบ่งตามฤดูกาลเพื่อความแม่นยำของค่าการคาดการณ์ ทั้งนี้ยังวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยสมการ Mean Squared Error (MSE) เพื่อทดสอบว่าตัวแบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ จากผลการศึกษาพบว่า ในการรายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดย้อนหลังในรูปแบบแผนภูมิแท่งเพื่อให้ทำความเข้าใจข้อมูลได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ในการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีล่วงหน้า เพื่อให้เตรียมรับมือและจัดการกับน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยฯ ที่คาดว่าจะเกินค่ามาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

คำสำคัญ : เว็บแอปพลิเคชัน; คุณภาพน้ำทิ้ง; การคาดการณ์

Abstract

Software development plays a significant role in today's society, providing extensive accessibility and efficient data management. This project utilizes the Python language to create a forecasting model for wastewater quality in Ubon Ratchathani University. The main objectives include managing post-treatment wastewater data efficiently and forecasting the university's future wastewater quality. The project utilizes historical wastewater treatment data from the Office of Physical and Environmental Management, Ubon Ratchathani University, spanning to one year (B.E. 2565). Parameters such as pH, BOD, Total Suspended Solids, Sulfide, Total Dissolved Solids, Settleable Solids, Fat Oil and Grease, and TKN were analyzed. The gathered data is then prepared for retrospective reporting and future quality forecast using a Python-based Linear Regression model. The model is trained on

seasonal data for accurate forecasting. Model performance is evaluated using the Mean Squared Error (MSE) equation to ensure reliability. The analysis results are presented in bar chart form for easy understanding and effectiveness in reporting of historical effluent quality. Regarding to the forecast of future effluent quality at Ubon Ratchathani University, are proactive proposed to manage effluent quality, ensuring it meets environmental standards before being released to natural water resources.

Keywords : web application; effluent quality; prediction

บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำในปัจจุบันมักเกิดจากการระบายน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และกิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งนับวันปัญหาเหล่านี้ยิ่งมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยแหล่งที่มาของมลพิษทางน้ำส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียของแหล่งชุมชน (Domestic Wastewater) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เช่น อาคารบ้านเรือน หมู่บ้านจัดสรร โรงแรม คอนโดมิเนียม ตลาดสด โรงพยาบาล เป็นต้น

น้ำเสีย นับเป็นหนึ่งปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ และยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การแก้ปัญหาน้ำเสีย/น้ำทิ้งจึงถูกนำมาใช้เป็นหัวข้อในการวิจัยครั้งนี้ โดยปกติแล้ว น้ำสะอาดในธรรมชาติทั่วไปจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen หรือเรียกย่อว่า DO) หรือค่า DO ประมาณ 5 - 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่า DO น้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตรถือว่าเป็นน้ำเน่าเสีย ในประเทศไทยมีหน่วยงานที่ตรวจสอบคุณภาพแหล่งน้ำที่สำคัญ คือ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ [1, 2] โดยทั่วไป น้ำเสียที่เกิดขึ้นจำเป็นจะต้องผ่านการบำบัดเพื่อให้มีคุณภาพน้ำทิ้งตามมาตรฐานก่อนที่จะถูกระบายลงสู่แม่น้ำสาธารณะหรือบางส่วนยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรและอื่น ๆ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ภาษาไพทอนในการสร้างแบบจำลองการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีจุดประสงค์เพื่อจัดการข้อมูลของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดของมหาวิทยาลัยฯ ให้มีประสิทธิภาพ และเพื่อคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้ในอนาคต ทั้งนี้มีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 8 รายการ ดังนี้ ความเป็นกรดและด่าง (pH) บีโอดี (BOD) ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) ซัลไฟด์ (Sulfide) สารที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids) ตะกอนหนัก (Settleable Solids) น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) และค่าทีเคเอ็น (TKN)

อุปกรณ์และวิธีการ

ค่าพารามิเตอร์ของน้ำทิ้งที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้ง [3-5]

1. ความเป็นกรดและด่าง (PH) คือ เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย หากค่าพีเอชต่ำกว่า 7 น้ำจะมีสภาวะเป็นกรด ถ้าสูงกว่า 7 มีสภาวะเป็นด่าง โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือจุลินทรีย์ในถังบำบัดจะดำรงชีพ ได้ดีในสภาวะเป็นกลาง คือ พีเอชประมาณ 6-8 ค่าพีเอชที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะทำให้ระบบนิเวศน้ำเสียหาย สัตว์และพืชน้ำไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมีฤทธิ์กัดกร่อนท่อหรือภาชนะได้

2. บีโอดี (BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ในน้ำ (Biochemical Oxygen demand) ไม่ควรเกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร เรียกย่อๆว่า BOD (บี โอ ดี) หรือคือ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเพื่อใช้ไปในกระบวนการต่างๆของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด ค่า BOD สูง หมายถึงในน้ำมีการใช้ออกซิเจนมาก โดยสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีเชื้อจุลินทรีย์อยู่มาก ค่า BOD ต่ำนั้นหมายถึงระดับการใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตในน้ำนั้นต่ำ จึงไม่สามารถบอกได้ว่า ในน้ำนั้นมีสารอินทรีย์มากน้อยหรือไม่

3. สารแขวนลอย (Total Suspended Solids) คือ ของแข็งหรือตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบามีสารทำให้เกิดสีและความขุ่น โดยจะแขวนลอยหรือเจือปนอยู่ในแหล่งน้ำ

4. ซัลไฟด์ (Sulfide) คือ การวิเคราะห์สารประกอบซัลไฟด์ที่สามารถละลายได้ด้วยกรดในตัวอย่าง จะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนที่มากเกินพอ ซัลไฟด์ในสารละลายจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟอร์และทำการไตเตรทไอโอดีนคงเหลือ ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต เพื่อหาปริมาณไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์

5. ของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) คือ การวัดปริมาณของแข็ง สารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำปริมาณ TDS ไม่เกิน 500 mg/l ของน้ำใด ๆ จะแสดงเป็นมิลลิกรัม/ลิตร (มก. /ลิตร) หรือในส่วนต่อล้าน (ppm) TDS ในการศึกษาคุณภาพน้ำสำหรับลำธาร แม่น้ำและทะเลสาบ แม้ว่าโดยทั่วไปแล้ว TDS จะไม่ถือว่าเป็นการวัดมลพิษเช่นไม่ถือว่าเกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพ แต่ก็ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะคุณภาพของน้ำดื่มและเป็นตัวบ่งชี้รวมของการมีอยู่ของสารเคมีปนเปื้อนด้วย

6. ตะกอนหนัก (Settleable Solids) คือ ค่าตะกอนที่มีขนาดใหญ่และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ ซึ่งตะกอนหนักจะตกตะกอนรวมกันที่ส่วนล่างกรวย โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก วิธีการวัดจะใช้กรวย Imhoff cone ขนาด 1 ลิตร ในการวัด โดยตั้งทิ้งไว้ 1 ชม. เพื่อดูปริมาณตะกอนหนักว่ามีกี่มิลลิกรัมต่อลิตร

7. น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) คือ ปริมาณน้ำมันและไขมันในรูปต่างๆ ที่ปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย FOG เป็นสารปนเปื้อนตัวหนึ่งที่ต้องบำบัดให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน คือ ไม่เกิน 20 มก. /ล. และน้ำทิ้งอุตสาหกรรมไม่เกิน 5 มก./ล.

8. ทีเคเอ็น (TKN)

คือ เป็นค่าไนโตรเจน (N) ซึ่งอยู่ในรูปของทีเคเอ็น (TKN) หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนและสารอินทรีย์ไนโตรเจน รวมทั้งแอมโมเนียไนโตรเจน ตรวจวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldalh and Titration สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรท ปัญหาค่า TKN เกินมาตรฐานพบบ่อย ๆ โดยเฉพาะน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เจือปนและปนเปื้อนมาก ๆ (ค่า BOD สูง) ไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ส่วนหนึ่งจะมาจากโปรตีน (กรดอะมิโน) ที่อยู่ในสารอินทรีย์ทั้งหลาย

สมการสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้ง

1. สมการสำหรับการเทรนชุดข้อมูลที่จัดเตรียมไว้

เป็นสมการ Normal Equation ใน Linear Regression ซึ่งใช้ในการคำนวณหาพารามิเตอร์ θ ที่ทำให้ค่าของฟังก์ชันความคลาดเคลื่อน (cost function) มีค่าน้อยที่สุด สำหรับสมการ Normal Equation โดยมีสมการเป็นดังนี้

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T y$$

โดยที่ θ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเดือนในแบบจำลอง

X คือ เมทริกซ์ของตัวแปรเดือน

X^T คือ เมทริกซ์ทรานสโพสของ X

y คือ เวกเตอร์ของตัวแปรพารามิเตอร์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

นอกจากนี้การใช้สมการ Normal Equation เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างมากและจำนวน features ไม่มาก โดยทั่วไปใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ในกรณี Linear Regression และไม่จำเป็นต้องใช้วิธี Gradient Descent ที่ใช้ในการค้นหาพารามิเตอร์ในโมเดลที่ซับซ้อนขึ้น

2. สมการสำหรับการคาดการณ์ข้อมูลจากชุดข้อมูลที่ผ่านการเทรนเรียบร้อย

เป็นการคาดการณ์ค่าข้อมูลจากชุดข้อมูลที่ผ่านการเทรนเรียบร้อยแล้ว โดยใช้สมการเชิงเส้น Linear Regression ที่มีรูปแบบดังกล่าว คุณสามารถทำได้โดยใช้พารามิเตอร์ θ ที่ได้จากการเทรนแล้ว รวมถึงข้อมูล Input X ที่ต้องการคาดการณ์ค่า Output ของมัน โดยมีสมการเป็นดังนี้

$$h_\theta(X) = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \cdots + \theta_n x_n$$

โดยที่ $h_\theta(X)$ คือ ฟังก์ชันที่ใช้ในการคาดการณ์ผลลัพธ์ หรือ hypothesis function

θ_0 คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรเดือนในแบบจำลองเมื่อทุกรายการของX เท่ากับ 0

θ_n คือ ความชันของเส้นตรงสำหรับตัวแปร x_n

x_n คือ ตัวแปรเดือนที่นำมาในการคาดการณ์

ดังนั้น เมื่อคุณมีค่า θ และข้อมูล Input X ที่ต้องการคาดการณ์ คุณสามารถนำมาใส่ในสมการข้างต้นเพื่อคำนวณหาค่า $h_\theta(X)$ ที่เป็นการคาดการณ์ค่า Output ของข้อมูล Input นั้นๆ ตามโมเดล Linear Regression ที่เทรนไว้ได้

3. *สมการสำหรับประเมินความแม่นยำแบบจำลอง Mean Squared Error (MSE)*

สมการประเมินความแม่นยำของแบบจำลองด้วย Mean Squared Error (MSE) มีสมการเป็นดังนี้

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูล

y_i คือ ค่าจริงของตัวแปรตามสำหรับข้อมูลที่ i

$\hat{y}_i$ คือ ค่าการคาดการณ์ของตัวแปรตามสำหรับข้อมูลที่ i

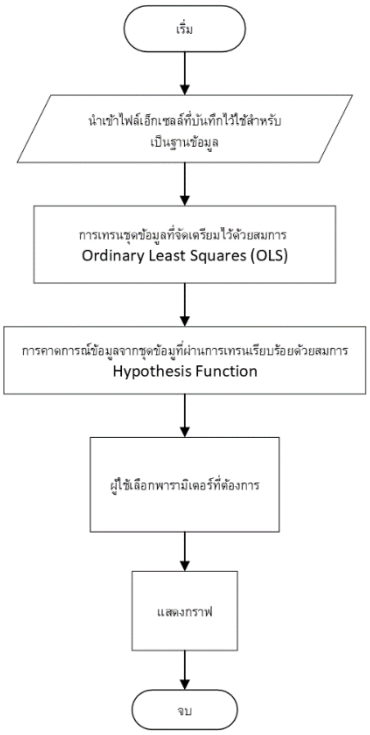
สมการ MSE นี้คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยการหาค่าต่าง (difference) ระหว่างค่าเป้าหมายและค่าทำนาย และยกกำลังสองของค่าต่างนั้น จากนั้นนำผลรวมของค่าที่ได้ทุกตัวมาหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด เพื่อให้ได้ค่า MSE ที่บ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยของการทำนายทั้งหมดในชุดข้อมูล

โปรแกรมสำหรับการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน

1. เว็บแอปพลิเคชัน (Web application) [6] คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานผ่านเบราว์เซอร์บนอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน สิ่งที่ผู้ใช้จำเป็นคือเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและเบราว์เซอร์เพื่อใช้งานแอปพลิเคชันนั้นๆ เว็บแอปพลิเคชันมีความหลากหลายและทำงานในหลายลักษณะ เช่น

1) เว็บแอปพลิเคชันสำหรับอีเมล เช่น จีเมล (G-mail)
2) เครื่องมือการจัดการโปรเจกต์ เช่น เทรลโล (Trello)
3) แพลตฟอร์มสังคมออนไลน์ เช่น เฟสบุ๊ค (Facebook)
4) ร้านค้าออนไลน์ เช่น อเมซอน (Amazon)
5) แอปพลิเคชันสำหรับบริการการเรียนรู้ออนไลน์ เช่น กูร์เรร่า (Coursera)

2. ลักษณะการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันนั้นโปรแกรมส่วนหนึ่งจะวางตัวอยู่บน Rendering Engine ซึ่งตัว Rendering Engine จะทำหน้าที่หลัก ๆ คือนำเอาชุดคำสั่งหรือรูปแบบโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล นำมาแสดงผลบนพื้นที่ส่วนหนึ่งในจอภาพ โปรแกรมส่วนที่วางตัวอยู่บน Rendering Engine จะทำหน้าที่หลัก ๆ คือการเปลี่ยนแปลงแก้ไขสิ่งที่แสดงผล จัดการตรวจสอบข้อมูลที่รับเข้ามาเบื้องต้นและการประมวลผลบางส่วนแต่ส่วนการทำงานหลัก ๆ จะวางตัวอยู่บนเซอร์เวอร์ในลักษณะเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) แบบเบื้องต้น



รูปที่ 1 การทำงานของแบบจำลอง

3. ไพทอนแมชชีนเลิร์นนิง (Python machine learning) คือการใช้ภาษาโปรแกรม Python เพื่อสร้างแบบจำลองทางด้าน machine learning ซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้โดยไม่ต้องถูกโปรแกรมโดยตรง สามารถใช้ไลบรารีและเครื่องมือต่างๆ ที่มี sikit-learn, TensorFlow, หรือ PyTorch เพื่อคาดการณ์ผลหรือแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่มีลักษณะซับซ้อน [7] การใช้ Python [8] เป็นภาษาหลักในแมชชีนเลิร์นนิ่งมีประโยชน์มาก เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและชุดเครื่องมือที่หลากหลายสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง

4. วิชวลสตูดิโอโค้ด (Visual Studio Code) เป็นโปรแกรมแก้ไขซอร์สโค้ดที่พัฒนาโดยไมโครซอฟท์สำหรับ Windows, Linux และ macOS มีการสนับสนุนสำหรับการดีบัก การควบคุม Git ในตัวและ GitHub การเน้นไวยากรณ์ การเติมโค้ดอัจฉริยะ ตัวอย่าง และ code refactoring สามารถปรับแต่งได้หลายอย่าง ให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนธีม แป้นพิมพ์ลัด การตั้งค่า และติดตั้งส่วนขยายที่เพิ่มฟังก์ชันการทำงานเพิ่มเติม ซอร์สโค้ดนั้นฟรีและโอเพนซอร์สและเผยแพร่ภายใต้สิทธิ์การใช้งาน MIT ไบนารีที่คอมไพล์แล้วเป็นฟรีแวร์ วิชวลสตูดิโอโค้ดใช้อิเล็กตรอนเป็นเฟรมเวิร์กที่ใช้ในการปรับใช้แอปพลิเคชัน Node.js สำหรับเดสก์ท็อปที่รันบนเอ็นจิ้น Blink แม้ว่าจะใช้เฟรมเวิร์กอิเล็กตรอน ซอฟต์แวร์นี้ไม่ได้ใช้อะตอม และใช้คอมโพเนนต์ตัวแก้ไขเดียวกัน (ชื่อรหัส "Monaco") กับที่ใช้ใน Azure DevOps (เดิมชื่อ Visual Studio Online และ Visual Studio Team Services)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการออกแบบแบบจำลองคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ลำดับการทำงานของแบบจำลองการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดแสดงดังรูปที่ 1 โดยแบบจำลองได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 หน้าปกของแบบจำลอง เมื่อเปิดแบบจำลองจะแสดงผลดังรูปที่ 2 นี้เป็นส่วนแรก

ส่วนที่ 2 หน้าการรายงานค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

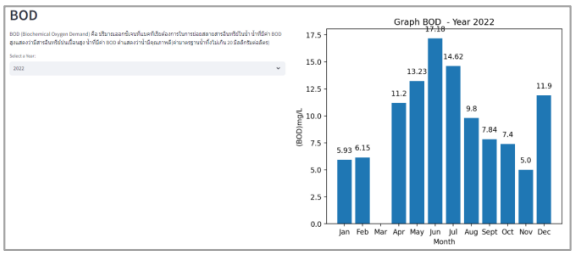
เมื่อเข้ามาสู่ส่วนหน้าของการรายรายงานค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดของมหาวิทยาลัยฯ จะรายงานแยกในแต่ละพารามิเตอร์ เมื่อผู้ใช้เลือกปี (ปี พ.ศ. 2565) จะแสดงผลดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 2 หน้าปกของแบบจำลอง

1) พารามิเตอร์บีโอดี

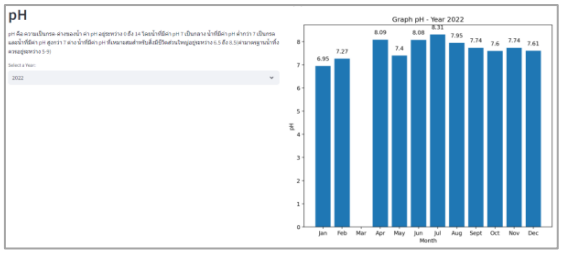
หน้าการรายงานค่าบีโอดีปี แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หน้าการรายงานค่าบีโอดี

2) พารามิเตอร์ความเป็นกรดด่าง

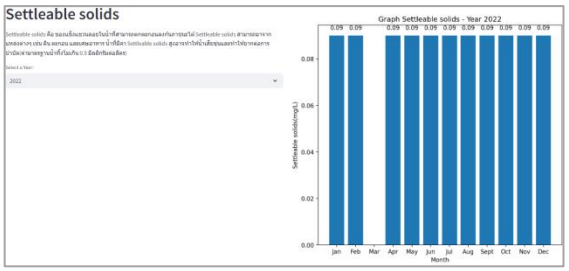
หน้าการรายงานค่าความเป็นกรดด่าง แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าการรายงานค่าความเป็นกรดด่าง

3) พารามิเตอร์ตะกอนหนัก

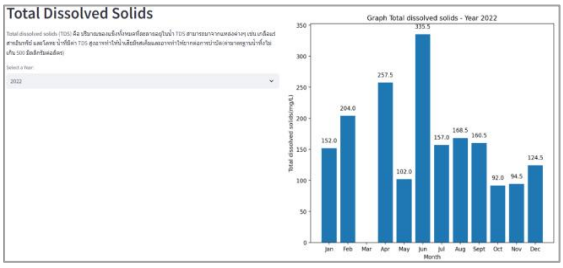
หน้าการรายงานค่าตะกอนหนัก แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าการรายงานค่าตะกอนหนัก

4) พารามิเตอร์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

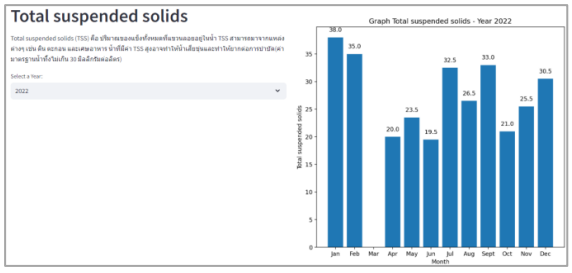
หน้าการรายงานค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 หน้าการรายงานค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

5) พารามิเตอร์ปริมาณสารแขวนลอย

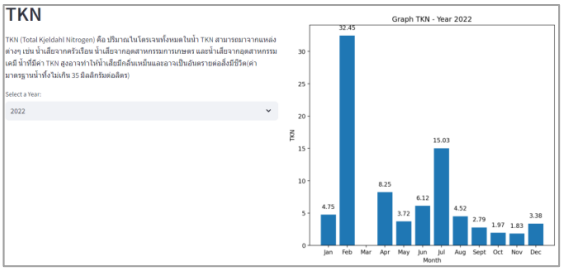
หน้าการรายงานค่าปริมาณสารแขวนลอย แสดงผลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หน้าการรายงานค่าปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด

6) พารามิเตอร์ทีเคเอ็น

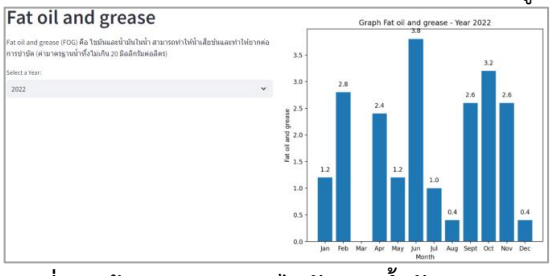
หน้าการรายงานค่าพารามิเตอร์ทีเคเอ็น แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 หน้าการรายงานค่าพารามิเตอร์ทีเคเอ็น

7) พารามิเตอร์ไขมันและน้ำมัน

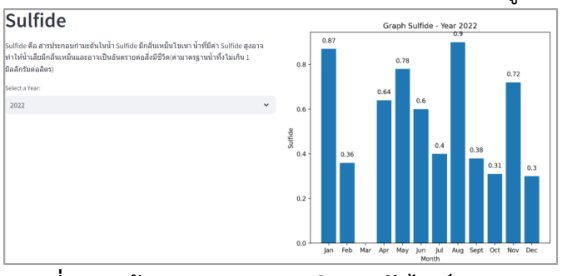
หน้าการรายงานค่าพารามิเตอร์ไขมันและน้ำมัน แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าการรายงานค่าไขมันและน้ำมัน

8) พารามิเตอร์ปริมาณซัลไฟด์

หน้าการรายงานค่าพารามิเตอร์ปริมาณซัลไฟด์ แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 หน้าการรายงานค่าปริมาณซัลไฟด์

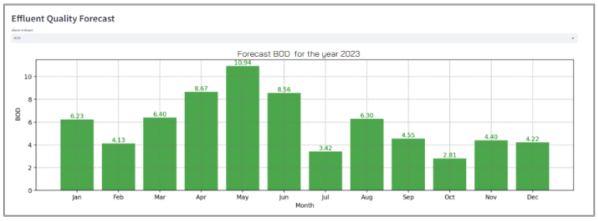
หมายเหตุ ช่องว่างในภาพของแผนภูมิแท่ง คือเดือนที่ไม่มีใบวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยฯ จึงทำให้ไม่มีการแสดงผลข้อมูล

ส่วนที่ 3 การคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปี พ.ศ. 2566

เมื่อเข้ามาสู่ส่วนหน้าคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อผู้ใช้กดเลือกพารามิเตอร์ จะรายงานผลการคาดการณ์แยกรายละเอียดในแต่ละพารามิเตอร์ และแสดงผลได้ดังรูปที่ 11-18

1) พารามิเตอร์บีโอดี

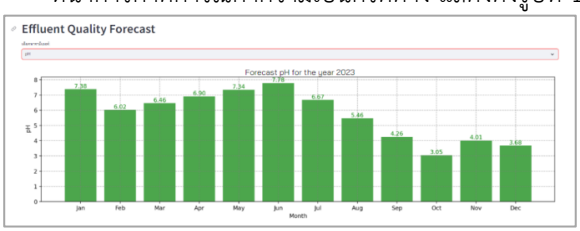
หน้าการคาดการณ์ค่าบีโอดีแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 หน้าการคาดการณ์ค่าบีโอดี

2) พารามิเตอร์ความเป็นกรดด่าง

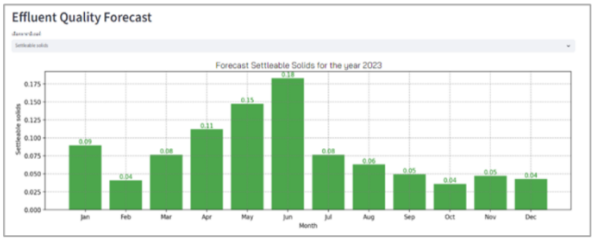
หน้าการคาดการณ์ค่าความเป็นกรดด่าง แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 หน้าการคาดการณ์ค่าความเป็นกรดด่าง

3) พารามิเตอร์ตะกอนหนัก

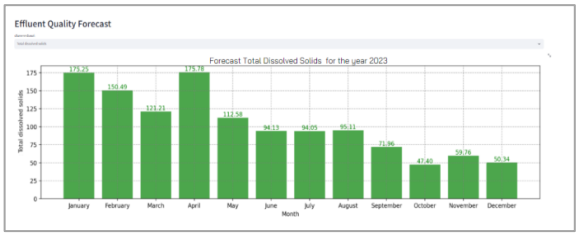
หน้าการคาดการณ์ค่าตะกอนหนัก แสดงผลดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 หน้าการคาดการณ์ค่าตะกอนหนัก

4) พารามิเตอร์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

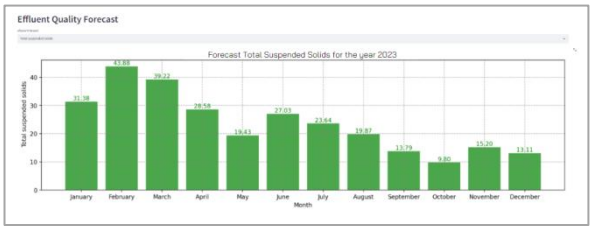
หน้าการคาดการณ์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 14 หน้าการคาดการณ์ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

5) พารามิเตอร์ปริมาณสารแขวนลอย

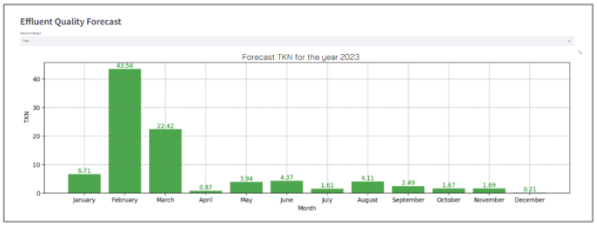
หน้าการคาดการณ์ค่าปริมาณสารแขวนลอย แสดงผลดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 หน้าการคาดการณ์ค่าปริมาณสารแขวนลอย

6) พารามิเตอร์ทีเคเอ็น

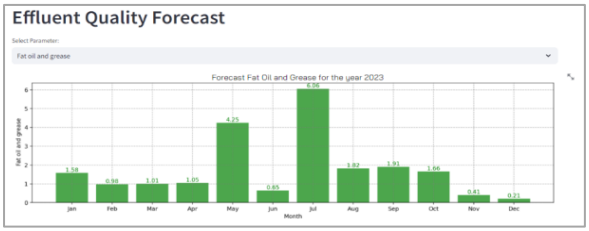
หน้าการคาดการณ์ค่าทีเคเอ็น แสดงผลดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 หน้าการคาดการณ์ค่าทีเคเอ็น

7) พารามิเตอร์ไขมันและน้ำมัน

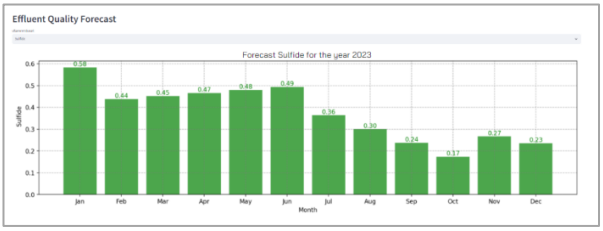
หน้าการคาดการณ์ค่าไขมันและน้ำมัน แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 หน้าการคาดการณ์ค่าไขมันและน้ำมัน

8) พารามิเตอร์ปริมาณซัลไฟด์

หน้าการคาดการณ์ค่าปริมาณซัลไฟด์ แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 หน้าการคาดการณ์ค่าพารามิเตอร์ปริมาณซัลไฟด์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ในแบบจำลองนี้ใช้สมการ Mean Squared Error (MSE) ในการทดสอบประสิทธิภาพว่าตัวแบบจำลองการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีปี พ.ศ.2566 นั้นมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด หากค่า Mean Squared Error (MSE) ที่ได้จากการคำนวณในสมการเข้าใกล้ศูนย์จะแสดงว่าแบบจำลองการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมีความแม่นยำ ค่าการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 1-8

ตารางที่ 1 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของบีโอดี

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
บีโอดี	มกราคม	6.88	6.23	0.42
	กุมภาพันธ์	6.25	4.13	4.50
	มีนาคม	5.87	6.40	0.28
	เมษายน	6.7	8.67	3.88
	พฤษภาคม	11.71	10.94	0.59
	มิถุนายน	8.38	8.56	0.03
	กรกฎาคม	3.75	3.42	0.11

ตารางที่ 2 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของความเป็นกรดด่าง

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ความเป็นกรดด่าง	มกราคม	7.83	7.38	0.20
	กุมภาพันธ์	7.64	6.02	2.62
	มีนาคม	7.78	6.46	1.74
	เมษายน	7.52	6.90	0.38
	พฤษภาคม	7.64	7.34	0.09
	มิถุนายน	7.6	7.78	0.03
	กรกฎาคม	7.28	6.67	0.37

ตารางที่ 3 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของตะกอนหนัก

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ตะกอนหนัก	มกราคม	0.09	0.09	0.00
	กุมภาพันธ์	0.09	0.04	0.00
	มีนาคม	0.09	0.08	0.00
	เมษายน	0.09	0.11	0.00
	พฤษภาคม	0.09	0.15	0.00
	มิถุนายน	0.4	0.18	0.05
	กรกฎาคม	0.09	0.08	0.00

ตารางที่ 4 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายน้ำ

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายน้ำ	มกราคม	175.50	175.25	0.06
	กุมภาพันธ์	150.50	150.49	0.00
	มีนาคม	121.50	121.21	0.08
	เมษายน	176.00	175.78	0.05
	พฤษภาคม	112.00	112.58	0.34
	มิถุนายน	94.00	94.13	0.02
	กรกฎาคม	94.00	94.05	0.00

ตารางที่ 5 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของปริมาณสารแขวนลอย

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ปริมาณสารแขวนลอย	มกราคม	31.50	31.38	0.01
	กุมภาพันธ์	43.50	43.88	0.14
	มีนาคม	40.00	39.22	0.61
	เมษายน	29.00	28.58	0.20
	พฤษภาคม	19.50	19.43	0.01
	มิถุนายน	26.50	27.03	0.28
	กรกฎาคม	24.00	23.64	0.13

ตารางที่ 6 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของทีเคเอ็น

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ทีเคเอ็น	มกราคม	6.61	6.71	0.01
	กุมภาพันธ์	44.04	43.56	0.23
	มีนาคม	22.37	22.42	0.00
	เมษายน	2.24	0.87	1.87
	พฤษภาคม	3.22	3.94	0.52
	มิถุนายน	3.92	4.37	0.20
	กรกฎาคม	0.42	1.61	1.42

หมายเหตุ ข้อมูลเดือนสิงหาคม ถึง ธันวาคม ไม่ได้ถูกนำมาคำนวณค่าทดสอบประสิทธิภาพเนื่องจากไม่มีข้อมูลค่าจริง

ตารางที่ 7 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของไขมันและน้ำมัน

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ไขมันและน้ำมัน	มกราคม	1.00	1.58	0.34
	กุมภาพันธ์	0.80	0.98	0.03
	มีนาคม	0.40	1.01	0.37
	เมษายน	0.40	1.05	0.42
	พฤษภาคม	4.20	4.25	0.00
	มิถุนายน	0.40	0.65	0.06
	กรกฎาคม	6.20	6.06	0.02

ตารางที่ 8 ค่าทดสอบประสิทธิภาพของปริมาณซัลไฟด์

พารามิเตอร์ที่คาดการณ์	เดือน	ค่าจริง	ค่าที่คาดการณ์	ค่าทดสอบประสิทธิภาพ (Mean Squared Error)
ปริมาณซัลไฟด์	มกราคม	0.28	0.58	0.09
	กุมภาพันธ์	0.58	0.44	0.02
	มีนาคม	0.50	0.45	0.00
	เมษายน	0.56	0.47	0.01
	พฤษภาคม	0.60	0.48	0.01
	มิถุนายน	0.04	0.49	0.20
	กรกฎาคม	0.16	0.36	0.04

สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัย ฯ โดยได้ทำการศึกษาและออกแบบแบบจำลองเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยฯ เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการรายงานค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยฯ และส่วนการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยฯ ในการวิจัยนี้ได้ทำการรายงานค่าคุณภาพน้ำทิ้งทั้งหมดในปี พ.ศ. 2565 และนำเสนอข้อมูลนั้นในรูปแบบแผนภูมิเพื่อให้ทำความเข้าใจได้ง่าย ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำทิ้งในอนาคต และเพื่อพัฒนาการจัดเก็บข้อมูลและจัดการข้อมูลของน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยให้มีประสิทธิภาพ

สำหรับส่วนการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปี พ.ศ. 2566 ในการวิจัยนี้ได้ทำการคาดการณ์ค่าคุณภาพน้ำทิ้ง โดยใช้แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นด้วยภาษาไพทอน ภายใต้โมเดล Linear Regression ทำการเทรนชุดข้อมูลโดยแบ่งตามฤดูกาลเพื่อความแม่นยำของค่าการคาดการณ์ ทั้งนี้ยังวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยสมการ Mean Squared Error (MSE) เพื่อทดสอบว่าตัวแบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ จากผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่มีค่าทดสอบประสิทธิภาพใกล้ศูนย์ ได้แก่ ตะกอนหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณสารแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน ปริมาณซัลไฟด์ ดังนั้น หมายความว่า ผลการคาดการณ์ที่กล่าวมามีความแม่นยำ แต่ในบางเดือนของพารามิเตอร์ เช่น ทีเคเอ็น ความเป็นกรดด่าง บีโอดี มีค่าเกินศูนย์ ดังนั้น หมายความว่า ผลการคาดการณ์ที่กล่าวมายังไม่แม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/laws/4403?fbclid=IwAR3MpGtrpAoWXnzVr8TqSjgwPtHnQCEPztEhLBFFsPrwDPB (สืบค้น 18 สิงหาคม 2566)

[2] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. เข้าถึงได้จาก : https://www.pcd.go.th/laws/4508?fbclid= IwAR3Fdxca1yzPyEWvWBrkpLM9UdD49U1nIuCPW46XTzteujyxJxlcpKXhgBY (18 สค. 66)

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน. เข้าถึงได้จาก : https://www.pcd.go.th/publication/4241?fbclid=IwAR2SfVtU5yB7e3d69lX0uG5mWMK8EK0iqBjN WhVK (สืบค้น 18 สค.66)

[4] เสวก ชมมิ่ง. (2560). คู่มือปฏิบัติงานระบบบำบัดน้ำเสีย. เข้าถึงได้จาก : https://www.tm.mahidol.ac.th/assetmanagement/sites/default/files/AW-Wastewater- (สืบค้น 18 สิงหาคม 2566)

[5] พิโกอไลฟ์. (2565). ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ควรรู้ในระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้ง. เข้าถึงได้จาก : https://shorturl.asia/qx3s7 (สืบค้น 18 สค. 66)

[6] ter@digitalcooking. (2560). เว็บแอพพลิเคชั่น (Web Application). เข้าถึงได้จาก : https://shorturl.asia/GC2hV (สืบค้น 18 สิงหาคม 2566).

[7] วรรณพงษ์ ภัททิยไพบูลย์. (2559). ไพทอน แมชชีนเลิร์นนิง (Python machine learning) เข้าถึงได้ : https://python3.wannaphong.com/2016/01/machine-learning. html?fbclid=IwAR0M7f-EvAsM4h7LSWd1OWd9EH8NoUvepPTha3iRQNpiQYafyyT3ybvOZY (สืบค้น 18 สิงหาคม 2566)

[8] DH Team (2567). โปรแกรมภาษาไพทอน (Python programming language) เข้าถึงได้จาก : https://devhub.in.th/blog/what-is-python-programming-used-for?fbclid=IwAR1wmKa-aNoMvuWrEljwoEJ6GEg7S1BnOCO6qmP4c8Al weppHbb49Y-4b94 (สืบค้น 18 สิงหาคม 2566)

21R1-11

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการจัดการขยะมูลฝอยริมชายฝั่ง จังหวัดชลบุรี

Environmental Impact from Coastal Waste Management in Chonburi

ธนัชกฤศ มังกรศักดิ์สทธิ์[1] และ รศ.ดร.ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ[2*]
Thanatchkris Mangkornsaksit[1] and Assoc. Prof. Dao Suwansang Janjaroen[2]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10300
[2*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10300
โทรศัพท์ : +66809990564, โทรสาร : .....-....., E-mail : 6570114021@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะมูลฝอยในพื้นที่ศึกษา พื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองชลบุรี และ พื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม ตำบลนาจอมเทียน อำเภอสัตหีบ ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน ได้พบปัญหาขยะมูลฝอย ซึ่งมีความอันตรายและทับถมกันเป็นปริมาณมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยได้จำทำงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาองค์ประกอบชนิดและลักษณะของขยะมูลฝอยริมชายหาดและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ผ่านกระบวนการ การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเครื่องมือการวิเคราะห์และศึกษาด้านต่างๆในกระบวนการทางสิ่งแวดล้อม ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro โดยใช้กระบวนการพิจารณาชนิด Gate to Gate ซึ่งเป็นการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เฉพาะกระบวนการใด กระบวนการหนึ่งจากทั้งห่วงโซ่วงจรชีวิต ซึ่งผลที่ได้จะมีความเฉพาะเจาะจงสำหรับกระบวนการที่สนใจ โดยอ้างอิงสถานการณ์ทดลองจากสถานการณ์จริง เป้าหมายในการจัดการขยะของกรมควบคุมมลพิษ และ นโยบาย Zero Waste Policy ทั้งสิ้น 4 สถานการณ์จำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยริมชายฝั่งทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

คำสำคัญ : ขยะมูลฝอยริมชายฝั่ง; การจัดการขยะมูลฝอย; การรีไซเคิล; ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม; ผลกระทบระดับกลาง

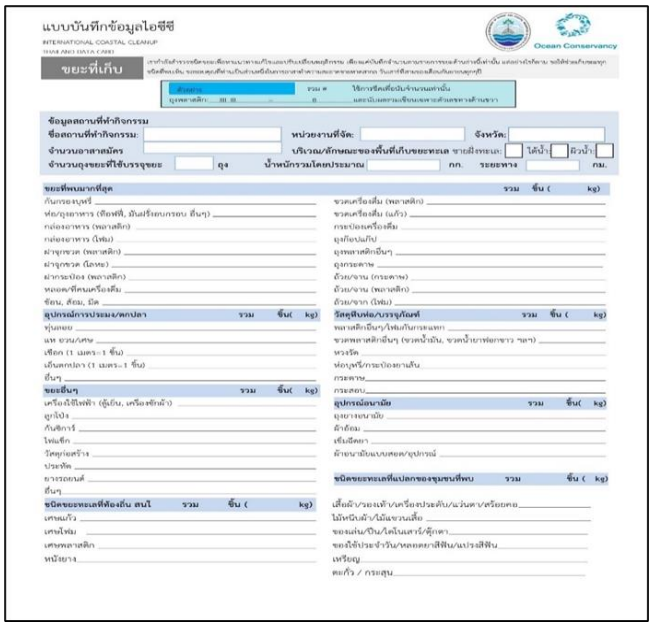
Abstract

Solid Waste Issues in the Study Areas: The Mangrove Conservation Area in Samet Subdistrict, Mueang Chonburi District, and the Beach Area Behind Wat Amparam in Najomtien Subdistrict, Sattahip District. The study found significant problems with solid waste accumulation in both locations, which are community areas. The waste poses hazards and has been piling up in large quantities, adversely affecting the surrounding environment. This research aims to study the types and characteristics of coastal waste and analyze its environmental impacts in the two study areas. The analysis employs Life Cycle Assessment (LCA) as a tool to examine various environmental aspects using the SimaPro software. The study focuses on the “Gate to Gate” approach, which considers a specific process within the overall life cycle of a product. This approach provides targeted results relevant to the process of interest, Four scenarios were simulated based on real-world conditions, referencing the waste management goals of the Pollution Control Department and the Zero Waste Policy, to analyze the environmental impacts of coastal waste management processes under both current and future conditions

Keywords : Coastal waste; Waste Management; Recycling; Environmental impacts; Midpoint-Indicator

บทนำ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษาองค์ประกอบ ชนิด ลักษณะ และสัดส่วนของขยะมูลฝอยริมชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม และพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน ซึ่งตั้งอยู่ที่ จังหวัดชลบุรี และศึกษาผลกระทบระดับกลาง 10 ชนิด ผ่านการสร้างสถานการณ์จำลอง 4 สถานการณ์ซึ่งอ้างอิงจาก สภาพการจัดการในปัจจุบัน นโยบายที่จัดทำขึ้นโดยกรมควบคุมมลพิษ และนโยบาย Zero Waste Policy ผ่านวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment ; LCA) ซึ่งกำหนดขั้นตอนทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (goal and scope definition) การวิเคราะห์รายการบัญชีสิ่งแวดล้อม (inventory analysis) การประเมินผลกระทบ (impact assessment) และการแปลผลการศึกษา (interpretation) Finnveden & Potting, (2014) [1] โดยได้กำหนดหน่วยการทำงานของงานวิจัยนี้คือ “การจัดการขยะมูลฝอยริมชายหาดปริมาณ 20 กิโลกรัมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ชายหาดหลังวัดอัมพารามและพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน จังหวัดชลบุรี” และกำหนดหลักเกณฑ์การจัดเก็บขยะและการจำแนกขยะมูลฝอยริมชายหาดตามINTERNATIONAL COASTAL CLEANUP ; ICC ซึ่งเป็นการแบ่งชนิดของขยะทะเลออกตามกิจกรรมที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่ทำการสำรวจแบ่งตามแหล่งที่มา ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรมหลักคือ กิจกรรมชายฝั่ง กิจกรรมทางการประมงและการเดินเรือ กิจกรรมการสูบขยะและขยะอุปกรณ์ทางการแพทย์ Thammavichan, et al (2016) [2] ซึ่งแบ่งขยะออกมาได้ทั้งสิ้น 7 ชนิดตามกิจกรรมที่เกิดขึ้นของขยะแต่ละชนิด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบฟอร์มข้อมูลขยะ ICC

แนวทางในการจัดเก็บและเทคโนโลยีในการจัดการขยะ

ในการเก็บตัวอย่างและคัดแยกขยะมูล จะทำการสุ่มตัวอย่างและแบ่งกอง หรือเรียกว่า Quartering Method เป็นการสุ่มขยะออกมา 1 ส่วน และทำการแบ่งกองออกเป็น 4 ส่วน นำออกมา 2 ส่วนและผสมให้เข้ากัน และนำมาคัดแยกอีกทีเป็น 4 ส่วน และทำซ้ำต่อไป จนได้เหลือประมาณ 50 ลิตรและนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบขยะ ซึ่งแบ่งออกเป็นขยะ 4 ประเภทคือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย และขยะทั่วไป กรมควบคุมมลพิษ, (2022) [3] และนำไปบันทึกลงในแบบฟอร์ม ICC โดยไม่คำนึงถึงขยะประเภทขยะอินทรีย์ โดยในสถานการณ์จำลอง 4 สถานการณ์ จะมีเทคโนโลยีในการจัดการเข้ามาร่วมด้วย 3 เทคโนโลยีคือ 1. เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย เนื่องด้วยเตาเผาขยะจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้กับขยะเพื่อลดทั้งขนาดและปริมาณของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่เตาเผาได้มากถึง 70% โดยน้ำหนัก และ 90% โดยปริมาตร Dhir, et al (2018) [4] 2. เทคโนโลยีหลุมฝังกลบ เป็นการนำขยะมูลฝอยที่ได้รับมา นำมาเทกองลงในหลุม หรือพื้นที่ที่จัดเตรียมสำหรับรองรับขยะมูลฝอย แล้วนำเครื่องจักรเช่นรถบดอัดเข้ามาเกลี่ยขยะและบดอัดขยะมูลฝอยให้เป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบเพื่อป้องกันปัญหาด้านกลิ่นและแมลง รวมถึงน้ำชะขยะมูลฝอย และ 3. เทคโนโลยีการรีไซเคิลขยะ 5 ประเภทคือ กระดาษ พลาสติก แก้ว อะลูมิเนียม และ โลหะ

แนวทางการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการประเมินผลกระทบของงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรม SimaPro ร่วมกับฐานข้อมูล ReCiPe2016 เข้ามามีส่วนในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระดับกลาง (Midpoint-Indicator) โดยฐานข้อมูล ReCiPe2016 เป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ กระบวนการผลิต และการใช้งานต่าง ๆ ตลอดจากขั้นตอนเริ่มต้นจนถึงการการใช้งานสุดท้ายและประกอบไปด้วยผลกระทบระดับกลาง สำหรับงานวิจัยนี้ทั้งสิ้น 17 ชนิด Huijbregts, (2016) [5]

สำหรับงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบระดับกลาง 10 ชนิดซึ่งสอดคล้องกับลักษณะและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทคโนโลยีในการขนส่งและการจัดการขยะมูลฝอย คือ 1. Global warming 2. Terrestrial acidification 3. Terrestrial ecotoxicity 4. Freshwater eutrophication 5. Marine eutrophication 6. Fossil resource scarcity 7. Freshwater ecotoxicity 8. Human carcinogenic toxicity 9. Human noncarcinogenic toxicity 10. Ecosystem damage ozone formation Istrate, et al (2021) [6]

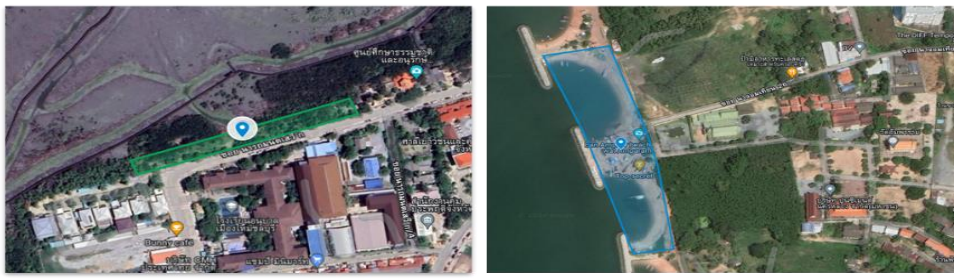
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ (Landfill) โดยมีการอ้างอิงองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่เข้าในระบบ จากประเทศสหรัฐอเมริกา และ สหภาพยุโรป และวิเคราะห์ปริมาณการเกิดของก๊าซมีเทนผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศที่จะเกิดขึ้นในหลุมฝังกลบผ่านการคำนวณ 2 วิธีคือการหาปริมาณสัมพันธ์ และ การย่อยสลายทางชีวภาพ หรือครึ่งชีวิตของขยะมูลฝอย ซึ่งปัจจัยที่จะมีผลต่อปริมาณที่เพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนในระบบคือ ความหนาแน่น หรือขนาดของขยะ สารอาหารหรือจุลินทรีย์ในระบบ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ความชื้นของขยะ และออกซิเจน ไฮโดนเจน ซัลเฟอร์ รวมถึงสารที่เป็นพิษโลหะในขยะมูลฝอย และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบโดยมีการเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาก๊าซมีเทน โดยมีการนำเทคโนโลยีเข้าไปดักจับก๊าซมีเทน ก่อนรั่วไหลสู่ชั้นบรรยากาศ และมีการกักเก็บน้ำชะขยะเพื่อไปบำบัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม El-Fadel, et al (1997) [7]
2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเทคโนโลยี เตาเผาขยะมูลฝอย (Solid Waste Incineration) โดยการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิงแวดล้อมผ่านวิธีวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment ; LCA) เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของเตาเผาขยะและผลกระทบที่เกิดขึ้น และสามารถระบุปัจจัยที่สำคัญต่อการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผ่านการทำบัญชีสิ่งแวดล้อม ซึ่งปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของอนุภาคและความสามารถในการทำให้เป็นกรด รวมถึงชนิดและประเภทของเตาเผา ทำให้ทราบว่า เตาเผาขยะไม่ได้ก่อให้เกิดแต่ผลเสียแต่สิ่งแวดล้อมเสมอไป Beylot & Villeneuve, (2013) [8]

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ที่ทำการศึกษา

พื้นที่ศึกษาที่แรกคือ “พื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน” ตั้งอยู่ที่ ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ติดกับโรงเรียนอนุบาลเมืองชลบุรี รวมถึงสถานที่ราชการ ตลาดขายสินค้าขนาดใหญ่ และหมู่บ้านจัดสรรขนาดใหญ่ตั้งอยู่ติดริมป่าชายเลน ซึ่งมีประชากรอาศัยอยู่ทั้งสิ้น 22,278 คนครอบคลุมพื้นที่ 12.5 ตารางกิโลเมตรในปี 2019 และ พื้นที่สองคือพื้นที่ “ชายหาดหลังวัดอัมพาราม ชลบุรี” ซึ่งเป็นวัดที่ตั้งอยู่ที่อำเภอ สัตหีบ จังหวัด ชลบุรี พื้นที่จัดเก็บขยะมูลฝอยระยะทางประมาณ 300 เมตร ซึ่งมีไว้เพื่อประกอบพิธีกรรมทางศาสนาต่างๆและเป็นพื้นที่พักผ่อนของคนในชุมชนรวมทั้งยังมีโรงแรม สถานที่จอดเรือยอชต์ พื้นที่เล่นกีฬาและร้านอาหารเข้าไปดำเนินธุรกิจในพื้นที่บริเวณอำเภอสัตหีบ หาดนาจอมเทียน ซึ่งเป็นพื้นที่ท่องเที่ยวและพื้นที่เศรษฐกิจมีประชากรอาศัยอยู่ในพื้นที่ประมาณ 8,052 คนในปี 2021 Municipality, (2021) [9]



รูปที่ 2 พื้นที่ศึกษา

ขอบเขตของวงจรชีวิตที่ทำการศึกษา

ในการวิเคราะห์วงจรชีวิตของระบบ ใช้การวิเคราะห์แบบ Gate to Gate ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ขั้นตอนการจัดเก็บขยะมูลฝอยริมชายหาดจนไปถึงกำจัดของเสียโดยไม่คำนึงถึงการได้มาของขยะมูลฝอยและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอยแบบ หลุมฝังกลบชนิดปูแผ่นกันซึมแบบไม่มีท่อเก็บก๊าซ, เตาเผาขยะชนิดมีแผงตะกรับ แบบมีระบบเปลี่ยนรูปของเสียเป็นพลังงาน (Waste-To-Energy) ชนิด Turbine-Engine การรีไซเคิลขยะมูลฝอยทั้ง 5 ชนิดที่สามารถรีไซเคิลได้ และ ภาคการขนส่งจากรถขนถ่ายขยะมูลฝอยประเภท 6 ล้ออัดท้ายขนาด 12ลูกบาศก์เมตร ชนิดเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นประเภทของรถขนถ่ายขยะมูลฝอย ที่ใช้งานโดยทั่วไปในพื้นที่ จังหวัดชลบุรี Bureau, (2016) [10]

พื้นที่ในการจักการขยะมูลฝอย โดยพื้นที่บ่อขยะที่มีการขนถ่ายขยะที่ได้รับการจัดเก็บแล้วของ “พื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน” ตำบลเสม็ด อำเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี จะถูกส่งไปจัดการ ณ ศูนย์กำจัดขยะเทศบาลเมืองแสนสุข ห่างออกไป 22.1 กิโลเมตรโดยในปี 2021 มีปริมาณขยะถูกส่งมาดำเนินการจัดการในบ่อขยะนี้ทั้งสิ้น 105 ตันต่อวัน โดยไม่มีการคัดแยกประเภทและองค์ประกอบของขยะ กองช่างสุขาภิบาล, (2021) [11] และการขนถ่ายขยะของพื้นที่ศึกษา หาดหลังวัดอัมภาราม อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ขยะที่ถูกจัดเก็บโดยรถจัดเก็บขยะ จะถูกส่งต่อไปฝังกลบที่ ศูนย์กำจัดขยะเทศบาลตำบลเขตรอุดมศักดิ์ ห่างออกไป 16.3 กิโลเมตรโดยมีปริมาณขยะมูลฝอยเข้าสู่ระบบที่ 35 ตันต่อวัน ในปี 2016 โดยไม่มีการคัดแยกประเภทและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย กรมควบคุมมลพิษ, (2017) [12]

สถานการณ์จำลองที่ทำการศึกษา

1. สถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบัน รถขนถ่ายขยะมูลฝอยประเภทเครื่องยนต์ดีเซลนำขยะมูลฝอยริมชายหาดส่งไปจัดการที่ หลุมฝังกลบชนิดปูแผ่นกันซึมแบบไม่มีท่อจัดเก็บก๊าซ โดยไม่มีการคัดแยกประเภทของขยะก่อนนำเข้าหลุมฝังกลบ
2. สถานการณ์จำลอง อ้างอิงจากกรมควบคุมมลพิษ ตั้งเป้าหมายการรีไซเคิลขยะมูลฝอยไว้ที่ร้อยละ 70 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งรถขนถ่ายขยะมูลฝอยประเภทเครื่องยนต์ดีเซลนำขยะมูลฝอยริมชายหาดไปส่งที่สถานีคัดแยกขยะมูลฝอย ซึ่งคัดแยกขยะมูลฝอยประเภท พลาสติกชนิดรีไซเคิลได้ 7 ชนิด ขวดแก้ว โลหะ กระดาษและกระดาษลัง ซึ่งมีอัตราส่วนคิดเป็นร้อยละ 70 ไปสู่สถานีรีไซเคิลขยะ ผ่านเทคโนโลยีการรีไซเคิลแยกตามประเภทของขยะ และอีกร้อยละ 30 ของขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ จะถูกส่งไปที่เตาเผาขยะชนิดมีแผงตะกรับ แบบมีระบบเปลี่ยนรูปของเสียเป็นพลังงาน (Waste-To-Energy) กรมควบคุมมลพิษ, (2020) [13] ชนิด Turbine-Engine ซึ่งตั้งอยู่ ณ สถานที่เดียวกันกับสถานีรีไซเคิลขยะมูลฝอยริมชายหาด โดยไม่มีการคัดแยกขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด
3. สถานการณ์จำลอง อ้างอิงจากกรมควบคุมมลพิษ ตั้งเป้าหมายการรีไซเคิลขยะมูลฝอยไว้ที่ร้อยละ 70 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งรถขนถ่ายขยะมูลฝอยประเภทเครื่องยนต์ดีเซลนำขยะมูลฝอยริมชายหาดไปส่งที่สถานีคัดแยกขยะมูลฝอยประเภทซึ่งคัดแยกขยะมูลฝอยประเภท พลาสติกชนิดรีไซเคิลได้ 7 ชนิด ขวดแก้ว โลหะ กระดาษและกระดาษลัง ซึ่งมีอัตราส่วนคิดเป็นเป็นร้อยละ 70 ไปสู่สถานีรีไซเคิลขยะดังสถานการณ์ที่ 2 และอีกร้อยละ 30 ของขยะมูลฝอยริมชายหาดที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ จะถูกส่งไปจัดการที่หลุมฝังกลบชนิดปูแผ่นกันซึมแบบไม่มีท่อจัดเก็บก๊าซ ซึ่งตั้งอยู่ ณ สถานที่เดียวกันกับสถานีรีไซเคิลขยะมูลฝอยริมชายหาด โดยไม่มีการคัดแยกขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด
4. สถานการณ์จำลองอ้างอิงจาก นโยบาย Zero Waste Policy โดยมีจุดประสงค์เพื่อรีไซเคิลขยะมูลฝอยที่ร้อยละ 100 โดยขยะมูลฝอยริมชายหาด หลังจากถูกจัดเก็บและขนส่งโดยรถขนถ่ายขยะชนิดเครื่องยนต์ดีเซล จะถูกนำส่งไปที่สถานีคัดแยกขยะมูลฝอยและคัดแยกขยะมูลฝอยและถูกนำไปจัดการต่อไปในส่วนงานรีไซเคิลคิดเป็น ร้อยละ 100 จากขยะมูลฝอยริมชายหาดทั้งหมด โดยขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ จะถูกจัดการที่หลุมฝังกลบชนิดปูแผ่นกันซึมแบบไม่มีท่อ

จัดเก็บก๊าซ ซึ่งตั้งอยู่ ณ สถานที่เดียวกันกับสถานีรีไซเคิลขยะมูลฝอยริมชายหาด โดยไม่มีการคัดแยกขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด

การลงดำเนินงานในพื้นที่ศึกษา

1. ในขั้นตอนแรก จะเป็นการลงพื้นที่ ในพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดชลบุรีทั้ง 2 พื้นที่คือ หาดหลังวัดอัมพาราม และ เขตอนุรักษ์ป่าชายเลน ซึ่งจะใช้กระบวนการเก็บแบบลงพื้นที่เพื่อเข้าไปเก็บตัวอย่างขยะ โดยจะมีการใช้กำลังคนในการลงพื้นที่ ประมาณ 8 คน เพื่อเก็บขยะในพื้นที่หาด ณ ชายหาดหลังวัดอัมพาราม โดยเก็บบริเวณหาดทราย และสำหรับพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน จะเก็บเข้าไปในพื้นที่ดินเลนประมาณ 3 ถึง 4 เมตรเพื่อไม่รุกล้ำบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน ระยะทางประมาณ 300 ถึง 400 เมตรในทั้ง 2 พื้นที่ซึ่งจะทำการลงพื้นที่ทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละพื้นที่ในช่วงฤดูแล้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป
2. ปริมาณของตัวอย่างขยะที่เก็บ อยู่ที่ปริมาณ 2 ตะกร้าหรือ น้ำหนักรวมประมาณ 20 กิโลกรัมของตัวอย่างขยะแล้วนำมาทำการแบ่งกอง เพื่อจำแนกประเภทและชนิดของขยะ รวมทั้งเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของขยะมูลฝอยริมชายหาดที่เก็บได้บันทึกลงในแบบฟอร์ม ICC
3. ศึกษาเส้นทางการจัดการของขยะมูลฝอยริมชายหาด จากการลงพื้นที่จริง เพื่อสอบถามคนในพื้นที่และเส้นทางการเดินรถขยะและโรงงานกำจัดขยะที่ดำเนินการในปัจจุบันเพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงสถานการณ์ปัจจุบันที่เกิดขึ้น ว่าใกล้เคียงกับข้อมูลอ้างอิงหรือไม่ นำข้อมูลปริมาณขยะที่ได้ มาวิเคราะห์ร่วมกับสถานการณ์จำลองทั้ง 4 สถานการณ์ที่กำหนดขึ้น
4. ทำการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการจัดการขยะทั้ง 4 สถานการณ์ ซึ่งคำนึงถึงความสามารถในการจัดการขยะมูลฝอยตามสถานการณ์ที่จำลอง โดยประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการโดยโปรแกรม SimaPro Version 9.3.0 ร่วมกับฐานข้อมูล ReCiPe2016
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และปริมาณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระดับกลาง 10 ชนิดที่เกิดขึ้น ของแต่ละสถานการณ์จำลอง 4 สถานการณ์
6. สรุปผลการวิเคราะห์ ข้อดี-ข้อเสีย ผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ทั้งในปัจจุบันและสิ่งที่จะเกิดขึ้นจากสถานการณ์จำลองที่อ้างอิงนโยบายในอนาคต และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงการจัดการขยะมูลฝอยริมชายหาด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการลงพื้นที่ศึกษา

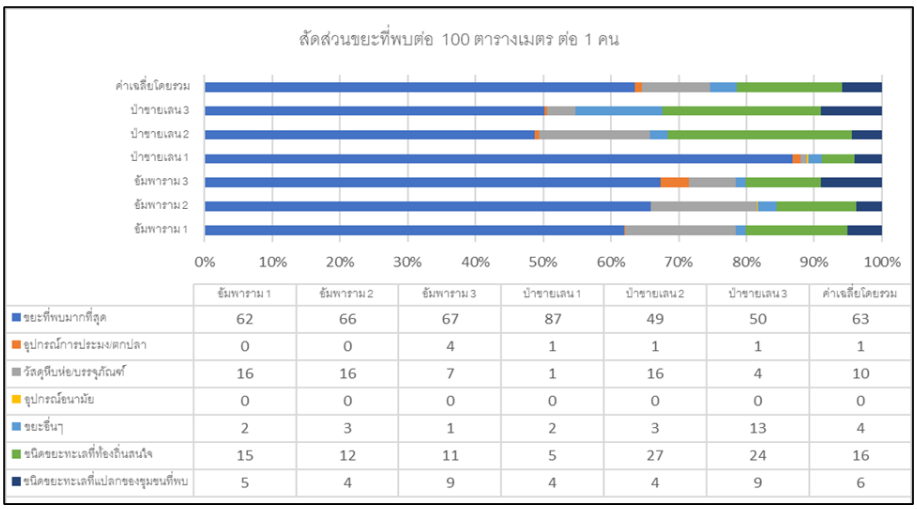
ประกอบด้วยคนลงพื้นที่ศึกษาประมาณ 7 ถึง 8 คน และอุปกรณ์อีก 8 ชนิดคือ 1. คอมพิวเตอร์ส่วนตัว 2. รถยนต์ส่วนตัว 3. ไม้หนีบขยะ 4. ถุงดำเก็บขยะ 5. ถุงมือเก็บขยะ 6. ตะกร้าใส่ขยะ 7. Microsoft Office 8. Simapro Version 9.3.0

ผลการทดลองและวิจารณ์

สัดส่วนของขยะที่พบแต่ละพื้นที่ศึกษา ในแต่ละครั้งที่เก็บ

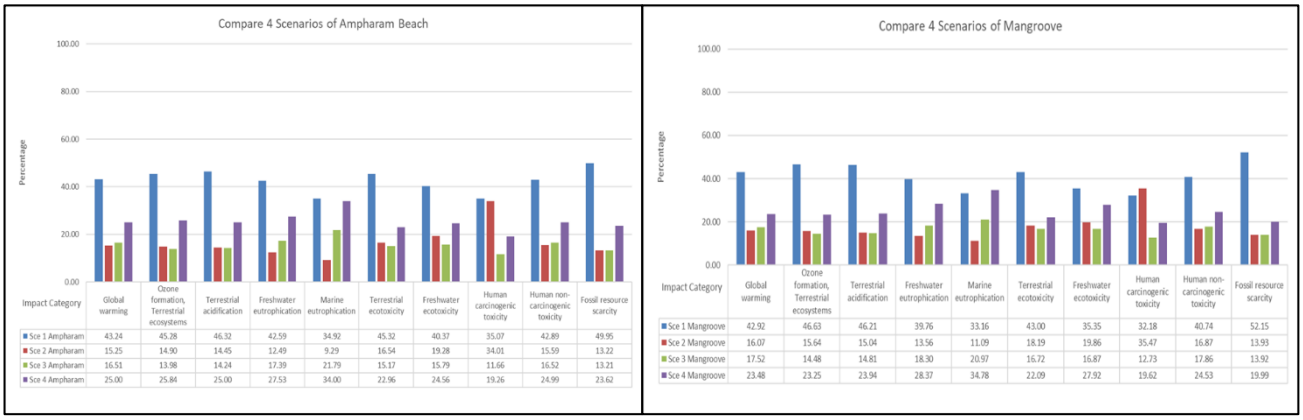
จากผลการศึกษาพบว่า หากเปรียบเทียบปริมาณขยะต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตรต่อคนจัดเก็บขยะ 1 คนถ้าคิดสัดส่วนของขยะที่พบเป็นร้อยละ 100 ต่อ 100 ตารางเมตร พบว่าชนิดของขยะในพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ “ขยะที่พบมากที่สุด” มีอัตราส่วนของขยะที่พบมากที่สุด อยู่ที่ร้อยละ 49 ของพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 2 ถึงร้อยละ 87 ของพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 1 และมีค่าเฉลี่ยในการพบขยะประเภทนี้อยู่ที่ร้อยละ 63 จากพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ ขยะที่พบรองลงมาเป็นอันดับ 2 คือขยะประเภท “ชนิดขยะทะเลที่ท้องถิ่นสนใจ” ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 พื้นที่ศึกษาอยู่ที่ร้อยละ 16 ซึ่งมีอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 5 ของพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 1 จนถึงร้อยละ 27 ของพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 2 ขยะที่พบรองลงมาเป็นอันดับที่ 3 คือขยะประเภท “วัสดุหีบห่อ/บรรจุภัณฑ์” ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 10 ซึ่งมีอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 1 ซึ่งพบน้อยมากในพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 1 จากขยะต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร จนถึง ร้อยละ 16 ของพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ในการเก็บครั้งที่ 1 และ 2 ของพื้นที่ศึกษา ชายหาดหลังวัดอัมพาราม และพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 2 และขยะประเภทที่พบน้อยในแต่ละพื้นที่ศึกษาคือ ขยะประเภท “ชนิดขยะทะเลที่แปลกของชุมชนที่พบ”, “ขยะอื่นๆ” และ “อุปกรณ์การประมง/ตกปลา” ค่าเฉลี่ยของแต่ละชนิดอยู่ที่ร้อยละ 6 ร้อยละ 4 และร้อยละ 1 ตามลำดับ ซึ่งขยะประเภท “ขยะอื่นๆ” จะมีอัตราส่วนการ

พบมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 13 ของพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนในการเก็บครั้งที่ 3 ซึ่งขยะที่พบส่วนมากจะเป็นขยะจำพวก ไฟแช็ก ก้นซิการ์ และขยะประเภทส่วนประกอบของรถยนต์ ดังรูปที่ 3



	อัมพาราม 1	อัมพาราม 2	อัมพาราม 3	ป่าชายเลน 1	ป่าชายเลน 2	ป่าชายเลน 3	ค่าเฉลี่ยโดยรวม
ขยะที่พบมากที่สุด	62	66	67	87	49	50	63
อุปกรณ์การประมง/ตกปลา	0	0	4	1	1	1	1
วัสดุพีบห่อบรรจุภัณฑ์	16	16	7	1	16	4	10
อุปกรณ์อนามัย	0	0	0	0	0	0	0
ขยะอื่นๆ	2	3	1	2	3	13	4
ขนิดขยะทะเลที่ท้องถิ่นสนใจ	15	12	11	5	27	24	16
ขนิดขยะทะเลที่แปลกของชุมชนที่พบ	5	4	9	4	4	9	6

รูปที่ 3 สัดส่วนขยะที่พบในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบผลกระทบ ของแต่ละพื้นที่ศึกษา

สัดส่วนของขยะรีไซเคิลได้และรีไซเคิลไม่ได้ ของแต่ละพื้นที่ศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า ในการเก็บขยะทั้ง 6 ครั้ง จากพื้นที่ศึกษาชายหาดหลังวัดอัมพารามและพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน พบว่าสัดส่วนของขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ต่อ ขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ เท่ากับ 1 ต่อ 2.5 กิโลกรัมสำหรับพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม และ 1 ต่อ 1.5 กิโลกรัมสำหรับพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนหรือคิดตามสัดส่วนของ Functional Unit จะได้ว่า จากขยะ 20 กิโลกรัมจากพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม จะพบขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ 14 กิโลกรัม และขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ 6 กิโลกรัม และสำหรับพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน ขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ 12 กิโลกรัมต่อขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ 8 กิโลกรัมสรุปได้ว่าพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลนมีสัดส่วนของขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ มากกว่าพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม

สรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่

จากผลการศึกษา พบว่าในสถานการณ์จำลองที่ 1 มีสัดส่วนการปลดปล่อยผลกระทบระดับกลางมากที่สุด ในทั้งพื้นที่ศึกษา อนุรักษ์ป่าชายเลน และพื้นที่ศึกษาชายหาดหลังหวัดอัมพาราม อยู่ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 42.59 สำหรับพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม และร้อยละ 41.21 สำหรับพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน รองลงมาอันดับ 2 คือสถานการณ์จำลองที่ 4 ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยผลกระทบระดับกลางอยู่ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 25.28 ของพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม และร้อยละ 24.80 ของพื้นที่อนุรักษ์ป่าชาย

เลน เนื่องจากน้ำหนักของขยะมูลฝอยริมชายฝั่งที่เข้าสู่ระบบรีไซเคิลไม่ได้เท่ากับร้อยละ 100 ของขยะที่เก็บมาได้ทั้งหมด ทำให้มีค่าผลกระทบเฉลี่ยมากกว่าในสถานการณ์จำลองที่ 2 และ 3 และมีค่าผลกระทบทางด้าน Marine eutrophication ที่มากกว่าและใกล้เคียงกับสถานการณ์จำลองที่ 1 เนื่องด้วยชนิดของขยะที่เข้าสู่ระบบอยู่ที่ร้อยละ 34.00 และร้อยละ 34.78 สำหรับพื้นที่ศึกษาชายหาดหลังวัดอัมพาราม และพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน โดยในสถานการณ์จำลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยน้อยรองลงมาอยู่ที่ร้อยละ 16.50 สำหรับพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม จนถึงร้อยละ 17.57 สำหรับพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน และสถานการณ์จำลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยผลกระทบเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 15.63 สำหรับพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพาราม จนถึงร้อยละ 16.42 สำหรับพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน โดยในสถานการณ์ที่ 2 มีค่าผลกระทบทางด้าน Human carcinogenic toxicity อยู่ที่ร้อยละ 34.01 และ 35.47 สำหรับพื้นที่ชายหาดหลังวัดอัมพารามและพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน ตามลำดับ ทำให้ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยผลกระทบโดยรวมมีค่ามากกว่าสถานการณ์จำลองที่ 3

สรุปผลการศึกษา

ประเภท ชนิด ลักษณะ และองค์ประกอบ สัดส่วนของขยะมูลฝอยริมชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า ในทั้ง 2 พื้นที่ศึกษามีสัดส่วนของขยะมูลฝอยชนิด “ขยะที่พบมากที่สุด” ซึ่งเป็นขยะพลาสติกในปริมาณมากที่สุด จากการลงพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ทั้ง 6 ครั้ง โดยมีสัดส่วนของขยะที่พบต่อพื้นที่ต่อคน ยังมีอยู่ในปริมาณที่มาก และสัดส่วนของขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ มีสัดส่วนที่น้อยกว่าขยะที่สามารถรีไซเคิลได้อย่างเห็นได้ชัดเนื่องจาก ชนิดของขยะพลาสติกที่เก็บได้ส่วนมาก เป็นขยะพลาสติกที่ปนเปื้อน และขยะริมชายฝั่งบางประเภทยังไม่มีอุตสาหกรรมการรีไซเคิลมารองรับ จึงไม่เหมาะแก่การนำไปเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลในปัจจุบัน

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยริมชายหาดในอนาคต

จากผลการศึกษา พบว่าในการจัดการขยะรูปแบบปัจจุบัน ที่ไม่มีการคัดแยกและการจัดการตามแต่ละประเภทของขยะอย่างถูกต้อง แต่เป็นการจัดการโดยการถมขยะลงในหลุมฝังกลบชนิดปูแผ่นกันซึม แบบไม่มีท่อเก็บก๊าซ จะมีผลเสียมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งสถานการณ์จำลอง 4 สถานการณ์ และในสถานการณ์จำลองที่ 4 ถึงแม้จะตั้งเป้าหมายในการรีไซเคิลขยะไว้ที่ร้อยละ 100 แต่ประเภทของขยะที่เก็บได้จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ มีสัดส่วนของขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ทั้งขยะที่เป็นขยะปนเปื้อน ขยะประเภทเครื่องแต่งกาย และขยะจากอุตสาหกรรมการประมง ทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้น เมื่อไม่ได้เทียบสัดส่วนโดยมวลของขยะให้เท่ากับในสถานการณ์จำลองที่ 2 และ 3 ส่งผลให้มีค่าการปลดปล่อยผลกระทบที่มากกว่าใน 2 สถานการณ์จำลองนั้น และการนำเทคโนโลยีการรีไซเคิลเข้ามาช่วย ทั้งในสถานการณ์จำลองที่ 2 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อน้ำหนักของขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ในสถานการณ์จำลองที่ 2 และ 3 อยู่ที่ร้อยละ 70 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนผลกระทบที่น้อยลงอย่างมาก ซึ่งเป็นผลดีที่เห็นได้ชัดต่อสิ่งแวดล้อมและต่อชุมชนโดยรอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวทางในการทำงาน และแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องของงาน จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ทีมงานที่ช่วยลงพื้นที่ศึกษาและเก็บข้อมูล ทั้งทีมงานนิสิตนักศึกษาระดับปริญญาตรี และทีมงานในพื้นที่จังหวัดชลบุรีที่ สนับสนุนการทำงานนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] Finnveden, G., & Potting, J. (2014). Life Cycle Assessment. In P. Wexler (Ed.), Encyclopedia of Toxicology (Third Edition) (pp. 74-77). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00627-8

[2] Thammavichan, J., Manyagase, K., Manakij, J., & Noomnual, W. (2016). Study of amount, material type and source of marine debris along the Andaman sea in Trang and Phuket province. Proceedings of the 4th Marine Science Conference: Blue Ocean Science, 646-652.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2022). Study of solid waste components 2021. Retrieved from https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2021/09/pcdnew-2021-09-13_02-03-01_793141.pdf

[4] Dhir, R. K., Brito, J. d., Lynn, C. J., & Silva, R. V. (2018). Municipal Solid Waste Composition, Incineration, Processing and Management of Bottom Ashes. In Sustainable Construction Materials (pp. 31-90). https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100997-0.00003-8

[5] Huijbregts, M. A. J. (2016). ReCiPe 2016. National Institute for Public Health and the Environment

[6] Istrate, I. R., Galvez-Martos, J. L., & Dufour, J. (2021). The impact of incineration phase-out on municipal solid waste landfilling and life cycle environmental performance: Case study of Madrid, Spain. Sci Total Environ, 755(Pt 1), 142537. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142537

[7] El-Fadel, M., Findikakis, A. N., & Leckie, J. O. (1997). Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. Journal of Environmental Management, 50(1), 1-25. https://doi.org/10.1006/jema.1995.0131

[8] Beylot, A., & Villeneuve, J. (2013). Environmental impacts of residual municipal solid waste incineration: a comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. Waste Manag, 33(12), 2781-2788.

[9] Municipality, N. J. S. (2021). 3 year workforce plan. Retrieved from http://www.tessabannajomtien.go.th/upload/2565/gle/650504.pdf

[10] Bureau, S. (2016). Natural resources and environment. Retrieved from https://www.pattaya.go.th/document/standard/capter02/44.pdf

[11] กองช่างสุขาภิบาล. (2021). รายงานผลปฏิบัติงานศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564.

[12] กรมควบคุมมลพิษ. (2017). Guidelines for considering the suitability of an area construction design and management of management facilities

[13] กรมควบคุมมลพิษ. (2020). แนวทางในการพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่การออกแบบก่อสร้างและการจัดการสถานที่จัดการขยะมูลฝอยโดยการเผาในเตาเผา.

21R2-01

การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซสังเคราะห์

Application of Constructed Wetlands System for Wastewater from Synthesis Gas Wet Scrubbing

นิรามัย ไตรยวงศ์[1*] พนิดา เทพขุน[2] ธนิตา สนธิเศวต[2] จตุพร อุทัยศรี[1] วรัญญู พลเดช[3] และ นภาพร คล้ายเจียม[4]

Niramai Traiyawong[1] Panida Thepkhun[2], Thanita Sonthisawate[2], Chatuphon Uthaisri[1], Waranyu Phondet[3] and Napaporn Klaijieam[4]

[1]นักวิจัย; [2]นักวิจัยอาวุโส; [3]นักทดลองวิทยาศาสตร์วิจัย; [4]ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เชี่ยวชาญพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม (ศนพ.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ปทุมธานี 12120

[*]โทรศัพท์ : 02 577 9000 ต่อ 9472, โทรสาร : 02 577 9032, E-mail : niramai@tistr.or.th

บทคัดย่อ

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตมาจากเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน มักถูกปนเปื้อนด้วยมลสาร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์เพื่อจัดการมลสารในน้ำเสีย โดยเริ่มตั้งแต่การเลือกและการออกแบบระบบจนไปถึงการพัฒนาชุดทดลองโดยใช้น้ำเสียจริง ซึ่งได้เลือกเป็นระบบแบบผสมผสานระหว่างการไหลบนผิวและภายในชั้นกรอง มีรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลตามกัน ออกแบบชุดทดลองให้น้ำไหลเข้าด้านบนและไหลออกทางด้านล่างเพื่อผ่านชั้นกรอง ผลการออกแบบที่ควบคุมอัตราการไหลเข้า 32 ลิตร/วัน จะได้ อัตราภาระสารอินทรีย์ 10 กรัม BOD/ตร.ม.-วัน, อัตราภาระชลศาสตร์ 20 ซม./วัน, และเวลากักเก็บน้ำ 4 วัน โดยมีพารามิเตอร์น้ำเสียจริงเฉลี่ย ดังนี้ ค่า BOD 499.88 mg/L, ค่า COD 1,329.20 mg/L, ค่า TSS 101.78 mg/L และค่า Phenols 88.08 mg/L และสุดท้ายศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบพบว่าความสามารถของชุดทดลองกกรังกามีแนวโน้มที่ดีกว่า ชุดทดลองธูปฤาษีและชุดทดลองพุทธรักษา ซึ่งชุดทดลองกกรังกาสามารถลดค่า COD ได้ 79% ชุดทดลองธูปฤาษีและชุดทดลองพุทธรักษา 76% และ 75% ตามลำดับ สำหรับค่า Phenols มีแนวโน้มเป็นไปตามค่า COD ซึ่งสามารถลดค่า Phenols ลงสูงสุด 56% แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าระบบฯ ดังกล่าวสามารถลดความสกปรกของน้ำเสียในรูปค่า COD และค่า Phenols ลงได้ ท้ายที่สุดเราควรต่อยอดพัฒนาระบบดังกล่าวให้สามารถใช้งานได้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ : ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์; ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก; ก๊าซสังเคราะห์; เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน; ฟีนอล

Abstract

Wastewater produced by syngas wet scrubbing from three-stage gasification is often contaminated with pollutants. Therefore, this study focuses on applying constructed wetlands (CWs) for wastewater treatment. The operation began with selecting and designing the development of a reactor. This study chose CWs reactor as a combination with Free water surface flow and Subsurface flow. The design results that control the flow rate of 32 L/d get a BOD loading of 10 gBOD/m^2·d, a hydraulic loading of 20 cm/d, and an HRT of 4 d. The wastewater parameters found that BOD is 499.88 mg/L, COD is 1,329.20 mg/L, TSS is 101.78 mg/L, and phenols are 88.08 mg/L. Finally, these results showed the factors that affect the CWs. Initially, it was found that the performance of the Typha reactor was better than the Cyperus reactor and the Canna indica reactor respectively.

Keywords : constructed wetlands; wet scrubber; synthesis gas; gasification; phenols

บทนำ

การผลิตก๊าซสังเคราะห์ (Synthesis gas หรือ Syngas) ด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) นอกจากจะเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้งานเป็นโรงไฟฟ้าชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน เทคโนโลยีดังกล่าวยังมีข้อดีคือ มีมลพิษน้อยเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีด้านความร้อนเคมีอื่น [1] แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการทำความสะอาดก๊าซสังเคราะห์ ด้วยระบบบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet scrubber) น้ำที่ถูกเวียนใช้ในระบบดังกล่าวจะถูกปนเปื้อนด้วยมลสารที่ถูกชะออกมาจาก Syngas ได้แก่ สารอินทรีย์ในรูป ค่า BOD, ค่า COD, ปริมาณของแข็ง (Solids) และปริมาณฟีนอล (Phenols) เป็นต้น ซึ่งน้ำที่ถูกเวียนใช้ดังกล่าวจะกลายเป็นมลพิษทางน้ำหากไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติ ดังนั้น การเลือกระบบบำบัดเพื่อลดผลกระทบจากมลสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น และที่สำคัญต้องเป็นระบบบำบัดที่สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายในแง่ของการตอบโจทย์ของโรงไฟฟ้าชุมชนอีกด้วย หนึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed wetlands) [2] เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติ โดยใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพืช จุลินทรีย์ และดิน [3]

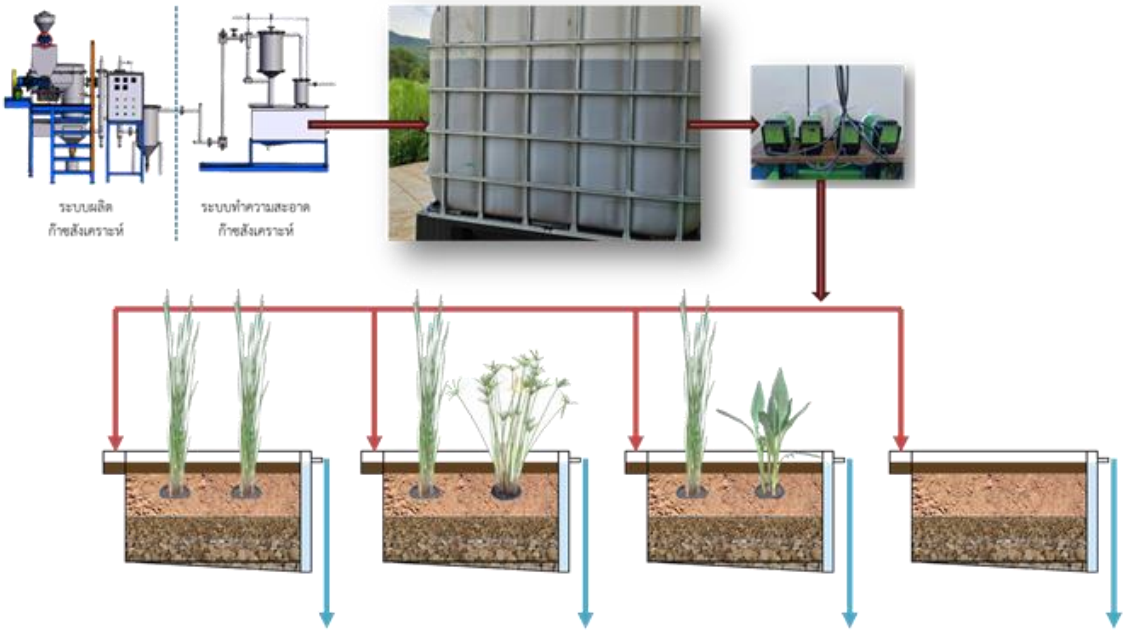
ในงานวิจัยนี้ทำการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซสังเคราะห์ โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงที่เกิดจากการเดินระบบ 3-state Gasification นำมาทดลองกับต้นแบบระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืช ซึ่งเป็นพืชถิ่นในพื้นที่ทำการทดลอง และหนึ่งในข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์คือการสะสมและการอุดตันที่เกิดจากปริมาณของแข็งและสารแขวนลอย [2] งานวิจัยนี้จึงใช้ตัวกลางหลายขนาดและพืชหลายชนิด และในท้ายที่สุดเพื่อให้เห็นผลลัพธ์ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรม และมากไปกว่านั้นเพื่อให้ได้ระบบ Gasification ที่พร้อมและเกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน

อุปกรณ์และวิธีการ

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันแบบสามขั้นตอน (3-state Gasification) ขนาดกำลังการป้อนวัตถุดิบ 5-7 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการทดลอง ณ ศูนย์สาธิตการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวลและขยะ สถานีวิจัยลำตะคอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการเดินระบบ Gasification มีความหลากหลาย ได้แก่ Wood chips, Wood pellets, Torrefied wood pellet, Wood pellets with Steam, Wood pellets with Steam and Catalyst ส่งผลให้ลักษณะน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ดังนี้ ค่า BOD 499.88 (22.4-1,080) mg/L, ค่า COD 1,329.20 (342-2,468) mg/L, ค่า TSS 101.78 (52.2-138) mg/L และค่า Phenols 88.08 (1.59-182) mg/L

การออกแบบชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ดำเนินการดังนี้ 1) คัดเลือกชนิดของระบบฯ โดยเลือกเป็นแบบผสมผสาน (Hybrid system) ระหว่างการไหลบนผิว (Surface flow) และภายในชั้นกรอง (Subsurface flow) โดยใช้รูปแบบการไหลของน้ำเป็นการไหลแบบตามกัน (Plug flow) 2) คัดเลือกชั้นกรอง (Substrate) หรือตัวกลาง (Media) เลือกใช้กรวดจากบริเวณเขื่อนลำตะคอง 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 15-20 มม. ความหนาแน่น 1.13 กรัม/ลบ.ม., ขนาด 5-15 มม. ความหนาแน่น 1.16 กรัม/ลบ.ม. และขนาด 2-5 มม. ความหนาแน่น 1.17 กรัม/ลบ.ม. 3) คัดเลือกพืช (Plant) เลือกใช้พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant) ได้แก่ ธูปฤาษี (Cattail: Typha angustifolia L.), กกรังกา (Umbrella plant: Cyperus involucratus Rottb.) และพุทธรักษา (Canna indica L.) และ 4) ออกแบบชุดทดลองระบบฯ โดยพิจารณาค่าการออกแบบ [3] ได้แก่ อัตราภาระสารอินทรีย์ (BOD loading rate) 6-25 กรัม BOD/ตร.ม.-วัน, อัตราภาระทางชลศาสตร์ (Hydraulic loading rate) 6-25 ซม./วัน, ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (Hydraulic retention time: HRT) 2-6 วัน และความสูงของน้ำ ซึ่งค่าเหล่านี้มีผลต่อความสามารถและประสิทธิภาพของระบบฯ [4] ทั้งนี้ จากองค์ประกอบหลักของบึงประดิษฐ์ ที่ประกอบไปด้วย 1) ชั้นกรองหรือตัวกลาง 2) จุลินทรีย์ (Microbial organisms) และ 3) พืช โดยในงานวิจัยครั้งนี้เน้นเฉพาะในส่วนของพืช

รูปที่ 1 แสดงชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วย 1) ชุดควบคุม เป็นชุดทดลองที่ไม่มีการปลูกพืช 2) ชุดทดลองธูปฤาษี กำหนดต้นพืชจำนวน 2 กอ 3) ชุดทดลองกกรังกา กำหนดต้นธูปฤาษี 1 กอ และกกรังกา 1 กอ และ 4) ชุดทดลองพุทธรักษา กำหนดต้นธูปฤาษี 1 กอ และพุทธรักษา 1 กอ ทำการเดินระบบฯ และเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาประมาณ 8 เดือน โดยชุดทดลองแต่ละชุด มีความสูง 60 ซม. กำหนดให้กรวดชั้นที่ 1 ใช้ขนาด 15-20 มม. ความสูง 5 ซม., กรวดชั้นที่ 2 ใช้ขนาด 5-15 มม. ความสูง 10 ซม., กรวดชั้นที่ 3 ใช้ขนาด 2-5 มม. ความสูง 10 ซม., ดินปลูก ความสูง 20 ซม., ระดับน้ำ ความสูง 10 ซม. และระยะพ้นน้ำความสูง 5 ซม. ทำการศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพการบำบัดของระบบฯ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ [4] ทำการเก็บข้อมูลน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบฯ



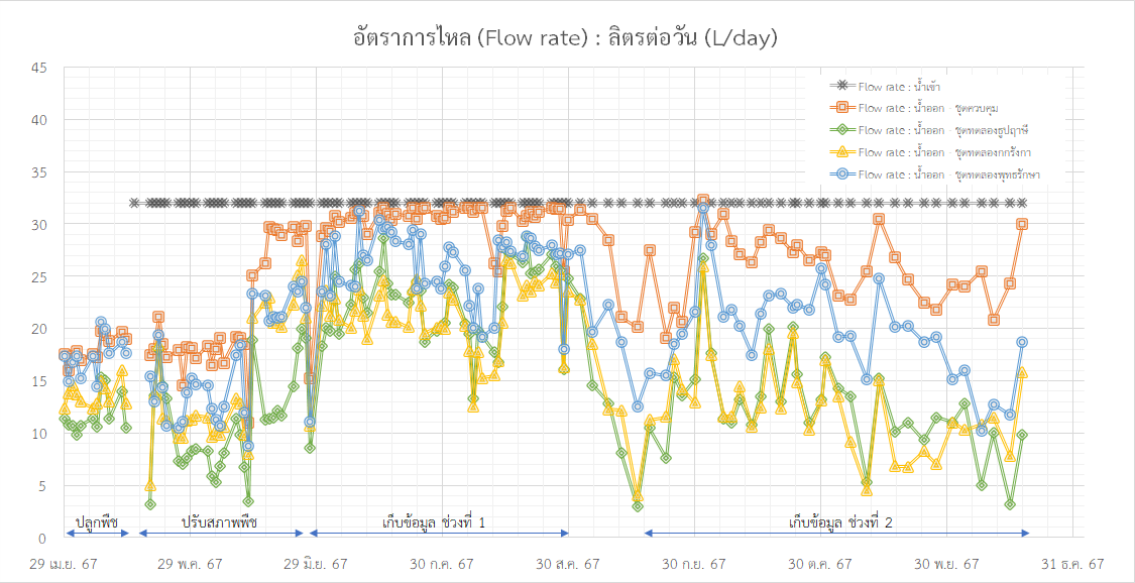
รูปที่ 1 ชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการตรวจวิเคราะห์	การเก็บข้อมูล
1. อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature)	Electrometric Method APHA, AWWA, WEF 2550 B.	2 ครั้ง ต่อ 1 สัปดาห์
2. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	Electrometric Method APHA, AWWA, WEF 4500-H^+ B.	2 ครั้ง ต่อ 1 สัปดาห์
3. ดีโอ (DO หรือ Dissolved Oxygen)	Membrane-Electrode Method APHA, AWWA, WEF 4500-O G.	2 ครั้ง ต่อ 1 สัปดาห์
4 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS หรือ Total Suspended Solids)	Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C APHA, AWWA, WEF 2540 D.	1 ครั้ง ต่อ 1 สัปดาห์
5. ซีโอดี (COD หรือ Chemical Oxygen Demand)	Closed Reflux, Titrimetric Method APHA, AWWA, WEF 5220 C.	1 ครั้ง ต่อ 1 สัปดาห์
6. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	Distillation, 4-Aminoantipyrine Method APHA, AWWA, WEF 5530 A.	1 ครั้ง ต่อ 2 สัปดาห์

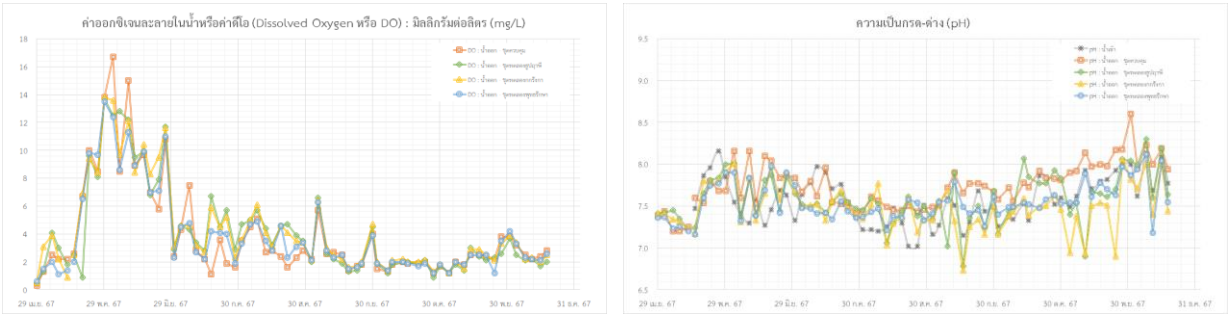
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการออกแบบชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้า 32 ลิตร/วัน จะได้ภาระสารอินทรีย์ 10 กรัม BOD/ตร.ม.-วัน, ภาระทางชลศาสตร์ 20 ซม./วัน และเวลาการกักเก็บน้ำ 4 วัน รูปที่ 2 แสดงผลของอัตราการไหลของน้ำเข้าและน้ำออกจากชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ จะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบอัตราการไหลน้ำออกของทุกชุดทดลอง จะพบว่าอัตราการไหลน้ำออกของชุดทดลองธูปฤาษีและชุดทดลองกกรังกามีค่าลดลงมากที่สุด ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำออกใกล้เคียงกัน ในทางกลับกันแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองพุทธรักษามีอัตราการใช้น้ำน้อยที่สุด โดยที่พืชแต่ละชนิดมีการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลสาร [5] นอกจากนี้แล้วยังพบว่าอัตราการไหลน้ำออกของชุดควบคุมมีอัตราการไหลที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ประกอบกับการสังเกตระดับน้ำพบว่าระดับน้ำมีความสูงที่เพิ่มขึ้นจนเกือบถึงขอบบนของชุดทดลองฯ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการอุดตันของระบบฯ เกิดขึ้น



รูปที่ 2 ผลอัตราการไหลของน้ำ

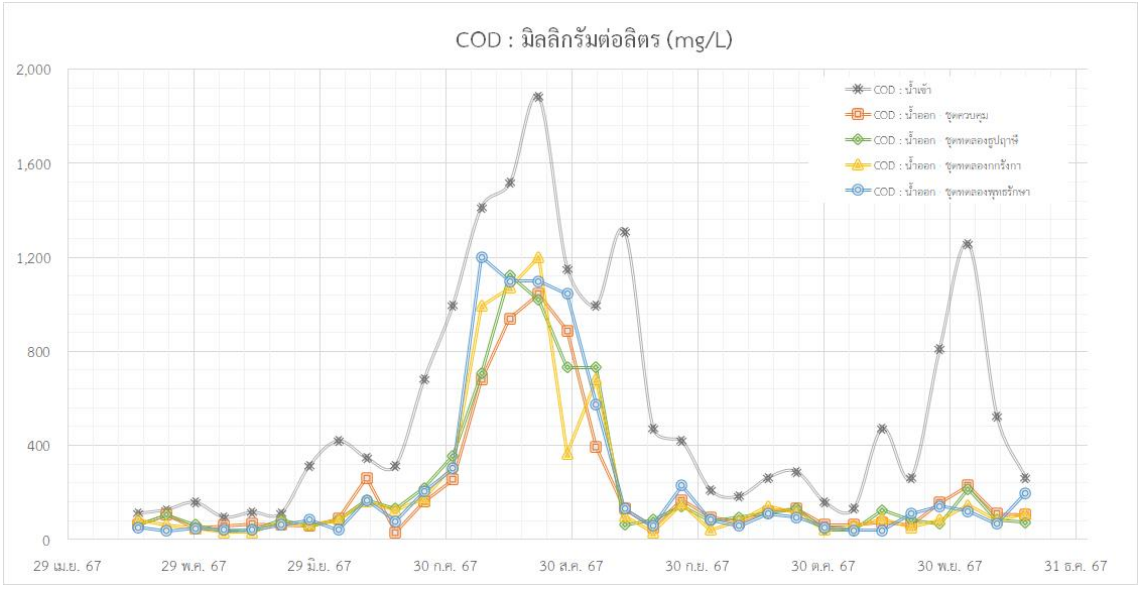
รูปที่ 3 แสดงผลของ (ก) ค่า DO และ (ข) ค่า pH ของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ พบว่า ค่า DO ในช่วงแรกซึ่งเป็นช่วงปรับสภาพของพืชโดยได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียขึ้นตามสัดส่วน จะเห็นว่าตลอดช่วงที่ทำการเก็บข้อมูล ค่า DO จะมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่า pH จะเห็นว่ามีค่าขึ้นลงตามค่า pH ของน้ำเข้า โดยอยู่ในช่วง 7.0-8.0 โดยทั้งค่า DO, ค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ เป็นปัจจัยควบคุมสำคัญ (key controlling factors) ในการทำงานของระบบฯ [5]



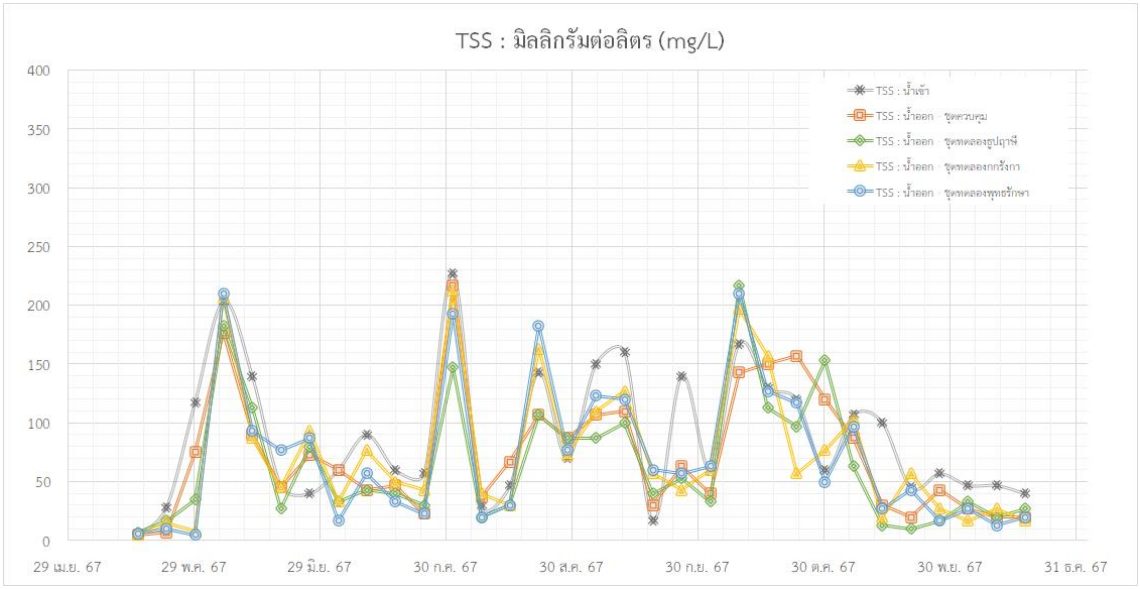
(ก) ค่า DO (ข) ค่า pH

รูปที่ 3 ผลค่า DO และ ค่า pH

รูปที่ 4 แสดงผลของค่า COD ของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ พบว่าค่า COD ที่เข้าระบบฯ มีความแปรปรวนของข้อมูลมาก โดยที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 654.58±496.89 mg/L ซึ่งมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 130.67 mg/L และค่าสูงสุดอยู่ถึง 1,881.60 mg/L ดังนั้นในช่วงของการเก็บข้อมูลจึงได้ทำการปรับการเดินระบบฯ กล่าวคือทำการลดการเติมน้ำเสียเข้าระบบฯ โดยเติมน้ำเสียเข้าระบบฯ แบบวันเว้นวัน และลดความสกปรกของน้ำเสียเหลือค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 406.93±304.89 mg/L ซึ่งในช่วงท้ายของการเดินระบบฯ จะเห็นว่าแม้ว่าค่าความสกปรกของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นในบางช่วงเวลา ระบบฯ ยังมีความสามารถในการบำบัดได้ แต่อย่างไรก็ตามความสามารถของชุดทดลองที่มีการปลูกพืชมีความแตกต่างไม่มากจากชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการบำบัดค่า COD มาจากชั้นกรองหรือตัวกลาง โดยสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ (Microorganism) [2] ที่อาศัยและเจริญเติบโตภายในชั้นกรองหรือตัวกลาง (ดินปลูกและกรวด) นอกจากนี้รูปที่ 5 แสดงผลของค่า TSS ของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ กลับพบว่าชั้นกรองหรือตัวกลางที่เลือกใช้ให้ผลที่ไม่ดีต่อการบำบัดค่า TSS จะเห็นว่าค่า TSS ของน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลมาจากขนาดของกรวดที่ใช้ในชั้นกรองมีขนาดใหญ่เกินไป แต่อย่างไรก็ตามจากลักษณะทางกายภาพของน้ำเข้าและน้ำออกในแต่ละชุดทดลองจะพบว่ามีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4 ผลของค่า COD



รูปที่ 5 ผลของค่า TSS

ตารางที่ 2 แสดงคุณภาพน้ำเข้าและน้ำออกของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในการเก็บข้อมูลช่วงที่ 2 พบว่า ชุดทดลองกกรังกาสามารถลดค่า COD จาก 406.93±304.89 mg/L ลงเหลือ 87.36±40.46 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 79% ชุดทดลองธูปฤาษี ลดค่า COD ลงเหลือ 98.19±45.02 mg/L และชุดทดลองพุทธรักษาเหลือ 100.05±50.62 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 76% และ 75% ตามลำดับ สำหรับค่า Phenols มีแนวโน้มเป็นไปตามค่า COD โดยสามารถลดค่า Phenols ลงได้จาก 21.51±17.49 mg/L เหลือ 10.36±8.66 mg/L, 9.67±8.28 mg/L และ 9.47±8.08 mg/L คิดเป็น 56%, 55% และ 52% ในชุดทดลองพุทธรักษา, ชุดทดลองธูปฤาษี และชุดทดลองกกรังกา ตามลำดับ ซึ่งความสามารถที่ดีที่สุดในการบำบัดค่า Phenols ให้ลดลงเหลือต่ำกว่า 1 mg/L คือ ค่า Phenols ของน้ำเข้าอยู่ที่ 11.0 mg/L โดยระบบฯ สามารถบำบัดค่า Phenols ของน้ำออกให้เหลือ 0.2, 0.4 และ 0.3 mg/L ในชุดทดลองธูปฤาษี, ชุดทดลองกกรังกา และชุดทดลองพุทธรักษา ตามลำดับ การศึกษาของ Benny [6] สามารถลดค่า COD ลงได้ 63% ในช่วงการทดลองที่ 1 และค่า Phenols ลงได้ 56%

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำเข้าและน้ำออกของชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	น้ำเข้า		น้ำออก					
			ชุดทดลองธูปฤาษี		ชุดทดลองกกรังกา		ชุดทดลองพุทธรักษา	
	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย
ค่า COD	14	406.93±304.89	14	98.19±45.02	14	87.36±40.46	14	100.05±50.62
ค่า Phenols	7	21.51±17.49	7	9.67±8.28	7	10.36±8.66	7	9.47±8.08

* วันที่ 19 กันยายน - 19 ธันวาคม 2567

รูปที่ 6 แสดงลักษณะของพืชที่ใช้ในการทดลอง โดย (ก) ชุดทดลองธูปฤาษี (ข) ชุดทดลองกกรังกา และ (ค) ชุดทดลองพุทธรักษา ซึ่งเป็นสภาพที่อยู่ในช่วงปรับสภาพพืชจะเห็นว่าจำนวนต้นพืชมีประมาณ 5-10 ต้นต่อกอ ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่ามีต้นพืชใหม่แทงยอดพอสมควร หลังจากทำการเดินระบบฯ ทั้งสิ้นประมาณ 8 เดือน จึงทำการเก็บตัวอย่างพืช ดินปลูกและกรวด จากรูปที่ 6 แสดง (ง) ธูปฤาษี (จ) กกรังกา และ (ฉ) พุทธรักษา เป็นลักษณะของต้นพืชตั้งแต่ปลายรากถึงปลายใบ จะเห็นได้ว่าลักษณะของพืชมีสีที่เข้มขึ้นและมีการเจริญเติบโตเป็นไปตามตารางที่ 3 พบว่า ธูปฤาษีในแต่ละชุดทดลองมีความสูงลำต้นถึงปลายใบ (200-300 ซม.) และความยาวราก (10-40 ซม.) ที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่กกรังกามีความยาวลำต้นถึงปลายใบสั้นกว่าธูปฤาษีเล็กน้อย (120-210 ซม.) แต่มีความยาวรากที่ยาวมากกว่าเท่าตัว (40-90 ซม.) ส่วนพุทธรักษามีลักษณะต้นเตี้ยและรากสั้นที่สุด ซึ่งความสูงของพืชในแต่ละชนิดคือพืชที่แก่เต็มที่ [3] แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของการดูแลรักษาระบบฯ ตลอดช่วงของการทดลองมีการตัดแต่งพืชที่ออกดอกและพืชที่ล้มรวมไปถึงใบที่เริ่มแห้งออก มีการควบคุมจำนวนไม่ให้แน่นจนเกินไปและจำกัดขอบเขตของพืชที่ต่างชนิดกัน



(ก) ชุดทดลองธูปฤาษี



(ข) ชุดทดลองกกรังกา



(ค) ชุดทดลองพุทธรักษา



(ง) ธูปฤาษี



(จ) กกรังกา



(ฉ) พุทธรักษา

รูปที่ 6 ลักษณะของพืช

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของพืชในบึงประดิษฐ์

พืช	ก่อนเริ่มเดินระบบ*	เริ่มเดินระบบ**	หลังเดินระบบ***		
	จำนวน	จำนวน	จำนวน	ความสูงลำต้น (ซม.)	ความยาวราก(ซม.)
ชุดทดลองธูปฤาษี					
- ธูปฤาษี-ธูปฤาษี	5	10	45-50	250-300	20-30
- ธูปฤาษี	5	10	45-50	220-280	10-40
ชุดทดลองกกรังกา					
- ธูปฤาษี-กกรังกา	5	10	45-50	200-290	10-40
- กกรังกา	10	20	80-90	120-210	40-90
ชุดทดลองพุทธรักษา					
- ธูปฤาษี-พุทธรักษา	5	10	45-50	210-280	20-30
- พุทธรักษา	5	8	20-25	100-140	20-25

* วันที่ 26 เมษายน 2567 ** วันที่ 16 พฤษภาคม 2567 *** วันที่ 20 ธันวาคม 2567

สรุป

การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ในการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซสังเคราะห์ พบว่าชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีพืชต่างชนิดกัน (ธูปฤาษี กกรังกา และพุทธรักษา) สามารถลดความสกปรกของน้ำเสียในรูปค่า COD และค่า Phenols ลงได้ มากไปกว่านั้นท้ายที่สุดเราควรต่อยอดพัฒนาระบบฯ ดังกล่าวให้สามารถใช้งานได้ในเชิงพาณิชย์และเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามข้อดีที่สุดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ คือสามารถใช้ประโยชน์ในแง่การปรับภูมิทัศน์ของพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2567

เอกสารอ้างอิง

[1] Basu, P. 2018. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory. Academic press.

[2] Ji, Z., Tang, W. and Pei, Y. 2022. Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal. Chemosphere. 286: 131564.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. 2549. โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์.

[4] APHA, AWWA, WEF. 2017. Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed.

[5] Kumar, S. and Dutta, V. 2019. Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: an overview. Environmental science and pollution research. 26(12): 11662-11673.

[6] Benny, C. and Chakraborty, S. 2020. Continuous removals of phenol, organics, thiocyanate and nitrogen in horizontal subsurface flow constructed wetland. Journal of Water Process Engineering. 33: 101099.

21R2-02

การเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ป่าดิบแล้ง

Comparison of Carbon Stock Using Allometric Equation for Common Tree Species and Dry Evergreen Forest

จักรกริช ไชยเนตร[1*] และ สุรีย์พร ธรรมิกพงษ์[2]

Jakkrit Chainet[1*] and Sureeporn Thummikkaphong[2]

[1*2] อาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000

โทรศัพท์ : 0-3850-0000, โทรสาร : 0-3850-0000, E-mail : chainet.jak@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยใช้สมการหามวลชีวภาพที่แตกต่างกันคือสมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ป่าดิบแล้ง โดยวิธีการวิจัยได้กำหนดเกณฑ์จำแนกชั้นภูมิของพื้นที่ป่าชุมชนบ้านเนินน้อย อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา ออกเป็น 2 ชั้นภูมิ ได้แก่ ชั้นภูมิที่ 1 ประเภทป่า และชั้นภูมิที่ 2 ระดับความสมบูรณ์ของป่า และทำการวางแปลงตัวอย่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40 x 40 เมตร จำนวน 16 แปลงตัวอย่าง โดยภายในแปลงตัวอย่างทำการเก็บข้อมูลต้นไม้ ได้แก่ ชนิด ขนาดความโตที่ระดับความสูงเพียงอก และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ใหญ่ที่มีความสูงเกิน 1.30 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ตั้งแต่ 4.50 เซนติเมตรขึ้นไป และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation: CV) เท่ากับ 0.18 จากการสำรวจพบพรรณไม้ใหญ่ ทั้งหมด 29 ชนิด 17 วงศ์ และจากการเคราะห์มวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้ดินโดยใช้สมการแอลโลเมตรีที่ต่างกัน พบว่า มวลชีวภาพที่ได้จากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้งมีปริมาณสูงกว่ามวลชีวภาพที่ได้จากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป โดยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้ง เท่ากับ 9,694 และ 2,617 กิโลกรัม ตามลำดับ และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับ 7,908 และ 2,135 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อนำมวลชีวภาพมาเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับ 21,216 และ 17,307 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 3,909 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับร้อยละ 18.43 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความมีสาระสำคัญ (Materiality) ในบริบทโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งกำหนดข้อผิดพลาดที่จะส่งผลต่อการแสดงข้อมูลก๊าซเรือนกระจกไว้ให้ความไม่สอดคล้องของข้อมูลที่มีผลให้การประเมินก๊าซเรือนกระจกคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลด/ดูดกลับได้ ฉะนั้นการเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีที่ไม่สอดคล้องกับประเภทสังคมพืชในพื้นที่จะส่งผลถึงความผิดพลาดของข้อมูลมวลชีวภาพและส่งผลถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

คำสำคัญ : การกักเก็บคาร์บอน; พรรณไม้ทั่วไป; ป่าดิบแล้ง; สมการแอลโลเมตรี; การเปรียบเทียบ

Abstract

The objective of study was to compare the biomass and carbon sequestration of trees by applying two different allometric equations, it's developed for common tree species and another specific to dry evergreen forest. The study was conducted in the Ban Noen Noi Community Forest, Tha Takiap District, Chachoengsao Province, where the forest area was classified based on two stratification criteria: (1) forest type and (2) forest condition. A total of 16 square sample plots (40 × 40 meters each) were systematically established. Within each plot, data were collected on tree species, diameter at breast height (DBH), and total tree height. Only trees taller than 1.30 meters with a DBH of at least 4.50 centimeters were included in the analysis. The coefficient of variation (CV) for the sampling was calculated at 0.18. A total of 29 tree species across families were recorded.Biomass was estimated using both above ground and below ground allometric equations. The results revealed that biomass estimates derived from the dry evergreen forest equation were higher than those calculated using the common tree species equation. Specifically, the above ground and below ground biomass using the dry evergreen forest equation amounted to 9,694 kg and 2,617 kg, respectively. In contrast, the common tree species allometric equation yielded above ground and below ground biomass values of 7,908 kg and 2,135 kg, respectively. When biomass values were converted to carbon sequestration, it was found that the total carbon sequestered using the dry evergreen forest equation was 21,216 kgCO_2eq, compared to 17,307 kgCO_2eq from the common equation resulting in a difference of 3,909 kgCO_2eq or approximately 18.43%. This difference exceeds the threshold of materiality defined under the Thailand Voluntary Emission Reduction Program (T-VER), which is managed by the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). The T-VER framework allows a maximum margin of error of ±5% for greenhouse gas estimation. Therefore, the use of an allometric equation that does not align with the specific forest type may lead to significant inaccuracies in biomass estimation and, consequently, in carbon sequestration calculations.

Keywords : carbon stock; common tree species; dry evergreen forest; allometric equation; aomparative analysis

บทนำ

ภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา โดยมีสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการทำลายพื้นที่ป่าไม้ (IPCC, 2021) [1] การสะสมของก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในระบบภูมิอากาศโลก นำไปสู่ผลกระทบในหลายมิติ ทั้งด้านความมั่นคงทางอาหาร น้ำ พลังงาน ความหลากหลายทางชีวภาพ และสุขภาพของมนุษย์ ด้วยเหตุนี้แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มแหล่งดูดซับคาร์บอนในระบบนิเวศจึงเป็นมาตรการสำคัญในการรับมือกับวิกฤตการณ์ดังกล่าว

ระบบนิเวศป่าไม้และสังคมพืชมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการดูดซับหรือกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามธรรมชาติ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งทำให้พืชสามารถดูดซับหรือกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและสะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือดินและใต้ดินรวมถึงการเพิ่มพูนของอินทรียวัตถุในดิน (Lal, 2004) [2] อย่างไรก็ตามศักยภาพในการกักเก็บกักเก็บคาร์บอนของแต่ละสังคมพืชมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ อายุ ความหนาแน่น โครงสร้างและสภาพแวดล้อมโดยรอบ (ชิงชัย, 2563) [3] การประเมินศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของพืชในแต่ละระบบนิเวศจึงเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกในระดับพื้นที่และระดับประเทศ ทั้งนี้ประเทศไทยในฐานะประเทศที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยตรง ได้ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้ การฟื้นฟูระบบนิเวศ และการ

ประเมินศักยภาพของทรัพยากรชีวภาพในการดูดซับคาร์บอน ตามชนิดป่าไม้เพื่อสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ในปี ค.ศ. 2050 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ปี ค.ศ. 2065

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรี (Allometric equation) ที่แตกต่างกัน ได้แก่สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ในป่าดิบแล้งเพื่อนำไปสู่การเปรียบเทียบศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลทางวิชาการสำหรับการเลือกใช้สมการในการประเมินคาร์บอนที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และสนับสนุนการวางแผนนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมในระดับชุมชนและระดับประเทศต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาวิจัยอยู่บริเวณป่าชุมชนบ้านเนินน้อย อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยการวางแปลงสำรวจได้กำหนดเกณฑ์จำแนกชั้นภูมิของพื้นที่ศึกษาวิจัย ออกเป็น 2 ชั้นภูมิ ได้แก่ ชั้นภูมิที่ 1 ประเภทป่า และชั้นภูมิที่ 2 ระดับความสมบูรณ์ของป่า และทำการวางแปลงตัวอย่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40 x 40 เมตร จำนวน 16 แปลงตัวอย่างและภายในแปลงตัวอย่างทำการเก็บข้อมูลต้นไม้ ได้แก่ ชนิด ขนาดความโตที่ระดับความสูงเพียงอก และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ใหญ่ (Tree) ที่มีความสูงเกิน 1.30 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ตั้งแต่ 4.50 เซนติเมตรขึ้นไป และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation: CV) โดยค่า CV ไม่เกินร้อยละ 25 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยืนต้นโดยใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไป (Ogawa et al.,1965) [4] และเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยืนต้นใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ป่าดิบแล้ง (Tsutsumi et al.,1983) [5] เคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินและสัดส่วนคาร์บอนของไม้ยืนต้น (IPCC, 2006) [6] และเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ป่าดิบแล้งจากการเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น โดยใช้ปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมด สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น และสัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอน

สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ป่าดิบแล้ง แสดงดังนี้

พรรณไม้ทั่วไป	$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.933}$	Ogawa et al.(1965)
	$W_B = 0.00349 (D^2H)^{1.030}$	
	$W_L = (28/ (W_S + W_B)) + 0.025)^{-1}$	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	
ป่าดิบแล้ง	$W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$	Tsutsumi et al.(1983)
	$W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$	
	$W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม)
W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)
W_L = มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัม)
W_T = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)
D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
H = ความสูง (เมตร)

ทั้งนี้มวลชีวภาพใต้ดินใช้สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อลำต้น เท่ากับร้อยละ 27.0 และค่าเฉลี่ยของคาร์บอนในเนื้อเยื่อไม้ทั้งหมดใช้สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพ เท่ากับร้อยละ 47.0 ดังนั้นปริมาณการกักเก็บคาร์บอน แสดงดังนี้

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ($kgCO_2eq$) = มวลชีวภาพทั้งหมด (กก.) x 0.47 x (44/12)

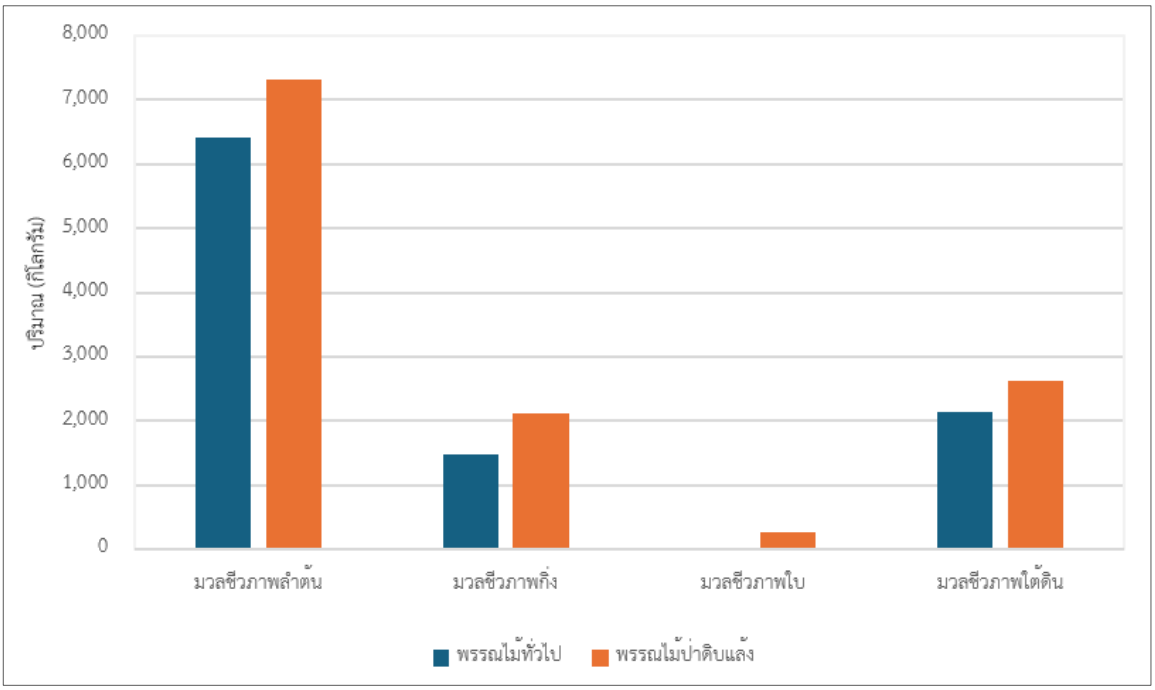
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการกำหนดเกณฑ์จำแนกชั้นภูมิของพื้นที่ป่าชุมชนบ้านเนินน้อย อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา ออกเป็น 2 ชั้นภูมิ ได้แก่ ชั้นภูมิที่ 1 ประเภทป่า และชั้นภูมิที่ 2 ระดับความสมบูรณ์ของป่า และทำการวางแปลงตัวอย่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40 x 40 เมตร จำนวน 16 แปลงตัวอย่างโดยภายในแปลงตัวอย่างทำการเก็บข้อมูลต้นไม้ ได้แก่ ชนิด ขนาดความโตที่ระดับความสูงเพียงอก และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ใหญ่ (Tree) ที่มีความสูงเกิน 1.30 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ตั้งแต่ 4.50 เซนติเมตรขึ้นไป จากการวางแปลงสำรวจคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation: CV) เท่ากับ 0.18 พบพรรณไม้ใหญ่ (Tree) ทั้งหมด 29 ชนิด 17 วงศ์ แสดงดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รายชื่อพรรณไม้ที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านเนินน้อย อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา

ลำดับ	ชนิดพันธุ์ไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์
1	กระบก	*Irvingia malayana*	Irvingiaceae
2	กระบาก	*Anisoptera costata*	Dipterocarpaceae
3	กะทังใบใหญ่	*Litsea grandis*	Lauraceae
4	ขันทองพยาบาท	*Suregada multiflora*	Euphorbiaceae
5	ตะโกพนม	*Diospyros castanea*	Ebenaceae
6	ตะคร้ำ	*Garuga pinnata*	Burseraceae
7	ตะแบก	*Lagerstroemia floribunda*	Lythraceae
8	ตาตุ่มตรี	*Triadica cochinchinensis*	Euphorbiaceae
9	ติ้ว	*Cratoxylum cochinchinense*	Hypericaceae
10	นนทรี	*Peltophorum pterocarpum*	Fabaceae
11	ประดู่	*Pterocarpus macrocarpas*	Fabaceae
12	เปล้าใหญ่	*Croton persimilis*	Euphorbiaceae
13	พลองเหมือด	*Memecylon edule*	Melastomataceae
14	พลับพลา	*Microcos tomentosa*	Malvaceae
15	มะกอกป่า	*Spondias pinnata*	Anacardiaceae
16	มะขาม	*Tamarindus indica*	Fabaceae
17	มะเดื่ออุทุมพร	*Ficus racemosa*	Moraceae
18	มะหาด	*Artocarpus lacucha*	Moraceae
19	ยางโอน	*Monoon viride*	Annonaceae
20	ราชพฤกษ์	*Cassia fistula*	Fabaceae
21	ลำดวน	*Melodorum fruticosum*	Annonaceae
22	ลำพูป่า	*Duabanga grandiflora*	Lythraceae
23	ส้มกบ	*Bischofia javanica*	Phyllanthaceae
24	สีเสียดแก่น	*Acacia catechu*	Fabaceae
25	แสมสาร	*Cassia garrettiana*	Caesalpiniaceae
26	หมีเหม็น	*Litsea glutinosa*	Lauraceae
27	หยี	*Dialium cochinchinense*	Fabaceae
28	เหมือดหอม	*Symplocos racemosa*	Symplocaceae
29	อะราง	*Peltophorum dasyrachis*	Fabaceae

จากการวิเคราะห์มวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้ดินโดยใช้สมการแอลโลเมตรีที่ต่างกัน พบว่า มวลชีวภาพที่ได้จากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้งมีปริมาณสูงกว่ามวลชีวภาพที่ได้จากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป (รูปที่ 1) โดยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้ง เท่ากับ 9,694 และ 2,617 กิโลกรัม ตามลำดับ และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับ 7,908 และ 2,135 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อนำมวลชีวภาพมาเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับ 21,216 และ 17,307 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างปริมาณกการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 3,909 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นความแตกต่าง เท่ากับ ร้อยละ 18.43 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความมีสาระสำคัญ (Materiality) ในบริบทโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งกำหนดข้อผิดพลาดที่จะส่งผลต่อการแสดงข้อมูลก๊าซเรือนกระจกไว้ให้ความไม่สอดคล้องของข้อมูลที่มีผลให้การประเมินก๊าซเรือนกระจกคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลด/ดูดกลับได้ ฉะนั้นการเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีที่ไม่สอดคล้องกับประเภทสังคมพืชในพื้นที่จะส่งผลถึงความผิดพลาดของข้อมูลมวลชีวภาพและส่งผลถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอน



รูปที่ 1 มวลชีวภาพพรรณไม้ทั่วไปและพรรณไม้ป่าดิบแล้ง

สรุป

จากการสำรวจพบพรรณไม้ใหญ่ ทั้งหมด 29 ชนิด 17 วงศ์ และจากการเคราะห์มวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้ดินโดยใช้สมการแอลโลเมตรีที่ต่างกัน พบว่า มวลชีวภาพที่ได้จากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้งมีปริมาณสูงกว่ามวลชีวภาพที่ได้จากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป โดยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้ง เท่ากับ 9,694 และ 2,617 กิโลกรัม ตามลำดับ และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับ 7,908 และ 2,135 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อนำมวลชีวภาพมาเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ป่าดิบแล้งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการใช้สมการแอลโลเมตรีที่ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับ 21,216 และ 17,307 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 3,909 กิโลกรัม

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับร้อยละ 18.43 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความมีสาระสำคัญ (Materiality) ในบริบทโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งกำหนดข้อผิดพลาดที่จะส่งผลต่อการแสดงข้อมูลก๊าซเรือนกระจกไว้ให้ความไม่สอดคล้องของข้อมูลที่มีผลให้การประเมินก๊าซเรือนกระจกคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ของผลรวมปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลด/ดูดกลับได้ ฉะนั้นการเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีที่ไม่สอดคล้องกับประเภทสังคมพืชในพื้นที่จะส่งผลถึงความผิดพลาดของข้อมูลมวลชีวภาพและส่งผลถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนงบประมาณเพื่อทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ และขอขอบคุณศูนย์ศึกษาและพัฒนาวนเกษตรผู้ใหญ่วิบูลย์ เข็มเฉลิม มูลนิธิอีสต์ ฟอรั่ม ที่ช่วยประสานงาน อนุเคราะห์การลงพื้นที่เก็บรวบรวมและร่วมสำรวจข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University.

[2] Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 304 (5677), 1623-1627.

[3] ชิงชัย วิริยะบัญชา. 2563. คู่มือการศึกษาแหล่งสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าธรรมชาติ. กลุ่มงานวิจัยระบบนิเวศป่าไม้และสิ่งแวดล้อม, สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

[4] Ogawa, H., K. Yoda, K. Oginoand T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant Biomass. Nature and Life in Southeast Asia 4 : 49-80.

[5] Tsutsumi T., K. Yoda, P. Sahunalu, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. Forest : Felling, Burning and Regeneration. In Shifting cultivation. An experiment at Nam Phrom,Thailand and its implications for upland farming in the monsoon Tropics. Edited by K. kyuma and C. Pairintra. p. 13-62.

[6] IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 : Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4 : Forest Land.The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.

21R2-03

การนำแอมโมเนียมกลับจากน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

Application of Microbial Fuel Cells for Ammonium Recovery from Domestic Wastewater

พีรวัฒน์ ยอดกมลศาสตร์[1] Tomohide Watanabe[2] Keiichi Kubota[3] วิลาสินี อยู่ชัชวาล[4*]
Peerawat Yodkamonsart[1] Tomohide Watanabe[2] Keiichi Kubota[3] Wilasinee Yoochatchaval[4*]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา และ [4*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]Prof. and [3]Asst. Prof. Department of Environmental Engineering Science, Gunma University, Japan
โทรศัพท์ : 02-797-0999#102, E-mail : wilasinee.yo@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสภาวะที่เหมาะสมในการเคลื่อนผ่านของแอมโมเนียม (NH_4^+) จากห้องแอโนดผ่านเมมเบรนเลือกผ่านแคตไอออน (CEM) ไปสู่ห้องแคโทดในระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (MFCs) ด้วยการทดลองแบบชุดโดยใช้ตัวต้านทานขนาด 1500 Ω, 200 Ω, และ 0 Ω ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของ NH_4^+ เริ่มต้น 20 mg-N L^{-1} และการทดลองแบบต่อเนื่องเพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ MFCs ในการสร้างกระแสไฟฟ้า การกำจัด COD และการนำ NH_4^+ กลับจากน้ำเสียชุมชน ผลลัพท์ของการทดลองแบบชุดแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความต้านทานภายนอกส่งผลให้ NH_4^+ ในห้องแคโทดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเพิ่มความต้านทานภายนอกส่งผลให้เพิ่มได้รับความเสถียรของแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น การทดลองแบบต่อเนื่องพบว่าการสร้างกระแสไฟฟ้าไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด COD โดยประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดของระบบ MFCs วงจรปิดและวงจรเปิดคือ 80.98% และ 76.65% ตามลำดับ นอกจากนี้ความเข้มข้นของ NH_4^+ ในห้องแคโทดของระบบ MFCs แบบวงจรปิดสูงกว่า MFCs แบบวงจรเปิด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงที่ 1-5 ของระบบ MFCs วงจรปิดคือ 546.21, 570.65, 555.80, 545.8 และ 533.1 mV ตามลำดับ และ Power Density คือ 20.04, 21.81, 21.01, 19.99, และ 18.99 mW m^{-2} ในส่วนของ Coulombic efficiency (%) ในช่วงที่ 3-5 คือ 2.35, 2.17% และ 2.12% การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า MFCs มีความสามารในการสร้างกระแสไฟฟ้าและสามารถกู้คืนแอมโมเนียมกลับมา ถึงอย่างนั้น ระบบ MFCs ยังมีต้นทุนที่สูง ความสามารถในการสร้างกระแสไฟฟ้าและการกู้คืนแอมโมเนียมยังไม่คุ้มค่า และประสิทธิภาพของระบบลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

คำสำคัญ : การนำกลับแอมโมเนียม; เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ; น้ำเสียชุมชน; ระบบบำบัดน้ำเสีย; MFCs; แอมโมเนียม

บทนำ

แอมโมเนียม (Ammonium; NH_4^+) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สามารถพบได้ในน้ำเสียชุมชน เมื่อปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำสาธารณะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) วิธีการกำจัดแอมโมเนียมจากน้ำเสียชุมชนสามาถทำได้ทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ โดยวิธีการกำจัดแอมโมเนียมทางเคมี เช่น การใช้คลอลีน (Chlorination), electrochemical oxidation, photo-electrocatalysis และการตกตะกอนสตูไวท์ซึ่งเป็นทั้งวิธีการกำจัดและการนำแอมโมเนียมกลับจากสารละลาย อย่างไรก็ตามการกำจัดแอมโมเนียมด้วยวิธีการทางเคมีมีต้นทุนสำหรับสารเคมีสูงเนื่องจากความไม่เหมาะสมของไอออนที่พบในน้ำเสีย การกำจัดแอมโมเนียมทางกายภาพ เช่น Air stripping, Reverse osmosis, Ion exchange, Electrodialysis และการบำบัดด้วย gas-permeable membranes วิธีการทางกายภาพมีประสิทธิภาพสูงในการนำแอมโมเนียมกลับจากน้ำเสีย แต่มีความต้องการทรัพยากรและพลังงานสูง วิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีการกำจัดและนำกลับแอมโมเนียมได้อย่างยั่งยืนและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีการทางเคมีและทางกายภาพ โดยทั่วไปจะใช้การกำจัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดิไนตริฟิเคชัน

(Nitrification-denitrification) ซึ่งกระบวนการนี้มีข้อจำกัดในการเดินระบบและจำเป็นต้องใช้พลังงานสูง [1] การนำแอมโมเนียมกลับมาจากน้ำเสียจึงเป็นวิธีที่มีความยั่งยืนมากกว่าการกำจัดแอมโมเนียม เนื่องจากแอมโมเนียมเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สำคัญในการผลิตปุ๋ย

เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial Fuel Cells; MFCs) เป็นระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของจุลินทรีย์ภายในห้องแอโนดกับสารอินทรีย์ที่ฟีดเข้าสู่ระบบ เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนภายในห้องแอโนด ดังสมการที่ 1 [2]จากนั้นอิเล็กตรอนถูกเคลื่อนย้ายจากห้องแอโนดไปสู่ห้องแคโทดด้วยอิเล็กโทรดของห้องแอโนดไปสู่อิเล็กโทรดของแคโทดโดนผ่านวงจรภายนอกที่เชื่อมต่อกับ electrode ของทั้งสองห้อง หลังจากนั้นเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นภายในห้องแคโทด ดังสมการที่ 2 [2] ส่งผลให้ MFCs เป็นระบบบที่สามารถนำแอมโมเนียมกลับมาจากน้ำเสียและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ระบบ MFCs สามารถกำจัด COD ได้ถึง 90% กำจัดไนโตรเจนได้ 40-60% [3] และยังสามารถนำกลับแอมโมเนียมจากน้ำเสียที่มียูรีนในอัตรา 3.29 $g_N\ d^{-1}\ m^{-2}$ [4]

$$ANODE: CH_3COO^- + 4H_2O \rightarrow 2HCO_3^- + 9H^+ + 8e^- \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$CATHODE: O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \quad \text{สมการที่ 2}$$

หลักการเคลื่อนย้ายของแอมโมเนียมจากห้องแอโนดผ่าน CEM ไปสู่ห้องแคโทด นั้นยังไม่แน่ชัดว่าเกิดจากการแพร่ (diffusion) เพื่อให้ความต่างของความเข้มข้นของสารละลายในห้องแอโนดและแคโทดลดลงจนถึงจุดอิ่มตัวของการเกิดปฏิกิริยา หรือการเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้า (migration) เพื่อรักษาความเป็นกลางของประจุภายในระบบ MFCs [5,6]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ 1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเคลื่อนผ่านของแอมโมเนียมในระบบ MFCs 2. ประเมินประสิทธิภาพของระบบ MFCs ในการสร้างกระแสไฟฟ้า 3. ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ MFCs ในการกำจัด COD และการนำแอมโมเนียมกลับจากน้ำเสียชุมชน โดยใช้ ระบบ MFCs แบบวงจรปิดและระบบ MFCs แบบวงจรเปิด

อุปกรณ์และวิธีการ

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่ (MFC double chamber) ที่มี 2 ห้องปฏิกร ประกอบด้วยห้องแอโนดและแคโทด ขนาด 160 mL ทำขึ้นจาก Acyl resin มีเมมเบรนเลือกผ่านแคตไอออน (CEM; SELEMION HSNF, AGC Engineering, Japan) ขนาด 80 x 40 mm^2 กั้นระหว่างห้องแคโทดและแอโนด แอโนดอิเล็กโทรดเป็นผ้าคาร์บอน (Carbon felt) ขนาด 50 x 50 mm^2 จำนวน 2 ชิ้น ยึดไว้ด้วยแท่งคาร์บอน (Carbon rod) แคโทดอิเล็กโทรดเป็นแผ่นคาร์บอน (Carbon plate) ขนาด 30 x 40 mm^2 เพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเคลือบ Pt-catalyst (0.5 mg-Pt cm^{-2}) และใช้ลวดไทเทเนียมผูกติดกับแท่งคาร์บอน จากนั้นเชื่อมต่อระบบกับวงจรภายนอกที่มีตัวต้านทาน 200 Ω และ 1500 Ω ตามการทดลองที่กำหนด เพื่อเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในห้องแอโทดไปสู่ห้องแคโทด และวงจรภายนอกเชื่อมต่อ Multimeter (Midi LOGGER GL240; GRAPHTEC, Japan) เพื่อตรวจวัดและเก็บข้อมูล Voltage output ที่เกิดขึ้นภายในระบบทุกๆ 1 ชั่วโมง จุลชีพที่ใช้ในระบบเป็นชนิด Electrogenic microorganism นำมาจากระบบ MFC single chamber นอกจากนี้ มีการใช้งาน magnetic stirrer ขณะเดินระบบ

การทดลองแบบชุด (Batch) ใช้ระบบ MFCs สองระบบ (MFC-A และ MFC-B) ทำการทดลองด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างความต้านทานภายนอกกับการย้ายถ่ายแอมโมเนียม และความสัมพันธ์ของเวลากับการย้ายถ่ายแอมโมเนียม โดยทั้ง MFC-A และ MFC-B ทำงานภายใต้สภาวะเดียวกัน ดังตารางที่ 1 จากนั้นเก็บตัวอย่างที่เวลา 6, 12, 24, 36, 48, 54 และ 60 h ทำการทดลอง 3 ชุด โดยเลือกความต้านทานภายนอก 0, 200, และ 1500 Ω เพื่อให้ได้ voltage outputs ของระบบอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการทดลองของ Sotres และคณะ [5]

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ทำการทดลองแบบชุด

Batch no.	Initial NH_4^+ (mg-N L^{-1})	Temperature (°C)	External resistance (Ω)
1	20	30	1500
2	20	30	200
3	20	30	0

การทดลองแบบต่อเนื่องใช้ระบบ MFCs สองระบบ คือ MFCs แบบวงจรปิดที่มีความต้านทานภายนอก 1500 Ω และระบบ MFCs แบบวงจรเปิดที่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อวงจรภายนอก ทำการทดลองด้วยการเติมน้ำเสียชุมชนเข้าสู่ห้องแอโนดอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการไหล 200 ml d^{-1} และ HRT ที่ 19.2 ชั่วโมง นอกจากนี้ ห้องแคโทดเชื่อมต่อกับถังเก็บกัก (Recovery tank) ปริมาตร 300 mL และมีการหมุนเวียนของตัวกลางระหว่างห้องแคโทดกับถังกักเก็บที่อัตราการไหล 18.50 mL h^{-1} โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 5 ช่วงการทดลอง (แบ่งช่วงจากการแทนที่ตัวกลางของห้องแคโทดเดิมที่รองรับแอมโมเนียมด้วยตัวกลางใหม่ที่ไม่มีแอมโมเนียม) ระยะเวลารวม 31 วัน

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เป็นตัวกลางสำหรับห้องแอโนดในการทดลองแบบชุดประกอบด้วย (อัตราส่วนต่อ 1 ลิตร); $CH_3COONa \cdot 3H_2O$, 2.04 g; NH_4Cl, 0.077g; $NaHCO_3$, 0.5 g; K_2HPO_4, 1.7 g; KH_2PO_4, 1.4 g; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.15; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.165 g; สารละลายแร่ธาตุ, 2 ml; สารละลายวิตามิน B, 2 ml ตัวกลางของห้องแคโทดที่ใช้สำหรับการทดลองทั้งหมดประกอบด้วย (อัตราส่วนต่อ 1 ลิตร) $NaHCO_3$, 0.5 g; K_2HPO_4, 1.7 g; KH_2PO_4, 1.4 g; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.15; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.165 g; สารละลายแร่ธาตุ, 2 ml; สารละลายวิตามิน B, 2 ml นอกจากนี้ ตัวกลางสำหรับห้องแอโนดในการทดลองแบบต่อเนื่อง ใช้น้ำเสียชุมชนเติมสาร $CH_3COONa \cdot 3H_2O$, 2.04 g L^{-1} ก่อนใช้จริงในระบบ

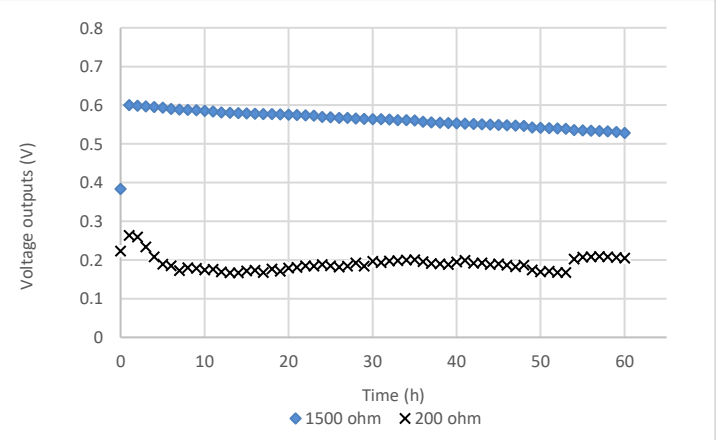
การวิเคราะห์ COD วิเคราะห์ด้วย (HACH DR 2800) ส่วนการวิเคราะห์ TOC และ TN วิเคราะห์ด้วย (Shimadzu TOC-L analyzer, Japan) สำหรับ NH_4^+ วิเคราะห์ด้วยวิธี Coulometric titration method (AT-2000, Central Kagaku Corp., Japan) และแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ผ่านความต้านทานภายนอก (Ω) ถูกบันทึกทุก 60 นาที โดยใช้มัลติมิเตอร์ (Midi LOGGER GL240, GRAPHTEC, Japan)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองแบบชุด (Batch)

การทดลองแบบชุด ทำการทดลองด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมเริ่มต้น 20 mg-N L^{-1} พบว่าการเพิ่มความต้านทานภายนอกส่งผลให้การเคลื่อนย้ายของแอมโมเนียมจากห้องแอโนดไปยังห้องแคโทดผ่านเมมเบรนแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEM) เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในห้องแคโทดของระบบ MFCs ที่ความต้านทานภายนอก 1500 Ω มีความเข้มข้นมากกว่า 46% และ 65% ของระบบ MFCs ที่มีความต้านทานภายนอก 200 Ω และ 0 Ω ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 0.95 ซึ่งผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Stores และคณะ [5] ที่ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมด้วยน้ำเสียสังเคราะห์และใช้ Phosphate buffer เป็น catholyte และพบว่าการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ 0.3V และ 0.6V ส่งผลให้แอมโมเนียมเคลื่อนผ่านเมมเบรนเลือกผ่านแคตไอออน (CEM) ได้ 39.9% และ 44.6% ตามลำดับ แต่ถึงอย่างนั้น Liu และคณะ [6] ได้กล่าวว่าการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมผ่าน CEM ยังไม่แน่ชัดว่าเกิดจากการแพร่ (diffusion) หรือ การเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้า (migration)

นอกจากนี้ การเพิ่มความต้านทานภายนอกยังส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้น โดยแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของความต้านทานภายนอก 200 Ω ในช่วงการทำงาน 0-60 ชั่วโมง คือ 190 mV และความเสถียรของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่คงที่ ในขณะที่ความต้านทานภายนอก 1500 Ω แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ คือ 560 mV และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เดินระบบ แต่ความดันไฟฟ้าที่ได้มีความเสถียรมากกว่า(รูปที่ 1) การทดลองแบบชุดแสดงให้เห็นว่าความต้านทานภายนอกที่ 1500 Ω และระยะเวลาใน 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญในการเคลื่อนผ่านของแอมโมเนียมผ่าน CEM และได้รับความเสถียรของแรงดันไฟฟ้ามากกว่าความต้านทานภายนอก 200 Ω และ 0 Ω



รูปที่ 1 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบ MFCs ในการทดลองแบบชุด

การทดลองแบบต่อเนื่อง

ผลการทดลองแบบต่อเนื่องเปรียบเทียบระหว่างระบบ MFCs แบบวงจรปิดที่มีความต้านทานภายนอก 1500 Ω และระบบ MFCs แบบวงจรเปิดที่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อวงจรภายนอก ทำการทดลองด้วยน้ำเสียชุมชน ระยะเวลาการทดลอง 1 เดือน (5 ช่วงการทดลอง) พบว่าประสิทธิภาพของ MFCs ในการกำจัดแอมโมเนียมยังไม่เสถียร โดยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมสูงสุดในระบบ MFCs วงจรปิดและวงจรเปิดคือ 45.89% และ 39.94% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัด COD มีแนวโน้มคงที่ในช่วงวันที่ 25-31 ของการทดลองสำหรับทั้ง MFCs วงจรปิดและวงจรเปิด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดของระบบ MFCs วงจรปิดและวงจรเปิดคือ 80.98% และ 76.65% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัด COD เริ่มมีความเสถียรภายในเดือนแรกของการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ye และคณะ [7] ที่ทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นแอมโมเนียมตั้งต้นต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และการนำกลับแร่ธาตุด้วยระบบ MFCs โดยการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ขึ้นอยู่กับ electrogenic และ non-electrogenic bacterial ในห้องแอโนด แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงที่ 1-5 ของระบบ MFC วงจรปิดคือ 546.21, 570.65, 555.80, 545.8 และ 533.1 mV ตามลำดับ และ Power Density คือ 20.04, 21.81, 21.01, 19.99, และ 18.99 mW m^{-2} ในส่วนของ Coulombic efficiency (%) ในช่วงที่ 3-5 คือ 2.35, 2.17% และ 2.12% (ไม่สามารถคำนวณ Coulombic efficiency ในช่วงที่ 1 และ 2 ได้เนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดของเครื่องมือวิเคราะห์) ซึ่งผลลัพท์ของการทดลองแบบต่อเนื่องบ่งชี้ว่าประสิทธิภาพในด้านของการสร้างกระแสไฟฟ้าของระบบ MFCs ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด COD ในช่วงที่ 3-5 ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับและเกิดความไม่เสถียร ประสิทธิภาพในการกำจัด COD เพิ่มขึ้น บ่างชี้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของไบโอฟิล์มจุลินทรีย์บนอิเล็กโทรดของห้องแอโนด ซึ่งอาจส่งผลให้พื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดของห้องแอโนดลดลง [8] ทำให้ประสิทธิภาพในการขนถ่ายอิเล็กตรอนของอิเล็กโทรดของห้องแอโนดลดลงและเกิดความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับและเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบในด้านการกำจัด COD และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการศึกษานี้ยังต่ำกว่าการศึกษาอื่น [4,5,7] r. = not reported.

นอกจากนี้ ช่วงที่ 1 ของการทดลองเป็นช่วงเริ่มต้นระบบจึงเดินระบบด้วยสภาวะเดียวกันทั้ง (มีการเชื่อมต่อระบบเข้ากับวงจรภายนอกทั้งสองระบบ) และช่วงที่ 4-5 พบการก่อตัวของของแข็งขึ้นด้านในท่อหมุนเวียนระหว่างห้องแคโทดและถังกักเก็บ ดังนั้นข้อมูลช่วงที่ 1, 4, และ 5 จึงไม่นำมาวิเคราะห์ โดยผลของช่วงการทดลองที่ 2-3 พบว่าความเข้มข้นแอมโมเนียมในห้องแคโทดของ MFCs แบบวงจรปิดสูงกว่าระบบ MFCs วงจรเปิดอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p-value = 0.523, 0.471 ตามลำดับ) ซึ่งผลลัพท์นี้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าการสร้างกระแสไฟฟ้าของระบบ MFCs มีผลต่อการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมผ่านเมมเบรนเลือกผ่าน (CEM) แต่ถึงอย่างนั้น Kuntkea และคณะ [4] ได้กล่าวว่าการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมจากห้องแอโนดไปสู่ห้องแคโทดเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม มีงานวิจัยอื่นที่กล่าวว่าการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมผ่านเมมเบรนเลือกผ่านยังไม่แน่ชัดว่าเกิดจากการแพร่ (diffusion) หรือการเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้า (migration) [6]

การนำแอมโมเนียมกลับมาน้ำผ่านระบบ MFCs ในรูปของสตูไวท์

การนำแอมโมเนียมกลับมาจากน้ำตัวอย่างในห้องแคโทดของการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยวิธีการตกตะกอนสตูไวท์ (MAP) ใช้วิธีการดุลปริมาณสารสัมพันธ์ของ Mg^{+}, NH_4^{+} และ PO_4^{3-} ดังสมการที่ 3 [1] ในสภาวะด่างที่ช่วง pH 8.5-9 [1] โดยขั้นตอนการทำการทดลอง ดังนี้ 1. ทำการตรวจวัด NH_4^{+} ตั้งต้น 2.ดุลปริมาณสารสัมพันธ์ 3.ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 8.5-9 และปั่นกวนเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ 4. กรองตะกอน MAP ด้วยกระดาษกรอง 5. ตรวจวัดความเข้มข้นของ NH_4^{+} ในสารละลายหลังกรอง พบว่าในระยะเวลา 30 นาที แอมโมเนียมลดลง 70.43% และเมื่อระยะเวลาเกิดปฏิกิริยาที่ 60 นาที แอมโมเนียมในน้ำเสียลดลง 88.3% ผลการวิเคราะห์ XRD ของผลึกที่ได้จากการทดลองปรากฏพีคใกล้เคียงของสตูไวท์

$$PO_4^{3-} + NH_4^{+} + OH^{-} + 6H_2O \rightarrow MgNH_4PO_4 \bullet 6H_2O \downarrow$$ สมการที่ 3

สรุป

การทดลองแบบชุดแสดงให้เห็นว่าความต้านทานภายนอก 1500 Ω และระยะเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง มีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมผ่านเมมเบรนเลือกผ่านแคตไอออน นอกจากนี้ การเพิ่มความต้านทานภายนอกส่งผลให้การเคลื่อนย้ายแอมโมเนียมจากห้องแอโนดไปยังห้องแคโทดเพิ่มขึ้นและได้แรงดันไฟฟ้าที่เสถียรมากขึ้น ส่วนการทดลองแบบต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าระบบ MFCs แบบวงจรปิดมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในด้านการกำจัดแอมโมเนียมและอัตราการกู้คืน อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าการเดินระบบ MFCs แบบปิดวงจรมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญในด้านการเคลื่อนที่ของแอมโมเนียมจากห้องแอโนดไปสู่ห้องแคโทดผ่าน CEM ประสิทธิภาพของ MFCs ในการสร้างแรงดันไฟฟ้าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด COD บ่งชี้ว่าไบโอฟิล์มจุลินทรีย์ในอิเล็กโทรดของห้องแอโนดเพิ่มขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้แรงดันไฟฟ้าและความเสถียรของแรงดันไฟฟ้าลดงลง นอกจากนี้ ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของไบโอฟิล์มใน MFCs การทดลองนำแอมโมเนียมกลับจากระบบ MFCs ด้วยวิธีการตกตะกอนสตูไวท์มีประสิทธิภาพสูงถึง 88.3% การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า MFCs มีความสามารถในการสร้างกระแสไฟฟ้าและสามารถกู้คืนแอมโมเนียมกลับมาในรูปของแข็งสตูไวท์ด้วยวิธีการตกตะกอน ถึงอย่างนั้น ระบบ MFCs ยังมีต้นทุนที่สูง และความสามารถในการสร้างกระแสไฟฟ้าและการกู้คืนแอมโมเนียมยังไม่คุ้มค่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณไปยังองค์การสนับสนุนนักศึกษาแห่งประเทศญี่ปุ่น (JASSO) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และบุคลากรจาก Gunma University ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Ye, Y., Ngo, H.H., Guo, W., Liu, Y., Chang, S.W., Nguyen, D.D., Liang, H., Wang, J., 2018. A critical review on ammonium recovery from wastewater for sustainable wastewater management, Bioresource Technology (2018).

[2] Galeano, M.B., Sulonen, M., Ul, Z., Baeza, M., Baeza, J.A., Guisasola, A., 2023. Bioelectrochemical ammonium recovery from wastewater: A review. Chemical Engineering Journal 472 (2023) 144855.

[3] Burns, M., Qin, M., 2023. Ammonia recovery from organic nitrogen in synthetic dairy manure with a microbial fuel cell. Chemosphere. 325, 138388.

[4] Kuntkea, P., Smiech, K.M., Bruning, H., Zeeman, G., Saakes, M., Sleutelsa, T.H.J.A., Hamelersa, H.V.M., Buisman, C.J.N., 2012. Ammonium recovery and energy production from urine by a microbial fuel cell. WATER RESEARCH 46 (2012) 2627-2636.

[5] Sotres, A., Cerrillo, M., Viñas, M., Bonmatí, A., (2015). Nitrogen recovery from pig slurry in a two-chambered bioelectrochemical system. Bioresource Technology 194 (2015) 373–382.

[6] Liu, Y., Qin, M., Shuai Luo, S., He, Z., Qiao, R., 2016. Understanding Ammonium Transport in Bioelectrochemical Systems towards its Recovery. SCIENTIFIC REPORTS 6:22547.

[7] Ye, Y., Ngo, H.H., Guo, W., Chang, S.W., Nguyen, D.D., Liu, Y., Ni, B-J., Zhang X., 2019. Microbial fuel cell for nutrient recovery and electricity generation from municipal wastewater under different ammonium concentrations. Bioresource Technology 292 (2019) 121992.

[8] LOGAN, B.E., HAMELERS, B., ROZENDAL, R., SCHRODER, U., KELLER, J., FREGUIA, S., AELTERMAN, P., VERSTRAETE, W., RABAEY, K., 2006. Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY. 2006., Vol. 40, No. 17, 5181-5192

21R2-04

การกำจัดสีอินดิโกคาร์มีนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น

Decolorization of Indigo Carmine by Photocatalyst with Upflow Reactor

เอกปวีร์ ชื่นอารมย์[1] และ สัญญา สิริวิทยาปกรณ์[2*]
Akephawee Chuenarrom[1] and Sanya Sirivithayapakorn[2*]
1นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]รองศาสตราจารย์; ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900[*]
[*]โทรศัพท์ : 090 9983555, โทรสาร : 02-579-0730, E-mail : akephawee.ch@ku.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดขนาดเล็ก เช่น ลานย้อมผ้าท้องถิ่นในชุมชน ซึ่งแม้จะไม่ได้อยู่ภายใต้ข้อบังคับทางกฎหมายให้มีการบำบัดน้ำเสีย แต่กลับส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือน้ำเสียจากลานย้อมผ้าสามารถปนเปื้อนแหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดการสะสมของสารเคมีและสีที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศในพื้นที่ โดยข้อมูลจากการสำรวจเบื้องต้นพบว่า แหล่งย้อมผ้าระดับชุมชนในประเทศไทยมีปริมาณการใช้น้ำอยู่ในช่วงประมาณ 3,000 ถึง 20,000 ลิตรต่อเดือน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงภาระของการใช้น้ำและศักยภาพในการเกิดน้ำเสียที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีในน้ำ โดยการใช้กระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น โดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อทดลองใช้ในการกำจัดสีในน้ำ โดยสีที่ใช้ในการทดลอง คือ อินดีโก้ คาร์มีน (Indigo carmine) ที่ความเข้มข้น 20,000 ppm ถังปฏิกรณ์มีความสูง 165 cm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5 cm. ทิศทางการไหลของน้ำภายในถังคือไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน มีอัตราการไหลภายในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 0.84 L/min นำมาทดลองในสภาวะที่ไม่มีแสงและในสภาวะที่มีแสง ซึ่งได้ผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นโดยใช้ผงนาโนไทเทเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถกำจัดสีในน้ำได้มีประสิทธิภาพที่เพียงพอ โดยจากการตรวจวัด Absorbance ด้วยเครื่องSpectrophotometer นั้นมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในระยะเวลาอันรวดเร็ว

คำสำคัญ : โฟโตคะตะลิสท์; ปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น; ไทเทเนียมไดออกไซด์; อินดีโก้ คาร์มีน

Abstract

Currently, wastewater issues arising from small-scale sources, such as local fabric dyeing yards within communities, has emerged as a significant environmental concern. Although such sources are not subject to legal mandates requiring wastewater treatment systems, their impact on the local environment is nonetheless substantial. Specifically, the discharge from these dyeing operations has the potential to contaminate natural water bodies, resulting in the accumulation of chemical substances and dyes that degrade water quality and disrupt local ecosystems. According to preliminary survey data, community-level fabric dyeing facilities in Thailand consume approximately 3,000 to 20,000 liters of water per month. This highlights both the significant burden of water usage and the potential for wastewater generation, underscoring the necessity for appropriate and effective wastewater management measures.

The color used in the experiment was Indigo carmine at a concentration of 20,000 ppm. The reactor tank had a height of 16 5 cm. and a diameter of 19.5 cm. The direction of water flow inside the tank was flowing from bottom to top. The flow rate inside the reactor was 0.84 L/min. The experiments were carried out under non-light and light conditions. The experimental results showed that the decolorization by photocatalyst with upflow reactor using nano titanium powder as a catalyst was achieved. can remove the color in the water with sufficient efficiency from the measurement of absorbance by spectrophotometer, it tends to decrease significantly in a short period of time.

Keywords : Photocatalyst; Upflow reactor; Titanium dioxide; Indigo carmine

บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียในระดับต้นแบบ(pilot scale) โดยใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกมาทดสอบกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสีIndigo carmine ซึ่งเป็นสีที่พบได้บ่อยในกระบวนการย้อมผ้าของชุมชน การทดลองนี้มุ่งประเมินประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสีออกจากน้ำ รวมถึงวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบดังกล่าวไปใช้งานจริงในชุมชนระดับเล็กหรือขนาดกลาง โดยจะทำการประเมินผลครอบคลุมในด้านประสิทธิภาพการบำบัด ความคุ้มค่า และความเหมาะสมในการใช้งานจริง ด้วยเจตนารมณ์ดังกล่าวงานวิจัยนี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่เพียงแต่ตอบสนองต่อปัญหามลพิษในชุมชน แต่ยังสนับสนุนการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ผ่านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงและเหมาะสมกับบริบทของชุมชนท้องถิ่น เพื่อเสริมสร้างคุณภาพชีวิตและความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

โฟโตคะตะไลซิสเป็นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงร่วมกับสารกึ่งตัวนำ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อผลิตอนุมูลอิสระที่สามารถทำลายโครงสร้างของโมเลกุลสีย้อมที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยระบุว่าโฟโตคะตะไลซิสสามารถย่อยสลายสีย้อมในกลุ่ม Azo, Reactive และ Anthraquinone ได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสง UV หรือ UV-LED ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมและชุมชนได้อย่างยั่งยืน (Chong et al., 2010; Kumar et al., 2024; Ngulube et al., 2024) [1] [2] [3]

Indigo Carmine เป็นตัวอย่างของสีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมผ้าฝ้ายและยีนส์ มีความเสถียรทางเคมี ย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ การศึกษาจำนวนมากพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถย่อยสลาย Indigo Carmine ได้ถึง 97–99% ภายใต้แสง UV หรือแสงที่มองเห็นได้ โดยกลไกหลักคือการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (•OH) และโฮล (h^+) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์สีย้อมจนกลายเป็นสารที่ปลอดภัย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Luan et al., 2022; Neto et al., 2020) [4] [5]

ไทเทเนียมไดออกไซด์เองเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติโดดเด่นด้านความเสถียร ไม่เป็นพิษ และสามารถดูดกลืนแสง UV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การดัดแปลงไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการเจือโลหะ เช่น Fe หรือผสมกับวัสดุอื่น เช่น คาร์บอนกัมมันต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแสงในช่วงที่มองเห็นได้ ทำให้สามารถใช้พลังงานแสงธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ (Sukhadeve et al., 2022; Irwan et al., 2016) [6] [7] ทั้งนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในระบบไฮบริดหรือปฏิกรณ์แบบเตียงคงที่เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานจริงในระดับชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (Hoffmann, 2015; Mendes Saggioro et al., 2016) [8] [9]

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Nano Titanium Dioxide, TiO_2)

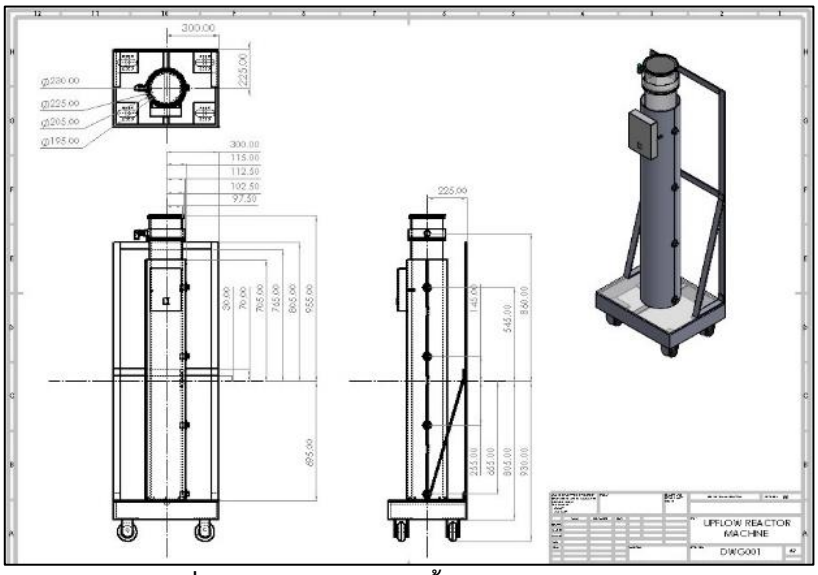
ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพสูงในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสง (Photocatalyst) โดยเฉพาะในรูปผลึกอนาเทส (anatase) ซึ่งเหมาะสมต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและสามารถดูดกลืนแสง UV ได้ดี อนุภาคขนาดนาโนช่วยเพิ่มการสัมผัสกับสีย้อมในน้ำเสีย ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ($\bullet OH$, h^+) ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chong et al., 2010) [1]

2. สี Indigo Carmine

Indigo Carmine (Sodium Indigotindisulfonate) เป็นสีย้อมสังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะในการย้อมผ้ายีนส์และผ้าฝ้าย มีคุณสมบัติเด่นคือความเสถียรสูง ละลายน้ำได้ดี และไม่ย่อยสลายง่ายในธรรมชาติ จึงมักใช้เป็นตัวแทนสีย้อมในการทดลองด้านการบำบัดน้ำเสีย (Luan et al., 2022) [4]

3. ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น (Upflow Reactor)

ถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบในครั้งนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกแนวตั้ง โดยมีขนาดและลักษณะสำคัญ คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (Ø) 19.5 cm. ,ความสูง (H) 165 cm. , รัศมี 9.75 cm. และมีอัตราการไหลภายในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 0.84 L/min ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น (Upflow Reactor) ดังแสดงในรูปที่ 1ได้ออกแบบการไหลของของเหลวให้ไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน เพื่อเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างของเหลว สารปนเปื้อน ตัวเร่งปฏิกิริยา และแหล่งกำเนิดแสงอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการนี้ช่วยให้กระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น (Upflow Reactor)

4. การติดตั้งแหล่งกำเนิดแสง UV-LED

แหล่งกำเนิดแสง UV-LED ถูกออกแบบให้ติดตั้งในตำแหน่งรอบตัวถังปฏิกรณ์ เพื่อให้แสงสามารถกระจายตัวได้ทั่วถึงในปริมาตรของถัง การใช้ UV-LED มีความเหมาะสมเนื่องจากสามารถให้แสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์และสีในน้ำเสีย สำหรับการติดตั้งในครั้งนี้ มีกำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ใช้ในการติดตั้ง UV-LED คือ 161.28 วัตต์

5. การหาความเร็วรอบที่เหมาะสมของปั๊มน้ำ

คำนวณอัตราการไหลที่สอดคล้องกับ Detention Time 1 ชม. โดยวัดปริมาตรน้ำ 100 ml ที่แต่ละรอบความเร็ว (50–100 rpm) แล้วหาค่า rpm ที่เหมาะสม ใช้ตามวิธีของ (Metcalf & Eddy.,2003) [10]

6. การทดลองการกระจายตัวของสีในถังปฏิกรณ์

เตรียมสารละลาย Indigo Carmine 6 g ใน 300 ml ฉีดเข้าในถังควบคุมที่ 90 rpm และเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 0–300 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 300 nm ดำเนินการตามแนวทางของ (APHA .,2012) [11]

7. การทดลองการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น

ผสม Indigo Carmine 6 g, ไทเทเนียมไดออกไซด์ 30 g และน้ำ 300 ml ฉีดเข้าในถัง ติดตั้งหลอด UV และเปิดเครื่องพร้อมกับปั๊ม 90 rpm เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเวลา และวิเคราะห์ค่า Absorbance ที่ 300 nm วิเคราะห์ตามแนวทางของ (Hoffmann, 2015) [8]

ผลการทดลองและวิจารณ์

การหาประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น จากการศึกษาทดลองกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น โดยสามารถแบ่งขั้นตอนในการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การทดลองการกำจัดสีย้อมในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น
2. การทดลองการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น

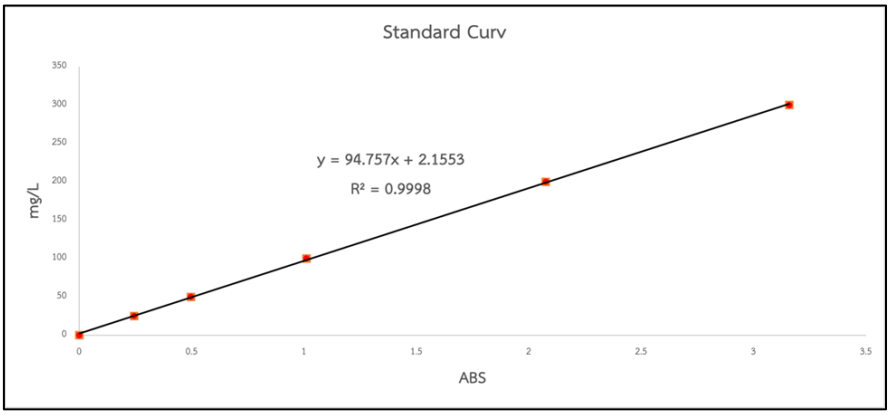
โดยมีผลการทดลองทั้งหมด ดังต่อไปนี้

1.ผลการกำจัดสีย้อมในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น

การทดลองกำจัดสีย้อมในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น มีตัวแปรที่ต้องศึกษา คือ อัตราการไหลของน้ำ ความเร็วรอบของปั๊ม ความเข้มข้นของสี ค่าการกระจายตัวของสี ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

1.1 ผลการศึกษาหาค่าความยาวคลื่นที่สีย้อมแต่ละชนิดดูดกลืนได้มากที่สุด พบว่าสามารถหาค่าความยาวคลื่นที่สีย้อมดูดกลืนแสงได้มากที่สุด คือ 300 nm

1.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสีย้อมการศึกษาทดลองนี้ใช้สารละลายสีย้อมสีอินดิโก้ คาร์มีน โดยเตรียมจากสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600 ppm แล้วนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น300 nm จะได้สมการเชิงเส้นของสีย้อม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงกราฟ Standard Curve

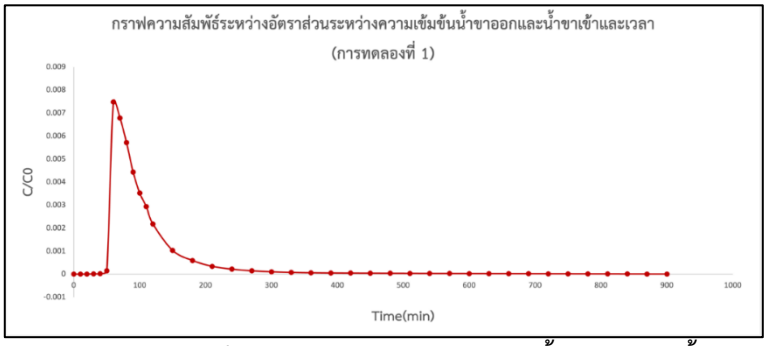
1.3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของสีในระบบแบบไหลขึ้นแสดงผ่านการวิเคราะห์ Residence Time Distribution (RTD) และค่าการกระจายตัว D (Levenspiel, O.1999) [12] ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของสี

ผลคำนวณการกระจายของสีย้อมในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น	
อัตราการไหล (Q)	0.84 L/min
ความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0)	20,000 mg/L
สีIndigoที่ใช้เริ่มต้น (N_0)	6,000 mg
Mean Residence Time (t_m)	143.5 min
Variance (σ^2)	6,224.3 min^2
Pe	5.40
ค่าการกระจายาตัว (D)	11.91 cm^2/min

2.ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิทต์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น

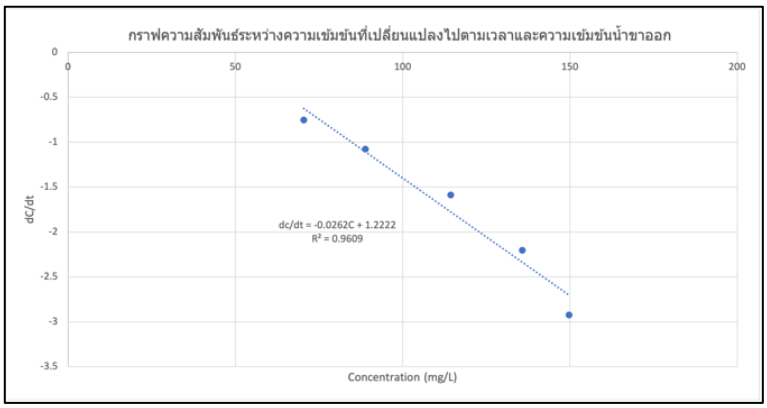
การศึกษานี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีในน้ำด้วยการใช้กระบวนการโฟโตคะตะลิสท์โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเตรียมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มที่มากที่สุดที่สีย้อมสามารถละลายน้ำได้ คือ 20,000 mg/L แล้วทำการทดสอบในถังปฏิกรณ์แบบไหลขึ้น ซึ่งมีการเก็บตัวอย่างที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 180, 210, 240, 270, 300 min จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการกำจัดสีมีผลการทดลองที่ได้มีดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3 รูปที่ 4 รูปที่ 5 รูปที่ 6



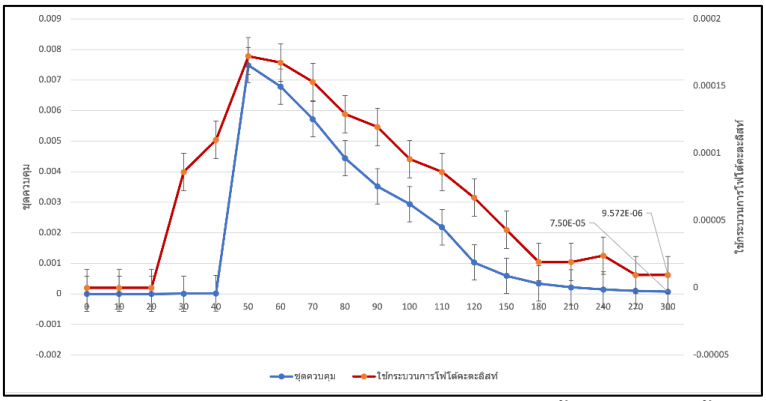
รูปที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นน้ำขาออกและน้ำขาเข้าและเวลา (ไม่ใช้กระบวนการโฟโตคะตะลิสท์)



รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นน้ำขาออกและน้ำขาเข้าและเวลา (ใช้กระบวนการโฟโตคะตะลิสท์โดยใช้ผงไทเทเนียมไดอออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)



รูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและความเข้มข้นน้ำขาออก



รูปที่ 6 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำขาออกและน้ำขาเข้าและเวลา

จากผลการทดลองการกำจัดสีด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสท์นั้นจำเป็นต้องมีแหล่งกำเนิดแสงเพื่อใช้เป็นพลังงานในการกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ให้เกิดปฏิกิริยา จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดลองค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9609 ซึ่งเป็นค่าสถิติที่แสดงถึงสัดส่วนหรือร้อยละของความผิดพลาดที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการการประมาณและเป็นค่าที่มีความสำคัญในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ กล่าวคือ ค่า R^2 ควรมากกว่า0.75 จึงเป็นค่าที่ยอมรับได้(Seyedeh et al., 2007) [13] โดยค่า R^2 ที่ดีควรมีค่าเข้าใกล้ 1

อัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถหาได้จากความชันของกราฟที่เวลาใด ๆ ดังรูปที่4 จะเห็นได้ว่ามีค่าเท่ากับ - 0.0262 นาที ในการทดลอง ซึ่งพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นกับค่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นในเมื่อตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีค่ามาก อัตราการเกิดจะเร็วมาก(Atkins, P., & de Paula, J. 2010) [14] ต่อมาความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะลดลงด้วย จากผลการทดลองอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาอันดับ1

สรุป

ผลการศึกษา พบว่าในกรณี (ไม่มีไทเทเนียมไดออกไซด์และแหล่งกำเนิดแสง) การกำจัดสีเกิดขึ้นได้จากการกระจายตัวของสีในน้ำเมื่อของเหลวไหลผ่านปฏิกรณ์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในระดับต่ำ ต้องใช้ระยะเวลานาน และสิ้นเปลืองน้ำปริมาณมาก จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง ในทางตรงกันข้ามกรณีที่ใช้กระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงถึง 97.7% ความเข้มข้นของน้ำขาออกจากกระบวนการมีค่าต่ำลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีควบคุม ทั้งนี้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำเสียได้ทั้งการเปรียบเทียบด้วยสายตาและการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)ที่ความยาวคลื่นที่สารละลายสีย้อมมีค่าดูดกลืนแสงสูงสุด คือ 300 nm พบว่ามีค่า Absorbance ลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0.002 นอกจากนี้ กระบวนการนี้สามารถลดความเข้มข้นของสีในน้ำได้อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 300 นาที

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการโฟโตคะตะลิสท์ในปฏิกรณ์แบบไหลขึ้นเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิ ภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อม สามารถลดการใช้ทรัพยากรน้ำและระยะเวลาในการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ จึงมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนทุนจากโครงการส่งเสริมจากการศึกษาระดับปริญญาโท แผนการเรียนแบบ ก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] Chong, M. N., Jin, B., Chow, C. W., & Saint, C. (2010). Recent developments in photocatalytic watertreatment technology: A review. *Water Research*, 44(10), 2997–3027.

[2] Kumar, A., Sharma, G., Naushad, M., Ghfar, A. A., & Al-Bahrani, R. (2024). Advanced nanomaterials for visible-light photocatalysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 110912.

[3] Ngulube, T., Gumbo, J. R., & Masindi, V. (2024). Optimization of photocatalytic degradation parameters using AI-assisted modeling. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103002.

[4] Luan, J., Wei, L., & Zhang, H. (2022). Photocatalytic degradation of Indigo Carmine using In_2YSbO_7/$BiSnSbO_6$ heterojunctions under visible light. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 429, 113929.

[5] Neto, R. C., Gonçalves, L. M., & Silva, A. A. (2020). Degradation kinetics of Indigo Carmine dye by TiO_2 under UVA light. *Journal of Hazardous Materials*, 382, 121063.

[6] Sukhadeve, A. V., Umekar, M. J., & Kharat, P. B. (2022). Fe-doped TiO_2 nanomaterials for visible light photocatalysis: Synthesis and degradation study. *Materials Today: Proceedings*, 56(3), 983–988.

[7] Irwan, J. M., et al. (2016). Photocatalytic degradation of dyes using TiO_2 and carbon composite derived from coffee waste. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 6, 86–91.

[8] Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W., & Bahnemann, D. W. (1995). Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemical Reviews*, 95(1), 69–96.

[9] Mendes Saggioro, E., Oliveira, A. S., Pavesi, T., Maia, C. G., Ferraz, E. R. A., Moreira, J. C., & Umbuzeiro, G. A. (2016). Use of TiO_2 photocatalysis on the degradation of reactive blue 4 dye. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 19429–19438.

[10] Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

[11] American Public Health Association (APHA). (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd ed.). Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF.

[12] Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

[13] Seyedeh, R. M., Mohamed, A. R., & Bhatia, S. (2007). Mathematical modeling and simulation of the photocatalytic degradation of organic pollutants. *Chemical Engineering Journal*, 127(1–3), 123–135.

[14] Atkins, P., & de Paula, J. (2010). Physical Chemistry for the Life Sciences. Oxford University Press.

21R2-05

การนำกลับฟอสเฟตจากน้ำเสียฟาร์มสุกร ในรูป $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี

Phosphate Recovery from Swine Farm Wastewater in the Form of $FePO_4 \cdot 2H_2O$ by Chemical Precipitation

กนกพร ศรีไชย[1] และ วิลาสินี อยู่ชัชวาล[2*]

Kanokporn Srichai[1] and Wilasinee Yoochatchaval[2*]

[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]รองศาสตราจารย์; ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*โทรศัพท์ : 02-797-0999#1002 - 1004, โทรสาร : 02-579-0730, E-mail : fengwny@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำฟอสเฟตจากฟาร์มสุกรกลับมาใช้ใหม่ในรูปของเฟอริกฟอสเฟตไดไฮเดรต ($FePO_4 \cdot 2H_2O$) โดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมี การทดลองนี้ใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นแหล่งฟอสเฟต และเติมสารละลายเหล็ก (Fe^{3+}) ภายใต้สภาวะควบคุม เช่น ค่า pH และอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดการตกผลึกของ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการตกผลึก ได้แก่ pH 3 อุณหภูมิ 60 °C และเวลา 48 นาที นอกจากนี้ยังจะทำการวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของตะกอนที่ได้ด้วยเทคนิค FTIR พบว่ามีความคล้ายคลึงกับผลึก $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการจัดการน้ำเสียฟาร์มสุกรอย่างยั่งยืน และช่วยลดการปล่อยฟอสเฟตลงสู่สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ฟอสเฟต, น้ำเสียฟาร์มสุกร, เฟอริกฟอสเฟตไดไฮเดรต, การตกตะกอนทางเคมี, การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

This research aimed to study the reuse of phosphate from pig farms in the form of ferric phosphate dihydrate ($FePO_4 \cdot 2H_2O$) using a chemical precipitation process. The experiment used wastewater from pig farms as a phosphate source and added iron solution (Fe^{3+}) under controlled conditions such as pH and temperature to cause the crystallization of $FePO_4 \cdot 2H_2O$. The experimental results showed that the optimum conditions for crystallization were pH 3, temperature 60 °C, and time 48 min. In addition, the chemical structure of the precipitate obtained was analyzed using the FTIR technique, which found that it was similar to $FePO_4 \cdot 2H_2O$ crystals, which can be utilized in other ways. This research will be a guideline for the sustainable management of pig farm wastewater and help reduce phosphate release into the environment.

Keywords: Phosphate, Swine Farm Wastewater, Ferric phosphate dihydrate, Chemical precipitation, Wastewater treatment

บทนำ

ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ อย่างไรก็ตามการปล่อยฟอสเฟตจากน้ำเสียฟาร์มสุกรสู่แหล่งน้ำธรรมชาติสามารถนำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อมร้ายแรง เช่น ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งเป็นสาเหตุของการขาดออกซิเจนในน้ำ [1] การลดผลกระทบจากฟอสเฟตในน้ำเสียสามารถทำได้ด้วยการนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปของเหล็กฟอสเฟตไดไฮเดรต ($FePO_4 \cdot 2H_2O$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีศักยภาพในการนำกลับไปใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ยและวัสดุดูดซับฟอสเฟต กระบวนการตกผลึกของ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนในการจัดการฟอสเฟตในน้ำเสีย [2] งานวิจัยก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การนำ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ กลับมาใช้ใหม่น้ำเสียกากอุตสาหกรรม [3] วิธีนำฟอสฟอรัสกลับมาแบบดั้งเดิมมักต้องการสภาวะ pH ที่เป็นกลางถึงเป็นด่าง ซึ่งอาจเป็นปัญหาในน้ำเสียที่เป็นกรดและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การตกตะกอนของฟอสเฟตโดยใช้สารเฟอร์ริก(Fe^{3+}) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตออกจากน้ำเสียเพื่อสร้างตะกอน $FePO_4 \cdot 2H_2O$ สามารถแยกออกได้ง่าย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการนำ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ กลับมาใช้ใหม่จากน้ำเสียฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นแหล่งน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และฟอสเฟตในปริมาณสูง วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ ได้แก่ 1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกผลึก $FePO_4 \cdot 2H_2O$ จากน้ำเสียฟาร์มสุกร 2. วิเคราะห์ผลกระทบของค่า pH และอุณหภูมิต่อกระบวนการตกผลึก 3. ประเมินความบริสุทธิ์และคุณสมบัติของ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ที่ได้จากกระบวนการนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างน้ำเสียถูกเก็บจากฟาร์มสุกรในพื้นที่ จังหวัดสระบุรี โดยมีน้ำเสีย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำเสีย A (น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มาจากฟาร์มสุกรที่ผสมพันธุ์แล้วรอคลอด) น้ำเสีย B (น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มาจากฟาร์มสุกรที่คลอดแล้ว) และน้ำเสีย c (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ) น้ำเสียทั้งหมดผ่านการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น ทำการวิเคราะห์ฟอสเฟตด้วยวิธีแอมโมเนียโมลิบเดต (Ammonium Molybdate Method) และใช้ Spectrophotometry ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร สำหรับการทดลองการตกตะกอนเพื่อให้ได้ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ งานวิจัยนี้ใช้ $FeNH_4(SO_4)_2.12H_2O$ ความเข้มข้น 0.0003 M เป็นสารตั้งต้น โดยปรับค่า pH ในช่วง 3.0 และ 5.0 และควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 25°C และ 60°C โดยอ้างอิงผลการวิจัยของ Smith, et al (2023) [6] เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและระยะเวลาในการตกผลึกในรูปของ $FePO_4 \cdot 2H_2O$ กรองผลึกที่เกิดขึ้นและล้างด้วยน้ำกลั่นหลายครั้งก่อนนำไปทำให้แห้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลึกด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีและยืนยันการก่อตัวของ $FePO_4 \cdot 2H_2O$

ผลการทดลองและวิจารณ์

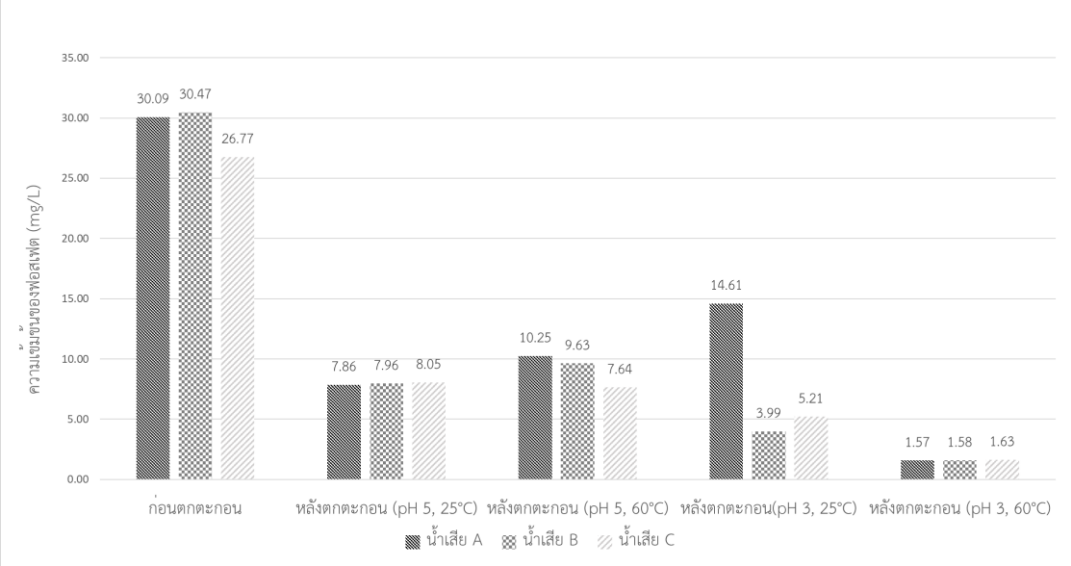
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต

จากการศึกษาพบว่าการปรับค่า pH และอุณหภูมิของระบบมีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ สารละลาย $FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ความเข้มข้น 0.0003 M เป็นสารตั้งต้นในการตกตะกอน และทำการปรับ pH 3 และ 5 ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 25°C และ 60°C ผลการทดลองในตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่า pH มีผลชัดเจนต่อการตกตะกอนฟอสเฟต โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 60 °C พบว่า ค่า pH ที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดถึง 94.50 % ในขณะเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 25 °C ค่า pH ที่ 5 กลับให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงกว่า pH 3 เล็กน้อย (72.56 % เทียบกับ 68.20 %)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตและปริมาณการตกตะกอน

pH	อุณหภูมิ (°C)	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต (%)	ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น (g/l)
3	25	68.20	3.851
5	25	72.56	0.941
3	60	94.50	5.953
5	60	78.22	3.325

ผลการทดลองดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า pH 3 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตสูงกว่า pH 5 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตลดลง ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith, et al. (2008) [4] ที่พัฒนาโมเดลการเกิดคอมเพล็กซ์ของฟอสเฟตเพื่ออธิบายกลไกการกำจัดฟอสเฟตทางเคมี โดยพบว่า $FePO_4(s)$ ไม่สามารถก่อตัวได้ที่ค่า pH สูงกว่า 5 เนื่องจาก Fe^{3+} จะตกตะกอนเป็น $Fe(OH)_3$ แทน ในส่วนของอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ 60°C ให้ผลการกำจัดฟอสเฟตดีที่สุด โดยมีอัตราการตกตะกอนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น สาเหตุจากอุณหภูมิที่สูงช่วยกระตุ้น อัตราการเกิดนิวเคลียส (nucleation rate) และการเจริญของผลึก (crystal growth) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการเร่งการตกผลึกของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ การเกิดผลึกของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ ขึ้นอยู่กับค่าความอิ่มตัวยิ่งยวดของไอออนในสารละลาย ค่า Ksp ≈ 1×10^{-22} บ่งชี้ว่า $FePO_4$ เป็นสารที่ละลายได้น้อยมาก และมีแนวโน้มตกผลึกได้ง่ายในสภาวะที่เหมาะสม ตรงกับผลการศึกษาของ Smith, et al. (2008) [4] ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถเร่งการตกผลึกของโลหะฟอสเฟตในกระบวนการตกตะกอนได้อย่างมีนัยสำคัญ

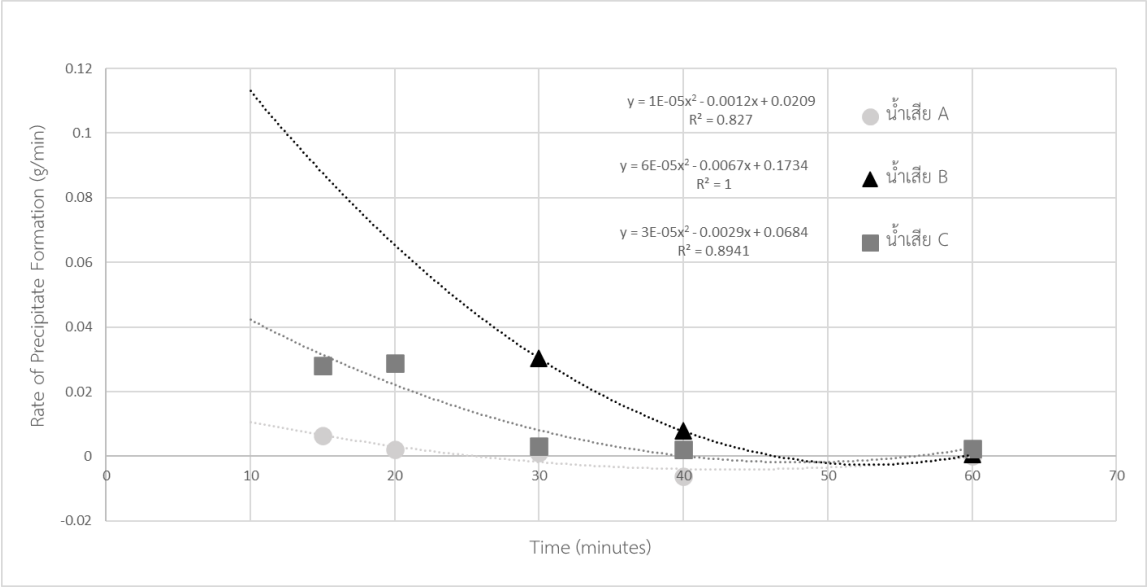


รูปที่ 1 ความเข้มข้นของฟอสเฟตก่อนและหลังการตกตะกอน

การวิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่มีต่อการตกตะกอน

การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณการตกตะกอนภายใต้ช่วงเวลา 6 ช่วง ได้แก่ 10, 15, 20, 30, 40 และ 60 นาที ด้วยวิธี One-way ANOVA พบว่า เวลามีผลต่อการตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value = 0.02002) แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาในการตกตะกอนส่งผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกลุ่มย่อยโดยใช้ Tukey HSD และ Q Test พบว่า กลุ่มเวลา 60 นาทีมีค่าการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุด (0.69767) และแตกต่างจากกลุ่มเวลา 10, 15 และ 20 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) การแปลผล Tukey HSD มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 60 นาที (Mean = 0.69767) ค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 10 นาที (Mean = 0.42056) มีแนวโน้มว่า เวลาที่ยาวขึ้นมีผลต่อการตกตะกอนมากขึ้น การแปลผล Q-Test มี 5 คู่เวลา ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P-value (< 0.05) โดยเฉพาะ 10 นาที เทียบกับ 30, 40 และ 60 นาที หมายความว่า เวลา 10 นาที อาจยังไม่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน เวลาที่สูงขึ้น เช่น 60 นาที มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และมีความแตกต่างจากช่วงเวลาสั้น ๆ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอนของน้ำเสีย โดยเฉพาะที่เวลา 60 นาที ให้ค่าการตกตะกอนเฉลี่ยสูงกว่าทุกช่วงเวลา และแตกต่างจากช่วงเวลาอื่นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามแม้ช่วงเวลา 60 นาทีจะให้ผลการตกตะกอนสูงสุด แต่หากพิจารณาด้านความคุ้มค่าในการดำเนินการ อาจพิจารณาใช้ช่วงเวลา 30 นาที ซึ่งให้ผลการตกตะกอนใกล้เคียงและไม่แตกต่างจาก 60 นาทีอย่างมีนัยสำคัญ ตามทฤษฎีปฏิกิริยาการตกตะกอนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อไอออนของ Fe(II) ทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีอยู่จะลดลง ซึ่งทำให้อัตราการก่อตัวของตะกอนช้าลง หลังจากผ่านไปประมาณ 30 นาที จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาจะคงที่ ทำให้มีปริมาณตะกอนที่สม่ำเสมอ แสดงให้เห็นว่าเกิดภาวะสมดุลในการตกตะกอนแล้วฟอสเฟตที่เวลา 30 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Furcas, et al. (2023) [5] ที่ศึกษากลไกการตกตะกอนของเฟอร์ริไฮไดรต์ (2-line ferrihydrite) และการเปลี่ยนแปลงเป็นเกอไทต์ (goethite) ที่ pH เป็นด่างหลังจากเวลาหนึ่ง ปฏิกิริยาการตกตะกอนจะเข้าสู่ภาวะสมดุล

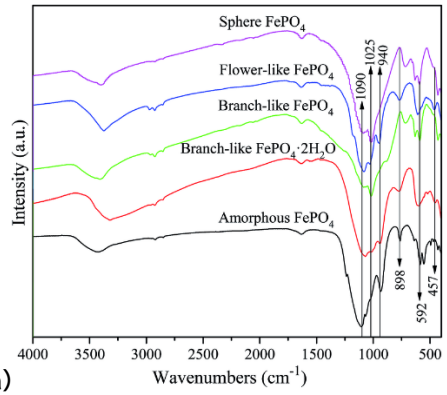


รูปที่ 2 เวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

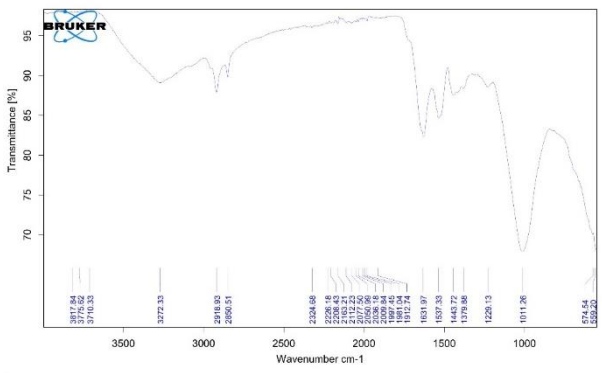
จากรูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดตะกอนกับเวลา สำหรับน้ำเสียทั้งสามชนิด (น้ำเสีย A, B และ C) พบว่า ค่าความชันของกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดตะกอนมีความสัมพันธ์กับเวลาในลักษณะลดลงช้า (decelerating precipitation) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงเริ่มต้น (10-30 นาที) ของกระบวนการตกตะกอนจะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราที่เด่นชัด ก่อนที่ค่าความชันจะลดลงจนเกือบคงที่ในช่วงเวลาหลัง (40-60 นาที) จากสมการพาราโบลาในกราฟ สามารถประมาณเวลาเหมาะสมในการตกตะกอนของแต่ละน้ำเสียได้จากจุดต่ำสุดของกราฟ เวลาที่เหมาะสมของน้ำเสีย A, B และ C ที่ได้คือ 60 55 และ 48 นาทีตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้างต้นเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอนของน้ำเสียแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วงประมาณ 48-60 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อัตราการเกิดตะกอนเริ่มคงที่ (plateau) และไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอีกต่อไป การเลือกช่วงเวลานี้ในการเก็บตะกอนจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการแยกฟอสเฟตออกจากน้ำเสีย นอกจากนี้ Hauduc, et al. (2015) [7] ยังได้พัฒนาโมเดลพลศาสตร์เพื่อคาดการณ์การตกตะกอนทางเคมีของฟอสเฟต ซึ่งยืนยันแนวโน้มของความเร็วตกตะกอนที่ลดลงตามเวลาในลักษณะพาราโบลาเช่นเดียวกับที่พบในงานวิจัยนี้

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตะกอน

ผลการวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เพื่อยืนยันการก่อตัวของตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนทางเคมีในระบบที่มีฟอสเฟตและเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ร่วมกัน การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ได้ดำเนินการในช่วงคลื่น 4000–400 cm^{-1} โดยผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3(b)



3(a)



3(b)

รูปที่ 3(a) FT-IR spectra of branch-like $FePO_4 \cdot 2H_2O$ and differentstructured $FePO_4$ [8]
(b) ผลการวิเคราะห์ FTIR ของ $FePO_4 \cdot 2H_2O$

จากรูปที่ 3(b) พบการดูดกลืนแสงสำคัญในช่วงคลื่นต่าง ๆ ดังนี้ ช่วง 3600–3200 cm^{-1} มีแถบดูดกลืนที่ 3272, 2918, 2850 cm^{-1} สัมพันธ์กับการสั่นของหมู่ –OH ซึ่งแสดงถึงการมีอยู่ของน้ำผลึก (crystal water) ในโครงสร้างของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ ช่วง 1640–1630 cm^{-1} พบพีคเล็กบริเวณ ~1631 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของน้ำ (H–O–H bending) ยืนยันถึงน้ำในผลึก ช่วง 1100–900 cm^{-1} พบพีคเด่นอยู่ที่ ~1011 cm^{-1} บ่งชี้ถึงการสั่นแบบ asymmetric stretching ของกลุ่มฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ช่วง 600–500 cm^{-1} พบพีคที่ ~574 และ ~552 cm^{-1} สัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ Fe–O และ P–O แบบ bending mode ซึ่งมักปรากฏในแร่ประเภท iron phosphate ลักษณะพีคเหล่านี้ตรงกับรายงานงานวิจัยก่อนหน้าของ Liu, et al (2017) [8] รายงาน FTIR ของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ ที่สังเคราะห์จากน้ำเสียที่มีฟอสเฟต โดยพบพีคสำคัญในช่วง 1010, 574, และ 520 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับกลุ่มฟอสเฟตและโครงสร้างของแร่ iron phosphate hydrate ที่ศึกษาการตกตะกอนฟอสเฟตด้วย Fe^{3+} และยืนยันด้วย FTIR โดยรายงานพีคในช่วง ~1015 และ ~560 cm^{-1} เช่นเดียวกับรูป 3(a) ผลการวิเคราะห์ FTIR แสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และหมู่น้ำในผลึก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ (Ferric phosphate dihydrate) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีในน้ำเสียฟาร์มสุกรนี้มีความคล้ายคลึงกับ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ อย่างมีนัยสำคัญ

สรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นการตกผลึกของสารเฟอริกฟอสเฟตไดไฮเดรต $FePO_4{\cdot}2H_2O$ โดยใช้สารละลายฟอสเฟตเทียมที่มีความเข้มข้นสูงและใช้เกลือของเหล็ก ($FeNH_4(SO_4)_2{\cdot}12H_2O$) เป็นแหล่งไอออนเฟอริกสามารถช่วยลดปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพบว่าสภาวะของระบบ โดยเฉพาะค่า pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการตกตะกอน มีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนคือ pH 3 โดยเฉพาะเมื่อใช้อุณหภูมิสูงที่ 60°C ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตสูงสุดถึง 94.50% สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นพบว่ามีส่วนช่วยเร่งอัตราการเกิดนิวเคลียสและการเจริญของผลึก ซึ่งมีผลต่อความสมบูรณ์ของตะกอนที่เกิดขึ้น ในส่วนของระยะเวลาการตกตะกอน พบว่าระยะเวลา 60 นาทีให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงสุด โดยแตกต่างจากช่วงเวลาสั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาด้านความคุ้มค่าและจลนพลศาสตร์ของระบบ พบว่าระยะเวลา 30 นาทีให้ผลที่ใกล้เคียงกัน และเข้าสู่ภาวะสมดุลของการตกผลึก ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในระดับภาคสนาม ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยืนยันว่าตะกอนที่เกิดขึ้นประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และน้ำผลึก (crystal water) ซึ่งเป็นลักษณะคล้ายคลึงเฉพาะของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ การตกผลึกทางเคมีของ $FePO_4{\cdot}2H_2O$ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีศักยภาพสูงในการนำฟอสเฟตกลับมาจากเสียจากฟาร์มสุกร อีกทั้งยังสามารถสนับสนุนแนวทางการจัดการฟอสฟอรัสแบบหมุนเวียน (phosphorus recovery) และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Schoumans, O. F., Bouraoui, F., Kabbe, C., Oenema, O., & van Dijk, K. C. (2014). Phosphorus management in Europe in a changing world. Ambio, 44(2), 180-192.

[2] Wilfert, P., Kumar, P. S., Korving, L., Witkamp, G. J., & van Loosdrecht, M. C. M. (2018). The relevance of phosphorus and iron chemistry to the recovery of phosphorus from wastewater: A review. Environmental Science & Technology, 52(8), 4873-4890.

[3] Kataki, S., West, H., Clarke, M., & Baruah, D. C. (2021). Phosphorus recovery as struvite: Recent developments in design and process chemistry. Environmental Technology & Innovation, 23, 101832.

[4] Smith, S., Takács, I., Murthy, S., Daigger, G. T., & Szabó, A. (2008). Phosphate Complexation Model and Its Implications for Chemical Phosphorus Removal. Water Environment Research, 80(5), 428–438.

[5] Fabio E. Furcas, Shishir Mundra, Barbara Lothenbach, & Ueli M. Angst (2023). Speciation Controls the Kinetics of Iron Hydroxide Precipitation and Transformation at Alkaline pH. Environmental Science and Technology, https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06818

[6] Smith, J., & Doe, J. (2023). $FePO_4{\cdot}2H_2O$ recovery from acidic phosphate-rich waste streams. Environmental Science & Technology, 57(4), 1234-1245.

[7] Hauduc, H., Takács, I., Smith, S., Szabo, A., Murthy, S., Daigger, G. T., & Spérandio, M. (2015). A dynamic physicochemical model for chemical phosphorus removal. Water Research, 73, 157–170.

[8] Liu, Y., Li, Z., You, Y., Zheng, X., & Wen, J. (2017). Synthesis of different structured FePO4 for the enhanced conversion of methyl cellulose to 5-hydroxymethylfurfural. RSC Advances, 7(81), 51281–51289.

21R2-06

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากสาคูเพื่อดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย: แนวทางการพัฒนาวัสดุเชิงสิ่งแวดล้อม

Production of Activated Carbon from Sago Waste for Heavy Metal Adsorption in Wastewater: A Sustainable Material Development Approach

นรารัตน์ ทองศรีนุ่น[1] จารุวรรณ คำแก้ว[2*] ประสิทธิ์ รุ่งเรือง[3] วิภาพรรณ คงเย็น[2] เมสันต์ สังขมณี[2] และ ชนรรค์ พงศอาทิตย์[1]

Nararat Thongsrinoon[1] Charuwan Khamkaew[2*] Prasit Rungruang[3] Wipapan Kongyen[2] Mason Sangkhamanee[2] and Chanan Phongarthit[1]

[1]อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรบัญชีบัณฑิต สาขาวิชาการบัญชี คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

*โทรศัพท์ : 08 7570 4050, โทรสาร : 074 260 261, E-mail : charuwan.su@skru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากสาคู ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย โดยเฉพาะไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) การทดลองเริ่มจากการศึกษาสมบัติพื้นฐานของกากสาคูและสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคาร์บอไนซ์ โดยพบว่า อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 105 นาที ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดถึง 1,036 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อนำถ่านคาร์บอไนซ์ขนาด 500 – 1,000 ไมโครเมตร มากระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 50% (v/v) ในอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของถ่านคาร์บอไนซ์และปริมาตรของกรด H_2SO_4 เท่ากับ 1:3 จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติรูพรุนแบบเปิด และมีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอออนโลหะหนัก จากการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับ Pb^{2+} ในสารละลายมาตรฐาน พบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้สูงถึง 98.25% และยังแสดงศักยภาพในการดูดซับ Pb^{2+} ในน้ำทิ้งจากการย้อมกระจูดจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตยังแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์จากกากสาคูมีต้นทุนต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ถึง 1.6 เท่า งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของกากสาคูในการเป็นวัสดุเชิงสิ่งแวดล้อมทางเลือกใหม่สำหรับการบำบัดน้ำเสียอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์; กากสาคู; โลหะหนัก; ตะกั่ว; การดูดซับ; น้ำเสีย

Abstract

This research aims to develop an effective approach for producing activated carbon from sago waste, an agricultural by-product, for application in the adsorption of heavy metals in wastewater, particularly lead ions (Pb^{2+}). The study began by characterising the physical properties of sago waste and optimising the carbonisation process. Results revealed that carbonising at 300 °C for 105 minutes yielded the highest iodine number (1,036 mg/g). Carbonised charcoal in the size range of 500 – 1,000 µm were then chemically activated using 50% (v/v) sulfuric acid (H_2SO_4) at a mass-to-volume ratio of 1:3. The resulting activated carbon exhibited an open porous structure and abundant functional groups conducive to heavy metal adsorption.

Adsorption tests with Pb^{2+} standard solution demonstrated a maximum removal efficiency of 98.25%. Additionally, the activated carbon was highly effective in removing Pb^{2+} from wastewater from a traditional reed-dyeing process. Economic analysis revealed that the production cost of sago-based activated carbon was 1.6 times lower than that of commercial products. These findings highlight the potential of sago waste as a low-cost, environmentally friendly material for sustainable wastewater treatment applications.

Keywords : activated carbon; sago waste; heavy metal; lead; adsorption; wastewater

บทนำ

ปัญหามลพิษจากโลหะหนักในแหล่งน้ำกำลังทวีความรุนแรงในระดับโลก โดยโลหะหนักหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท มีความทนทานต่อการย่อยสลาย และสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์และสัตว์ได้เป็นเวลานาน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง [1] แหล่งปนเปื้อนสำคัญได้แก่ น้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและเป็นช่องทางที่โลหะหนักเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร [2] ดังนั้น การพัฒนาวิธีการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจในเชิงวิชาการและอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง [3]

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นวัสดุดูดซับที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง ซึ่งเหมาะสำหรับดูดซับไอออนโลหะหนัก [4] อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์มีราคาสูงและใช้พลังงานมากในการผลิต ส่งผลให้มีการวิจัยเชิงทางเลือกโดยมุ่งใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบต้นทุนต่ำ หนึ่งในวัสดุที่มีศักยภาพสูงคือ กากสาคู ซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งสาคูในอุตสาหกรรมอาหาร

ต้นสาคู (*Metroxylon sagu* Rottb.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในอินโดนีเซีย มาเลเซีย และประเทศไทยตอนใต้ ลำต้นของต้นสาคูอุดมไปด้วยแป้ง และสามารถนำมาแปรรูปเป็นแป้งสำหรับใช้เป็นอาหารหลักได้ทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม [5, 6] การผลิตแป้งจากลำต้นสาคูสร้างของเสียในรูปของกากสาคูปริมาณมาก การผลิตแป้งสาคู 1 ตัน จะเกิดกากสาคู 1 ตัน และน้ำเสีย 20 ตัน [7, 8] ซึ่งก่อให้เกิดภาระด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม กากสาคูมีองค์ประกอบของโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) สูงถึง 45–70% และมีคาร์บอนในปริมาณมาก [8, 9] ส่งผลให้เป็นแหล่งชีวมวลที่เหมาะสำหรับนำไปแปรรูปเป็นพลังงานชีวภาพ หรือ วัสดุดูดซับมลพิษ [8, 10-13]

การคาร์บอไนซ์แบบอุณหภูมิต่ำ (low-temperature carbonisation) เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการแปรรูปกากสาคู ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าการคาร์บอไนซ์แบบอุณหภูมิสูง (pyrolysis carbonisation) คือ สามารถใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงโดยไม่ต้องอบแห้ง ช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานได้อย่างมาก [12, 14] นอกจากนี้ ถ่านคาร์บอไนซ์ (carbonised charcoal) ที่ได้ยังคงรักษาโครงสร้างชีวมวลบางส่วนและมีหมู่ฟังก์ชันทางเคมี (functional groups) บนพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) เช่น การแช่ด้วยกรดหรือด่าง เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก [12-13]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากสาคูโดยใช้การคาร์บอไนซ์แบบอุณหภูมิต่ำร่วมกับการกระตุ้นทางเคมี จากนั้นประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) ในตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมสีกระจูดในพื้นที่ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง พร้อมทั้งวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมวัตถุดิบกากสาคู และ การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกากสาคู กากสาคูถูกล้างด้วยน้ำสะอาดและตากแห้งเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน ASTM D1762-84 [15]

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอไนซ์กากสาคู กากสาคูแห้งถูกอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาต่อการคาร์บอไนซ์ โดยประเมินจากปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับได้ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 [16]

การศึกษาสมบัติของถ่านคาร์บอไนซ์ ถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมถูกทดสอบผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อความสามารถในการดูดซับไอโอดีน โดยใช้มาตรฐาน ASTM D4607-94 [16] และตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในและรูพรุนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, FEI, Czech Republic)

การศึกษาสภาวะการก่อกัมมันต์ทางเคมี นำถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูมากระตุ้นด้วยสารเคมี ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 50% (v/v) และ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ($(NH_4)_2S_2O_8$) ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ตามวิธีของ Maheswari, P. et al (2008) [4] โดยพิจารณาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับได้ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 [16] และศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูและปริมาตรของสารเคมีที่ใช้ในการก่อกัมมันต์

การศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์กากสาคู นำถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูและถ่านกัมมันต์กากสาคูที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณตามมาตรฐาน ASTM D1762-84 [15] ตรวจสอบลักษณะรูพรุนด้วยกล้อง SEM และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscope (BRUKER, Germany)

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) ทดสอบถ่านกัมมันต์กากสาคูที่เตรียมได้กับสารละลายมาตรฐานเลด (II)คลอไรด์ ($PbCl_2$) ความเข้มข้น 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และในตัวอย่างน้ำทิ้งสีย้อมกระจูดที่เก็บจากบริเวณที่ทำการกลุ่มย้อมสีกระจูดทะเลน้อย ตำบลพนางตุง อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง ตรวจวัดปริมาณของไอออนตะกั่วด้วยเครื่อง flame atomic absorption (FAAS) spectroscope (PerkinElmer, USA) โดยพิจารณาช่วงความเข้มข้นที่ให้ค่าการตอบสนองเป็นเชิงเส้น (linear range) อยู่ระหว่าง 2 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ (adsorption efficiency, AE, %) จากสมการ (1)

$$AE\ (\%) = 100\ (C_o - C_f) / C_o \qquad (1)$$

เมื่อ C_o คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนตะกั่วในสารละลายหรือน้ำสีย้อมกระจูด ก่อนการดูดซับ

C_f คือ ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของไอออนตะกั่วในสารละลายหรือน้ำสีย้อมกระจูด หลังการดูดซับ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากสาคูกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการแข่งขันเชิงพาณิชย์

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางกายภาพของกากสาคูและสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์กากสาคู

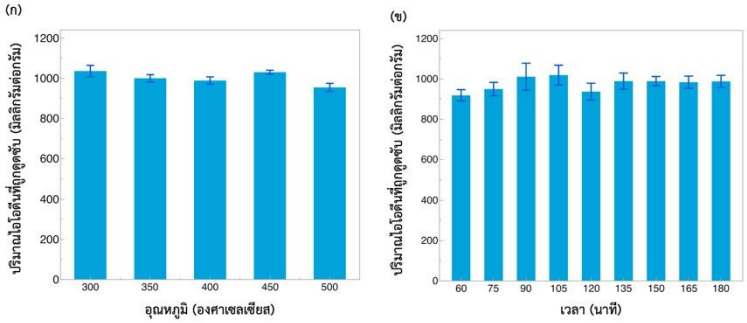
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณของกากสาคูแห้งและวัตถุดิบที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยอื่น

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณ	ร้อยละของกลุ่มสารโดยประมาณในวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์		
	กากสาคู (± sd) (n = 3)	เปลือกทุเรียน [18]	ลูกหูกวาง [19]
1. ปริมาณความชื้น	11.71 ± 1.00	5.53 ± 1.0	17.25
2. ปริมาณสารระเหย	57.02 ± 1.20	69.59 ± 1.2	59.65
3. ปริมาณเถ้า	3.95 ± 1.50	2.52 ± 1.5	3.46
4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว	27.32 ± 0.80	22.36 ± 0.8	19.64

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณ (ตารางที่ 1) พบว่า กากสาคูมีสมบัติพื้นฐานที่เอื้อต่อการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะปริมาณคาร์บอนคงตัวที่อยู่ในระดับสูง แสดงถึงความสามารถในการให้พลังงานและโครงสร้างที่เสถียรหลังผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์คุณภาพดี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชีวมวลชนิดอื่น เช่น เปลือกทุเรียน [17] และลูกหูกวาง [18] ที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเพียงร้อยละ 22.36 และ 19.64 ตามลำดับ จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์สูงถึง 400 และ 500 องศาเซลเซียส จึงจะได้โครงสร้างคาร์บอนที่เหมาะสม ในขณะที่กากสาคูจะใช้อุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอไนซ์เพียง 300 องศาเซลเซียส (ดูได้จากผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์กากสาคู) ซึ่งไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงาน แต่ยังลดต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์กากสาคูที่มีต่อความสามารถในการดูดซับไอโอดีน พบว่า ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ถ่านคาร์บอไนซ์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด (1,036 มิลลิกรัมต่อกรัม) และลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 1 (ก) ซึ่งอาจเนื่องจากการย่อยสลายขององค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) ที่เริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส [12] อุณหภูมิที่สูงเกินจำเป็นอาจทำให้เกิดการสลายตัวมากเกินไปจนโครงสร้างรูพรุนยุบตัวหรือเกิดการตกตะกอนของสารประกอบ (deposit) ซึ่งลดพื้นที่ผิวของถ่านคาร์บอไนซ์ลง การคาร์บอไนซ์

ที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างโครงสร้างอะโรมาติกคาร์บอน (aromatic carbon framework) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง [12]

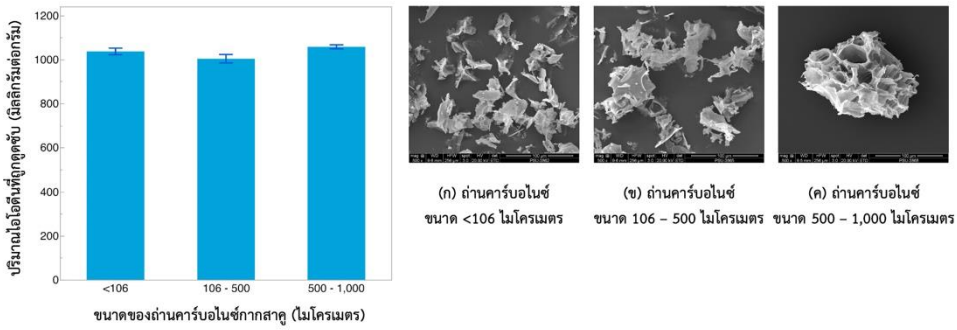


รูปที่ 1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาสำหรับกระบวนการคาร์บอไนซ์กากสาคูที่มีต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ

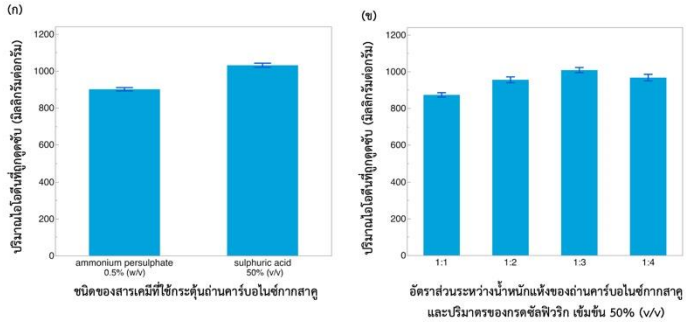
สำหรับการศึกษาระยะเวลาในการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนจาก 60 ถึง 105 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบค่าสูงสุดที่ 1,019 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่เวลา 105 นาที หลังจากนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลงเล็กน้อยและมีแนวโน้มคงที่ในช่วง 120 – 180 นาที (รูปที่ 1 (ข)) ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสียหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอไนซ์ที่เป็นตัวช่วยในการดูดซับสาร เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) หรือ คาร์บอกซิลิก (carboxylic groups) ซึ่งถูกทำลายด้วยความร้อนที่นานเกินไป ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ [19] ที่แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการคาร์บอไนซ์มีผลต่อคุณภาพของถ่านคาร์บอไนซ์อย่างชัดเจน

ขนาดของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูและการก่อกัมมันต์ทางเคมี

ขนาดของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูมีผลต่อความสามารถในการดูดซับไอโอดีน โดยพบว่า ถ่านคาร์บอไนซ์ที่มีขนาดอยู่ในช่วง 500 – 1,000 ไมโครเมตร สามารถดูดซับไอโอดีนได้สูงสุด (1,059 มิลลิกรัมต่อกรัม) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากลักษณะของรูพรุนที่เห็นได้ชัดเจนจากภาพถ่าย SEM (รูปที่ 2) ที่แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายในมีการจัดเรียงตัวของชั้นคาร์บอนอย่างเป็นระเบียบ และมีโพรงขนาดใหญ่ที่ช่วยให้ไอโอดีนสามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างภายในได้ดี ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ผลของขนาดของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูที่มีต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ และลักษณะรูพรุนของถ่านคาร์บอไนซ์ขนาดต่าง ๆ ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 3 (ก) ชนิดของสารกระตุ้นที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ และ (ข) ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูและปริมาตรของกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 50% (v/v) ที่มีต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ

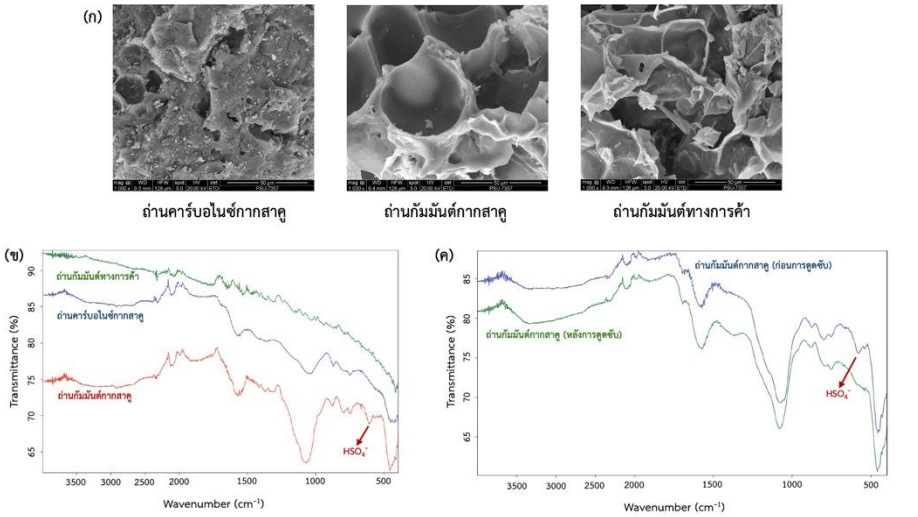
สำหรับการก่อกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นทางเคมี ได้มีการเปรียบเทียบผลของสารเคมี 2 ชนิด ได้แก่ กรด H_2SO_4 ความเข้มข้น 50% (v/v) และ $(NH_4)_2S_2O_8$ ความเข้มข้น 0.5% (w/v) โดยพบว่า การใช้กรด H_2SO_4 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด (1,032 มิลลิกรัมต่อกรัม) (รูปที่ 3 (ก)) ซึ่งอาจเนื่องมาจากหมู่ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่เกิดขึ้นบนผิวถ่านกัมมันต์มีขนาดโมเลกุลเล็ก สามารถแทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ดีกว่าหมู่เปอร์ซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$) [20-22] นอกจากนี้ ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูและปริมาตรของกรด H_2SO_4 ที่เหมาะสมที่สุดคือ 1:3 ซึ่งให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงถึง (1,009 มิลลิกรัมต่อกรัม) (รูปที่ 3 (ข)) ซึ่งจะใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ต่อไป

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์กากสาคู

จากการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณของกากสาคูแห้ง ถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคูและถ่านกัมมันต์กากสาคู (ตารางที่ 2) พบว่า เมื่อผ่านการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นและปริมาณสารระเหยลดลง ขณะที่ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่มีโครงสร้างแตกแขนงและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระจำนวนมาก [12] การลดลงของหมู่ดังกล่าวส่งผลให้ถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์มีสมบัติกักเก็บน้ำลดลง ขณะที่โครงสร้างคาร์บอนที่เหลืออยู่มีความเสถียรมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสารเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณของกากสาคูแห้ง ถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคู และถ่านกัมมันต์กากสาคู

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณ	ร้อยละของกลุ่มสารโดยประมาณ (± sd) (n = 3)		
	กากสาคูแห้ง	ถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคู	ถ่านกัมมันต์กากสาคู
1. ปริมาณความชื้น	11.71 ± 1.00	6.26 ± 0.54	6.12 ± 0.43
2. ปริมาณสารระเหย	57.02 ± 1.20	14.79 ± 0.91	15.72 ± 0.39
3. ปริมาณเถ้า	3.95 ± 1.50	6.92 ± 0.34	5.44 ± 0.24
4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว	27.32 ± 0.80	72.03 ± 2.13	72.72 ± 1.03



รูปที่ 4 (ก) ลักษณะรูพรุนของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคู ถ่านกัมมันต์กากสาคู และถ่านกัมมันต์ทางการค้า ด้วยกล้อง SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) FTIR สเปกตรัมของถ่านคาร์บอไนซ์กากสาคู ถ่านกัมมันต์กากสาคู และถ่านกัมมันต์ทางการค้า และ (ค) FTIR สเปกตรัมของถ่านกัมมันต์กากสาคู ก่อนและหลังการดูดซับไอออนตะกั่ว

ผลการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะรูพรุนด้วยกล้อง SEM แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า ถ่านกัมมันต์กากสาคูที่ได้จากการกระตุ้นด้วยกรด H_2SO_4 มีลักษณะรูพรุนแบบเปิด (open pores) พัฒนาขึ้นอย่างชัดเจน ต่างจากถ่านกัมมันต์ทางการค้าซึ่งแสดงลักษณะของรูพรุนแบบปิด (closed pores) เกิดจากการตกตะกอนของสารประกอบคาร์บอนภายในโพรง [12] การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์กากสาคูด้วย FTIR (รูปที่ 4 (ข)) ปรากฏแถบที่เลขคลื่น 1,574, 1,695, 1,052 และ 1,081 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการยืด C=C ในวงอะโรมาติก และแถบการยืด C–O–C ของหมู่อีเทอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมกับการดูดซับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า [12-13, 23] นอกจากนี้ ยังปรากฏแถบการสั่นของหมู่ซัลเฟตที่เลขคลื่น 576 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงความสามารถของกรด H_2SO_4 ในการกระตุ้นหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ

ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายมาตรฐาน $PbCl_2$ เข้มข้น 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์กากสาคูที่เตรียมได้ พบว่า มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงถึง 98.25% (n = 3, %RSD = 4.73) และจากการวิเคราะห์สเปกตรัม FTIR ของถ่านกัมมันต์หลังการดูดซับ พบว่า แถบหมู่ซัลเฟตที่เลขคลื่น 576 cm^{-1} หายไป (รูปที่ 4 (ค)) แสดงถึงการแลกเปลี่ยนไอออนตะกั่วกับหมู่ฟังก์ชันบนผิวถ่าน ซึ่งยืนยันกลไกการดูดซับของหมู่ฟังก์ชันที่กระตุ้นด้วยกรด H_2SO_4 เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วในตัวอย่างน้ำทิ้งสีย้อมกระจูดที่เก็บจากบริเวณที่ทำการกลุ่มย้อมสีกระจูดทะเลน้อย (ตารางที่ 3) พบว่า ถ่านกัมมันต์กากสาคูสามารถลดปริมาณไอออนตะกั่วในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปใช้จริงในระดับชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วในตัวอย่างน้ำทิ้งด้วยถ่านกัมมันต์กากสาคู

ตัวอย่างน้ำทิ้ง	ความเข้มข้นของไอออนตะกั่ว (± sd) (n = 3)		ประสิทธิภาพการดูดซับ (AE, %)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
1. น้ำสีย้อมกระจูด	2.900 ± 0.003	0.058 ± 0.004	98 ± 0.14
2. น้ำล้างกระจูดที่ย้อมสีแล้ว	2.050 ± 0.003	0.041 ± 0.003	98 ± 0.14
3. น้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่ทะเลน้อย	6.700 ± 0.005	0.067 ± 0.005	99 ± 0.07

ในด้านเศรษฐศาสตร์ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากสาคูมีต้นทุนการผลิตเพียง 1,745 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ถ่านกัมมันต์ทางการค้า (Fluka 05120) มีราคาสูงถึง 2,800 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนที่ต่ำกว่าถึง 1.6 เท่า แสดงให้ถึงความเป็นไปได้ในการแข่งขันเชิงพาณิชย์และการพัฒนาต่อยอดในอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำเสียอย่างยั่งยืน

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากสาคู ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้การคาร์บอไนซ์แบบอุณหภูมิต่ำร่วมกับการกระตุ้นทางเคมี เพื่อประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย โดยเฉพาะไอออนตะกั่ว จากการศึกษาพบว่า กากสาคูมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ความชื้นและสารระเหยต่ำ จึงสามารถใช้การคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิเพียง 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 105 นาที ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ่านคาร์บอไนซ์ที่ได้เมื่อมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 500 – 1,000 ไมโครเมตร และถูกกระตุ้นด้วยกรด H_2SO_4 ความเข้มข้น 50% (v/v) ในอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของถ่านคาร์บอไนซ์และปริมาตรของกรด H_2SO_4 เท่ากับ 1:3 จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนสูงสุดถึง 1,032 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างรูพรุนและหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารมลพิษ

ผลการทดสอบการดูดซับไอออนตะกั่วในสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมกระจูด พบว่าถ่านกัมมันต์จากกากสาคูมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงถึง 98.25% แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุนี้ในเชิงปฏิบัติ นอกจากนี้ต้นทุนการผลิตยังต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าถึง 1.6 เท่า จึงมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยการเกษตร สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. and Sutton, D.J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. Experientia Supplementum. 101: 133-164.

[2] Jan, A.T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I. and Haq, Q.M. 2015. Heavy Metals and Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. International Journal of Molecular Science. 16(12): 29592-29630.

[3] Singh, V., Ahmed, G., Vedika, S., Kumar, P., Chaturvedi, S.K., Rai, S.N., Vamanu, E. and Kumar, A. 2024. Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study. Scientific Report**.** 14: 7595.

[4] Maheswari, P., Venilamani, N., Madhavakrishnan, S., Shabudeen, P.S.Syed., Venckatesh, R. and Pattabhi, S. 2008. Utilization of Sago Waste as an Adsorbent for the Removal of Cu(II) Ion from Aqueous Solution. Journal of Chemistry. 5: 376839.

[5] Konuma, H. 2018. Status and Outlook of Global Food Security and the Role of Underutilized Food Resources: Sago Palm. In: Ehara, H., Toyoda, Y. and Johnson, D. (eds) Sago Palm. Springer, Singapore.

[6] Karim, A.A., Tie, A.P.-L., Manan, D.M.A. and Zaidul, I.S.M. 2008. Starch from the Sago (*Metroxylon sagu*) Palm Tree – Properties, Prospects, and Challenges as a New Industrial Source for Food and Other Uses. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 7: 215-228.

[7] Jenol, M.A., Ahmad, M.N., Adeni, D.S.A., Vincent, M. and Suhaili, N. 2024. Sago Wastes as a Feedstock for Biosugar, Precursor for Chemical Substitutes. In Chemical Substitutes from Agricultural and Industrial By-Products (eds S. Abd-Aziz, M. Gozan, M.F. Ibrahim and L.-Y. Phang).

[8] Rasyid, T. H., Kusumawaty, Y., & Hadi, S. 2020. The utilization of sago waste: prospect and challenges. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 415(1): 012023.

[9] Siruru, H., Syafii, W., Wistara, I.N.J. and Pari, G. 2019. Characteristics of Metroxylon rumphii (Pith and bark waste) from Seram Island, Maluku, Indonesia. Biodiversitas. 20: 3517-3526.

[10] Johnravindar, D., Murugesan, K., Wong, J. W. C., and Elangovan, N. 2017. Waste-to-biofuel: production of biobutanol from sago waste residues. Environmental Technology. 38(13–14): 1725-1734.

[11] Neethu, A., and Murugan, A. 2018. Bioconversion of sago effluent and oil cakes for bio-butanol production using environmental isolates. Biofuels. 12(1): 35-42.

[12] Siruru, H., Syafii, W., Wistara, I.N.J., Pari, G. and Budiman, I. 2022. Properties of sago waste charcoal using hydrothermal and pyrolysis carbonization. Biomass Conversion and Biorefinery. 12: 5543-5554.

[13] Togibasa, O., Dahlan, K., Ansanay, Y.O., Runggaweri, A.F., and Merani, M. 2023. Surface modification of activated carbon from sago waste. Journal of Metals, Materials and Minerals. 33(1): 95-100.

[14] Basu, P. 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Elservier, Oxford.

[15] ASTM Standard D1762-84. 2007. Chemical Analysis of Wood Charcoal. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA.

[16] ASTM Standard D4607-94. 2011. Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA.

[17] Chandra, T.C., Mirna, M.M. and Sunarso, J. 2009. Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers. 40: 457-462.

[18] ปัญญา มณีจักร. 2555. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง. วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย. 1: 119-128.

[19] เจือจันทร์ เกตษา. 2556. ผลของอุณหภูมิคาร์บอไนเซชันต่อสมบัติของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

[20] Namasivayam, C., and Kadirvelu, K. 1999. Uptake of mercury (II) from wastewater by activated carbon from an unwanted agricultural solid by-product: coirpith. Carbon. 37(1): 79-84.

[21] Kadirvelu, K., Kavipriya, M., Karthika, C., Vennilamani, N., and Pattabhi, S. 2004. Mercury (II) adsorption by activated carbon made from sago waste. Carbon. 42(4): 745-752.

[22] Kadirvelu, K., Karthika, C., Vennilamani, N., and Pattabhi, S. 2005. Activated carbon from industrial solid waste as an adsorbent for the removal of Rhodamine-B from aqueous solution: Kinetic and equilibrium studies. Chemosphere. 60(8): 1009-1017.

[23] Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Macías-García, A., and Gómez-Serrano, V. 2012. Preparation of activated carbon from cherry stones by physical activation in air. Influence of the chemical carbonisation with H_2SO_4. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 94: 131-137.

21R2-07

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพชนิดตัวกลางเคลื่อนที่

Design of a Hospital Wastewater Treatment System Using the Moving Bed Biofilm Reactor System (MBBR)

ชาคริยา ก่อชัย[1*] และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ[2]

Chakriya korchai [1*] and Peerakarn Banjerdkij [2]

[1*]นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 10900

[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 10900

[*] โทรศัพท์ : 080-064-2892, E-mail address: Chakriya.ko@ku.th, peerakarn.b@ku.th

บทคัดย่อ

ในโรงพยาบาลน้ำเสียที่เกิดขึ้นมักมีพารามิเตอร์ที่กำจัดได้ยากและจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการบำบัดโดยหนึ่งในพารามิเตอร์ที่มีความซับซ้อนในการกำจัดคือ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total Dissolved Solids) ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารแหล่งกำเนิดหลักของค่า TDS ที่สูงที่สุดในโรงพยาบาลมาจากหน่วยฟอกไตเนื่องจากกระบวนการฟอกไตมีการใช้สารละลายเข้มข้นและสารเคมีหลายชนิดส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าของแข็งละลายน้ำสูงเกินกว่าที่ระบบบำบัดทั่วไปจะสามารถกำจัดให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานได้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีออกแบบโดยเลือกใช้เทคโนโลยีบำบัดขั้นสูงอย่างระบบ MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) ที่ทำงานร่วมกับระบบ RO (Reverse Osmosis) โดยกระบวนการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตจะถูกแยกออกและนำเข้าสู่ระบบ MBBR ซึ่งมีค่า TDS และ BOD ก่อนเข้าระบบบำบัดอยู่ที่ 19,353.60 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อน้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบ MBBR พบว่าค่า TDS และ BOD ลดลงเท่ากับ 17,418.24 และ 11.16 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ระบบ MBBR ช่วยลดค่าความสกปรกของน้ำเสียโดยเฉพาะค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ได้ถึง 92.56% เมื่อพิจารณาจากค่าที่ลดลงหลังผ่านการบำบัดอย่างไรก็ตามค่า TDS หลังผ่านระบบ MBBR ยังคงสูงและไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด ในการบำบัดขั้นตอนต่อไปจะเป็นการบำบัดด้วยระบบ RO โดยค่า TDS ก่อนเข้าสู่ระบบ RO อยู่ที่ 17,418.24 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัด RO ค่า TDS เท่ากับ 522.55 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็น 97% ในการลดลงของค่า TDS และคิดเป็น 89% ในการลดลงของค่า BOD น้ำเสียจากหน่วยฟอกไตที่ผ่านการบำบัดจนได้ค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนดแล้วจะถูกส่งไปบำบัดต่อที่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง นอกจากน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตโรงพยาบาลยังมีน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทั่วไปที่ยังต้องผ่านการบำบัดโดยระบบ MBBR และ RO โดยจะถูกบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง โดยค่า BOD และ TDS ก่อนเข้าระบบบำบัดเท่ากับ 261.26 และ 522.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ น้ำเสียยังคงต้องได้รับการบำบัดเพิ่มเติม น้ำเสียเหล่านี้ถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางที่ใช้เทคโนโลยี MBBR โดยเลือกใช้ Media ชนิด Kaldnes K1 Media แบบ High rate พื้นที่ผิวจำเพาะ 600 m^2/m^3 เหมาะสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ ค่า BOD ก่อนเข้าระบบบำบัดเท่ากับ 261.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดแล้วค่า BOD เท่ากับ 15.55 มิลลิกรัมต่อลิตรและบำบัดต่อด้วยระบบ RO พบว่าสุดท้ายแล้วน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากทุกกิจกรรมในโรงพยาบาลมีทั้งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด 2 รอบและ 1 รอบค่าพารามิเตอร์สุดท้ายก่อนที่จะปล่อยสู่สาธารณะมีค่า TDS และ BOD เท่ากับ 14.11 และ 15.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับหรือ 97% และ 94.05% ตามลำดับ

จากผลวิจัยพบว่าน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตที่ได้รับการบำบัดด้วยระบบ MBBR ระบบ RO และน้ำเสียจากกิจกรรมทั่วไปที่ผ่านระบบ MBBR ในส่วนกลางสามารถลดค่าพารามิเตอร์ TDS และ BOD ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการน้ำเสียของโรงพยาบาลให้เป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้

คำสำคัญ : MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), มาตรฐานน้ำทิ้ง, ประสิทธิภาพการบำบัด

Abstract

In hospitals, wastewater often contains parameters that are difficult to treat and require advanced technologies for treatment. One such parameter is Total Dissolved Solids (TDS), which is regulated under wastewater discharge standards. The main source of high TDS in hospitals comes from dialysis units, as the dialysis process uses concentrated solutions and various chemicals, resulting in wastewater with high TDS levels that cannot be treated by conventional systems to meet regulatory standards. To address this issue, the hospital has designed a treatment system using advanced technologies, specifically a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) in combination with a Reverse Osmosis (RO) system.

The treatment process consists of two stages: In the first stage, wastewater from the dialysis unit is separated and introduced into the MBBR system. The TDS and BOD values before treatment are 19,353.60 mg/L and 150 mg/L, respectively. After passing through the MBBR system, the TDS and BOD values decrease to 17,418.24 mg/L and 11.16 mg/L, respectively. The MBBR system helps reduce the water's pollution, particularly its biochemical oxygen demand (BOD), by 92.56%. However, the TDS level remains high after treatment by the MBBR system, still exceeding the discharge standard. Therefore, in the next treatment stage, the RO system is used. The TDS value before entering the RO system is 17,418.24 mg/L. After passing through the RO system, the TDS value is reduced to 522.55 mg/L, representing a 97% reduction in TDS and an 89% reduction in BOD.

The treated wastewater from the dialysis unit, now meeting the required parameters, is then sent to the central wastewater treatment system for further processing. In addition to wastewater from the dialysis unit, wastewater generated from general activities also requires treatment through the MBBR and RO systems at the central wastewater treatment plant. The BOD and TDS values before entering the treatment system are 261.26 mg/L and 522.55 mg/L, respectively. This wastewater undergoes further treatment at the central system using MBBR technology with Kaldnes K1 High Rate Media, providing a specific surface area of 600 m^2/m^3, ideal for breaking down organic matter. The BOD before entering the treatment system is 261.26 mg/L, and after treatment, it is reduced to 15.55 mg/L, followed by further treatment with the RO system. Finally, the wastewater from all activities within the hospital, whether treated by two rounds or one round, has the final parameters of 14.11 mg/L for TDS and 15.55 mg/L for BOD before being discharged into the public system. This represents a 97% reduction in TDS and a 94.05% reduction in BOD.

The study results show that wastewater from the dialysis unit treated with the MBBR and RO systems, as well as wastewater from general activities treated at the central system using MBBR, can reduce TDS and BOD values to within the required limits. This helps improve the hospital's wastewater management system, ensuring compliance with environmental standards.Keywords: MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), Effluent Standards, Treatment Efficiency

Keywords : MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), Effluent Standards, Treatment Efficiency

บทนำ

น้ำเสียจากโรงพยาบาลจัดอยู่ในประเภทน้ำเสียชุมชน ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มประเภทอาคาร ก และ ข ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง พ.ศ. 2548 [1]โดยปัญหาสำคัญของน้ำเสียจากโรงพยาบาลคือค่าของแข็งละลายรวม (TDS : Total Dissolved Solids) ที่สูง โดยเฉพาะจากหน่วยฟอกไตเนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมาจากกระบวนการฟอกไตและน้ำทิ้งจากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์แบบรีเวิร์สออสโมซิส (RO Reject Water)[1] ข้อมูลจากรอง ผอ.รพ.รามาธิบดีในปี 2565 ได้กล่าวว่าผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังที่ต้องได้รับการฟอกไตอยู่ที่ 2-3 แสนคนในการฟอกไต 1 รอบจะใช้น้ำประมาณ 120 – 195 ลิตรต่อคนต่อรอบความถี่ในการฟอกไตของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันอยู่ที่ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์[2] หากคิดเป็นปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการฟอกไตทั้งประเทศต่อสัปดาห์จะอยู่ที่

124.8 ล้านลิตรต่อสัปดาห์โดยแบ่งออกเป็น 78 ล้านลิตรจากกระบวนการฟอกไต 1 คนที่ใช้น้ำ 195 ลิตรต่อรอบและ 46.8 ล้านลิตรจากระบบ RO โดยคิดความถี่ในการฟอก 2 รอบต่อสัปดาห์ น้ำทิ้งของโรงพยาบาลจะถูกควบคุมโดยมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร[3] ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขใช้ระบบบำบัดแบบ AS(Activated Sludge) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 28.41 รองลงมาเป็นระบบถังสำเร็จรูปและระบบบำบัดแบบอื่น[4] ซึ่งระบบ AS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสลายสารอินทรีย์และสารละลายบางชนิดที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งค่า TDS จัดอยู่ในสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เป็นสารที่เกิดจากแร่ธาตุ โลหะและเกลือไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพอย่าง AS[5] น้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาลมีค่าความสกปรกมากกว่าน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไปเนื่องจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นทั้งการผ่าตัด การฟอกไตและกิจกรรมการรักษาอื่นๆอาจก่อให้เกิดปัญหาการปล่อยน้ำเสียหลังการบำบัดที่มีค่าคุณสมบัติไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานออกสู่ระบบสาธารณะอันเนื่องมาจากระบบบำบัดเดิมที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ขาดผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจมาดูแลระบบหากน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยออกสู่สาธารณะในจำนวนมากและต่อเนื่องทุกวันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนในชุมชนข้างเคียงทั้งเรื่องกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ความเจ็บป่วยทางด้านร่างกายเมื่อเกิดการสัมผัสกับน้ำเสียหรือได้รับการสูดดมกลิ่นในทุกวัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียขั้นสูงเช่น MBBR ซึ่งเป็นกระบวนที่ใช้ตัวกลางชีวภาพที่เคลื่อนที่อยู่ในถังบำบัดเพื่อเพิ่มพื้นที่ให้จุลินทรีย์เกาะตัวและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ทำงานร่วมกับเทคโนโลยี RO ซึ่งเป็นกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรนเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำ[6] กระบวนการกรองนี้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามชนิดของเมมเบรนได้แก่ 1.ไมโครฟิลเทรชัน (MF : Microfiltration) ขนาดรูพรุน 0.1 - 1.0 ไมครอน 2. อัลตราฟิลเทรชัน (UF : Ultrafiltration) ขนาดรูพรุน 0.01 - 0.1 ไมครอน 3.นาโนฟิลเทรชัน (NF : Nanofiltration) ขนาดรูพรุน 0.001 - 0.01 ไมครอน 4.รีเวิร์สออสโมซิส (RO : Reverse Osmosis) ขนาดรูพรุนเล็กกว่า 0.001 ไมครอน[7] ให้สามารถกำจัดสารละลายและอนุภาคที่มีขนาดต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบการกำจัดค่า TDS จากหน่วยฟอกไตก่อนที่จะน้ำเสียจากแผนกนี้เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางเป็นการลดภาระโหลดของระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง

วิธีวิจัย

1) รวบรวมข้อมูลของโรงพยาบาลสังกัดสำนักปลัดกระทรวงสาธารณสุข[4] ได้แก่ ขนาดโรงพยาบาล ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย สภาพการใช้งานของระบบบำบัดในปัจจุบัน และคุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมภายในโรงพยาบาล

2) กำหนดเกณฑ์การออกแบบด้วยระบบ MBBR ที่ทำงานร่วมกับ RO โดยการหาขนาดของถังจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น 440 m^3/day, ขนาดของถังบำบัด 225 m^3, ปริมาณ media 132.7 m^3 , อัตราเติม media คิดเป็น 60% ของปริมาตรถังรวมถึงตัวย่อในรายการคำนวณดังนี้ อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q), ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD), ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT), ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS), ตัวกลางพลาสติกที่ช่วยในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Media) ชนิด Kaldnes K1 Media แบบ High rate พื้นที่ผิวจำเพาะ 600 m^2/m^3 , เมมเบรนชนิด RO ขนาดรูพรุนเล็กกว่า 0.001 ไมครอน [8]

3) ออกแบบระบบ MBBR ที่ทำงานร่วมกับ RO [4] จากข้อมูลค่าพารามิเตอร์น้ำเสียของโรงพยาบาลประเภท A ที่มีขนาดเตียง 550 เตียง ที่มีจำนวนเตียงฟอกไต 36 เตียงโดยจำนวนรอบในการฟอกไต 4 รอบต่อวันต่อเตียง[2] ซึ่งเข้าข่ายหลักการมาตรฐานน้ำทิ้งของอาคารประเภท ก ค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการพิจารณาออกแบบระบบบำบัดคือ บีโอดี (BOD) ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS: Total Dissolve Solids) และอัตราการไหลของน้ำ (flow rate: m^3/day)

4) หลักการการออกแบบระบบจะเริ่มจากแบ่งน้ำเสียออกเป็น 2 ระบบเพื่อแยกไปบำบัดแต่จะใช้หลักการในการบำบัดเหมือนกันดังนี้ เริ่มจากการที่น้ำเสียเข้าสู่ระบบ MBBR ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่มี Media ลอยอยู่เพื่อให้จุลินทรีย์เกิดการยึดเกาะและย่อยสลายสารอินทรีย์หลังจากนั้นจะถูกส่งไปที่ถัง Sedimentation เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำ น้ำที่ใสแล้วจะลอยตัวด้านบนไหลออกไปสู่ขั้นตอนการกรองด้วยระบบ RO เพื่อกรองโมเลกุลโดยการใช้ Membrane ที่มีรูขนาดเล็กกว่า 0.0001 ไมครอน ในการกรองในขั้นตอนนี้จะเป็นการกรองเพื่อกำจัดค่า TDS, แร่ธาตุ, โลหะหนัก ขั้นตอนนี้จะมีน้ำเสีย2 ส่วนได้แก่ RO Reject จะมีค่าความเข้มข้นของสิ่งสกปรกสูงมากหากเทียบกับ RO Permeate จะเป็นน้ำที่สะอาดเนื่องจากสิ่งสกปรกส่วนใหญ่ถูกกั้นไว้โดยเมมเบรนแล้ว

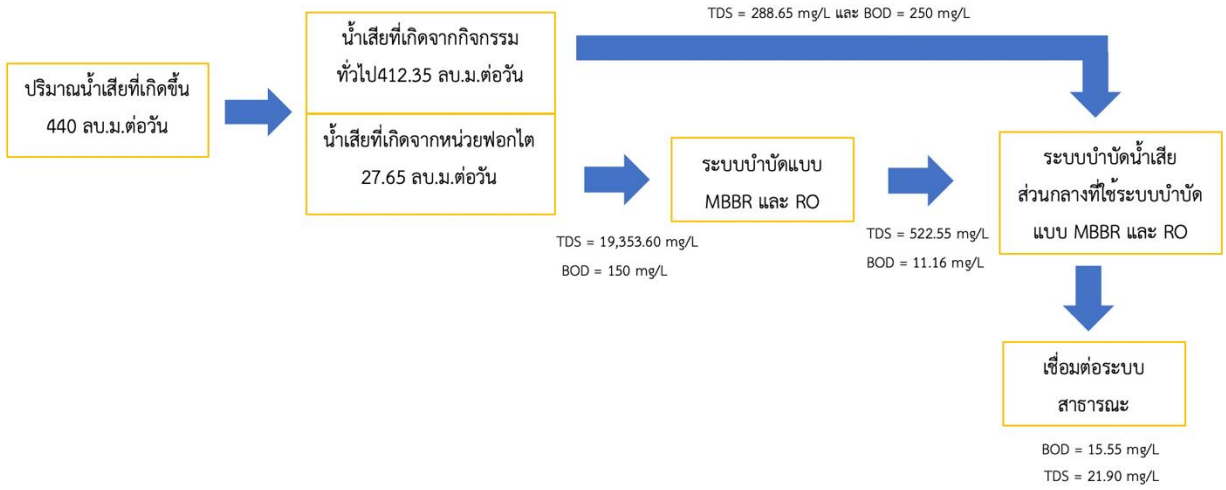
การทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลน้ำเสียของโรงพยาบาลประเภท A ที่มีขนาด 550 เตียง โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมภายในโรงพยาบาลและคิดน้ำเสียเป็น 80% ของน้ำใช้[5] ในการออกแบบระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลจะพิจารณาจากค่าคุณลักษณะของน้ำเสียที่ได้ข้อมูลและพร้อมทั้งกิจกรรมภายในโรงพยาบาลที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ จากชุดข้อมูลพบว่าในโรงพยาบาลมีปริมาณการใช้น้ำอยู่ที่ 550 ลบ.ม.ต่อวัน(คิดอัตราการใช้น้ำที่ 1000 ลิตรต่อเตียงต่อวัน)และน้ำเสียที่เกิดขึ้น 440 ลบ.ม.ต่อวัน ภายในโรงพยาบาลมีหน่วยฟอกไตที่มีจำนวนเตียง 36 เตียงและจำนวนรอบการล้างไต 4 รอบต่อวันต่อเตียง[2] น้ำเสียที่ระบบจะได้รับจากหน่วยฟอกไตต่อ 1 วันจะอยู่ที่ 27.65 ลบ.ม.ต่อวัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลอัตราการใช้น้ำที่เกิดขึ้นภายในโรงพยาบาล

รายละเอียด		
ปริมาณการใช้น้ำ	550	ลบ.ม.ต่อวัน
ปริมาณน้ำเสีย (80%)	440	ลบ.ม.ต่อวัน
จำนวนเตียงล้างไตเปิดบริการปัจจุบัน	36	เตียง
จำนวนรอบการล้างไต	4	รอบ
ปริมาณน้ำล้างไต	0.8	ลิตรต่อนาที
ระยะเวลาการฟอกไต	4	ชม.ต่อคน
ปริมาณน้ำล้างไต	192	ลิตรต่อคนต่อวัน
รวมปริมาณน้ำล้างไตทั้งหมด	27,648	ลิตรต่อวัน
	27.65	ลบ.ม.ต่อวัน

พบว่าค่าพารามิเตอร์น้ำเสียที่เป็นตัวสำคัญในการพิจารณาเลือกระบบบำบัดคือค่า TDS และ BOD เนื่องจากข้อมูลที่ได้พบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นของทางโรงพยาบาลมีค่า TDS ที่สูงมากจากหน่วยฟอกไตจึงจำเป็นจะต้องใช้เทคโนโลยีระบบบำบัดขั้นสูงเพื่อกำจัดค่า TDS ด้วยวิธี MBBR โดยนำเอาชุดข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 1 มาออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้เป็นน้ำทิ้งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 1 ตัวอย่างแสดงรูปประกอบ

ในการออกแบบระบบจะแบ่งน้ำเสียออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่ระบบจะได้รับจากหน่วยฟอกไตและน้ำเสียที่เกิดจะกิจกรรมทั่วไปและนำสมการในการออกแบบระบบ MBBR เพื่อมาใช้ในการออกแบบครั้งนี้โดยการนำเอาค่าพารามิเตอร์กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q), ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD), ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) กำหนด 6 ชั่วโมง, ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS), ตัวกลางพลาสติกที่ช่วยในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Media) ชนิด Kaldnes K1 Media พื้นที่ผิวจำเพาะ 600 m^2/m^3 นำค่าพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาลมาใช้ออกแบบและใช้สมการในการออก[9]แบบดังต่อไปนี้

1.ภาระสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ (Organic Load) (g BOD/m^2/day)

$$\text{Organic Load} = Q * (\text{BODin} - \text{BODout})$$

2. ปริมาณ BOD ในน้ำทิ้งหลังการบำบัด (Effluent BOD) (mg/L)

$$\text{Effluent BOD} = \frac{\text{BODloading} - \text{BODremovat rate}}{\frac{Q}{8.34}}$$

3. ปริมาณ TDS ที่ต้องกำจัด (mg/L)

$$\text{TDS}_{\text{ที่ต้องการกำจัด}} = Q * (\text{TDSin} - \text{TDSout})$$

4. TDS ที่ MBBR สามารถกำจัดได้ (mg/L)

TDS ที่กำจัดโดย MBBR = TDS เข้า × อัตราการกำจัดของ MBBR

5. TDS ที่ต้องกำจัดเพิ่มเติมด้วย RO (mg/L)

TDS ที่ต้องกำจัดโดย RO = TDS เข้า–TDS ที่กำจัดโดย MBBR

ในส่วนที่หนึ่งคือน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตพบว่าน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตที่มีจำนวน 36 เตียงมีปริมาณน้ำเสียอยู่ที่ 27.65 ลบ.ม.ต่อวันและค่า TDS ต่อวันอยู่ที่ 19,353.60 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่า BOD อยู่ที่ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ของหน่วยฟอกไตจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการบำบัดขั้นสูงที่สามารถกำจัดค่า TDS ให้ลดลงมากที่สุดก่อนที่จะส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ระบบที่เลือกใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตคือเทคโนโลยีการบำบัดแบบ MBBR ซึ่งจะทำงานร่วมกับระบบ RO เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดค่า TDS และ BOD เนื่องจาก RO เป็นเทคโนโลยีที่เมมเบรนสามารถดักจับ TDS ที่อยู่ในน้ำเสียได้อีกทั้งระบบ MBBR ยังเด่นในการการจัดการค่า BOD จากตัวกลางแขวนลอยที่อยู่ในระบบดังตารางที่ 2 แสดงค่า TDS และ BOD ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและค่าที่หลังออกจากระบบบำบัดพบว่าน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตที่มีค่าความเข้มข้นของ TDS ที่สูงถึง 19,353.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ผ่านเข้าสู่กระบวนการบำบัด MBBR พบว่ากระบวนการสามารถบำบัดค่า TDS ได้เพียงเล็กน้อยเมื่อพิจารณาจากค่าที่น้ำเสียออกมาอย่างไรก็ตามเมื่อน้ำเสียที่มีค่า TDS คงเหลือยังสูงอยู่ใน

ขั้นตอนต่อไปน้ำเสียจะผ่านกระบวนการกรองแบบ RO ซึ่งสามารถกรองอนุภาคอย่างเช่นตะกอน TDS ได้จะสังเกตจากตัวเลขได้ว่าค่า TDS หลังออกจากกระบวนการ RO มีค่าลดลงอย่างมากเนื่องจากประสิทธิภาพของ RO ที่สามารถกำจัดค่า TDS ได้ถึง 95%-99%[3] ทั้งนี้ระบบ RO ยังสามารถกำจัดค่า BOD ได้ถึง 85%-95% เมื่อพิจารณาจากค่า BOD และ TDS ก่อนเข้าระบบเท่ากับ 150 และ 522.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อผ่านระบบบำบัดได้ค่า BOD 11.26 มิลลิกรัมต่อลิตร หากพิจารณาตามมาตรฐานน้ำทิ้งแล้วน้ำทิ้งก้อนนี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 2 ปริมาณค่า TDS และ BOD ที่เกิดขึ้นจากหน่วยฟอกไต

รายละเอียด	ผลที่ได้	หน่วย
ค่า TDS ที่เข้าระบบ	19,353.60	มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่า BOD ที่เข้าระบบ	150	มิลลิกรัมต่อลิตร
TDS หลัง MBBR	17,418.24	มิลลิกรัมต่อลิตร
TDS ในน้ำดีหลัง RO (TDSout)	522.55	มิลลิกรัมต่อลิตร
BOD (Effluent)	11.26	มิลลิกรัมต่อลิตร

ยังคงเหลือน้ำจากกิจกรรมทั่วไปของทางโรงพยาบาลที่ต้องผ่านข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้พบว่ามีค่า BOD ที่เข้าระบบอยู่ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรอีกทั้งระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางยังรับน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตที่ผ่านการบำบัดมาแล้วโดยค่า BOD ที่รวมน้ำเสีย 2 ส่วนจะอยู่ที่ 261.26 มิลลิกรัมต่อลิตรกระบวนการบำบัดน้ำเสียส่วนกลางนี้ยังคงเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัด MBBR เพื่อมากำจัดค่า BOD ในน้ำเสียให้ได้ค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการบำบัดแสดงค่าตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณค่า TDS และ BOD ที่ผ่านการบำบัดโดยระบบรวมศูนย์

รายละเอียด	ผลที่ได้	หน่วย
BOD เข้าระบบ	261.26	มิลลิกรัมต่อลิตร
TDS เข้าระบบ	811.19	มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่า TDS เมื่อออกจากระบบ	21.90	มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่า BOD เมื่อออกจากระบบ	15.55	มิลลิกรัมต่อลิตร

พิจารณาค่าจากตารางที่ 3 เป็นค่าที่ได้จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบส่วนกลาง โดยระบบที่รับน้ำจากทั้งกิจกรรมทั่วไปและน้ำจากหน่วยฟอกไตที่ผ่านการบำบัดบัดมาแล้ว เมื่อวิเคราะห์ค่า BOD และ TDS ที่ออกจากระบบอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดสามารถปล่อยออกสู่สาธารณะได้หากคิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 94.05% , 97.29% ตามลำดับ

วิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลที่มีประสิทธิภาพในการจัดการปัญหาค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)ที่สูงโดยเฉพาะจากหน่วยฟอกไตซึ่งเป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตมีค่า TDS สูงกว่าน้ำเสียทั่วไปและระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของโรงพยาบาลส่วนใหญ่มักไม่สามารถกำจัด TDS ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งระบบเหล่านี้มักถูกสร้างมาพร้อมกับการสร้างโรงพยาบาลหรือมีอายุมากกว่า 20 ปีและส่วนมากเป็นระบบ Activated Sludge (AS) ซึ่งใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่หากมีค่า TDS สูงจะส่งผลให้จุลินทรีย์เติบโตช้าและประสิทธิภาพของระบบลดลงแนวทางที่นำเสนอคือการบำบัดน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตแยกจากน้ำเสียส่วนอื่นๆโดยใช้ระบบ Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) ร่วมกับ Reverse Osmosis (RO) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการกำจัดทั้ง Biochemical Oxygen Demand (BOD) และ TDS ผลการทดลองพบว่าระบบที่ออกแบบสามารถลดค่า TDS และ BOD ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดและช่วยลดภาระของระบบ

บำบัดน้ำเสียส่วนกลางอย่างไรก็ตามการวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณาคือ เป็นการศึกษาในโรงพยาบาลเฉพาะประเภทและขนาดและมีรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบระบบ, ต้นทุน, ค่าใช้จ่ายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางและยั่งยืน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในโรงพยาบาลประเภทอื่นๆและให้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้น รวมถึงการเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆด้วย

สรุป

จากการวิเคราะห์น้ำเสียในโรงพยาบาลพบว่าน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) สูงจึงออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโดยแยกน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตมาบำบัดเบื้องต้นโดยพิจารณาปริมาณน้ำเสีย, ความเข้มข้นของ TDS และ BOD, และคุณภาพน้ำทิ้งตามมาตรฐาน การออกแบบในระบบ MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) คำนึงถึงชนิดของ Media, อัตราการเติม Media, ขนาดถังบำบัด, ระยะเวลาการเก็บน้ำ, ส่วนการออกแบบระบบ RO (Reverse Osmosis) จะคำนึงถึงการออกแบบระบบไส้กรอง RO, การจัดเรียงไส้กรอง, และขนาดรูพรุน กลไกในการทำงานระบบ MBBR ใช้ Media ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะสร้างไบโอฟิล์มย่อยสลายสารอินทรีย์โดย Media ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายระบบ RO ใช้เยื่อกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็กเพื่อกำจัด TDS เป็นหลักผลการดำเนินงานพบว่าระบบ MBBR และ RO สามารถลด TDS และ BOD ในน้ำเสียจากหน่วยฟอกไตได้ 85% - 95% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งระบบ MBBR มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ขณะที่ RO กำจัด TDS ได้ดี ทำให้ภาระของระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางลดลงดังนั้น การบำบัดน้ำเสียโดยแยกหน่วยฟอกไตและใช้ MBBR และ RO เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาล.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพชนิดตัวกลางเคลื่อนที่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.พีรกานต์ บรรเจิดกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและชี้แนะจนทำให้วิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and ultrafiltration processes: case study in Saveh-Iran Hospital. (2563). Desalination Publications.

[2] Ahmed, H.A., Gameh, M.A., Eissa, M.A., Mohamed M. and Abd El Wahab, 2024. A case study on hemodialysis wastewater and reverse osmosis reject water, วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2567

[3] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด, วันที่ 7 พฤศจิกายน 2548

[4] กองบริหารการสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข, 2565. การวิเคราะห์สถานการณ์การจัดการระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ปีงบประมาณ พ.ศ.2565. พิมพ์ที่ บริษัท บอร์น ทู บี พับลิชชิ่ง จำกัด. ISBN 978-616-11-4876-8.

[5] กองบริหารการสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข, 2564. คู่มือการควบคุมและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล. พิมพ์ที่ บริษัท บอร์น ทู บี พับลิชชิ่ง จำกัด.

[6] Pat Brooks, Alan Cooper, and Glenn Daigger. Wastewater Management Fact Sheet Membrane Bioreactors, กันยายน 2550.

[7] Michał Bodzek and Piotr Bodzek, 2568. Remediation of Micro- and Nanoplastics by Membrane Technologies. วันที่ 5 มีนาคม 2568.

[8] Syed R. Qasim. 1985. Wastewater Treatment Plants. CBS Internationa Editions.

[9] Harlan H. Bengtson, PhD, P. E., Biological Wastewater Treatment Processes II: MBBR Processes, New Jersey, Continuing Education and Development, Inc.

21R2-08

ผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยและจุลินทรีย์ในระบบ

Effect of Microplastic On Leachate Treatment System's Microbial and Treatment Efficiency

ธนวัฒน์ พงษ์ทองเจริญ[1]
Thanawat Pongthongcharoen
[1]นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ 10330 โทรศัพท์ : 097-192-7908 Email : Patom1996@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยและจุลินทรีย์ในระบบโดยใช้ระบบบำบัดจำลองแบบเอสบีอาร์ในการทดลองครั้งนี้ โดยงานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1.ศึกษาผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ 2. เพื่อศึกษาผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ และ 3. เพื่อศึกษาเส้นทางของไมโครพลาสติกในระบบและความสามารถในการกำจัดไมโครพลาสติกผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบบเอสบีอาร์

โดยการทดลองนี้ได้ทำการทดลองดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบเอสบีอาร์เป็นจำนวน 3 ปฏิกรณ์ที่ใส่ไมโครพลาสติกในปริมาณที่แตกต่างกันคือไม่ใส่, ใส่เท่าที่พบในน้ำชะขยะและใช้เป็น 100 เท่าของที่พบในน้ำชะขยะแล้วดำเนินระบบเป็นระยะเวลา 94 วัน ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีโดยเฉลี่ยของทั้งสามระบบคือ 61.53%, 57.88% และ 50.81% ตามลำดับซึ่งประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อไมโครพลาสติกในระบบเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับสภาพกรด-ด่าง ที่แปรผกผันกับปริมาณไมโครพลาสติกและความสัมพันธ์นี้ยังสอดคล้องกับสัดส่วนของชุมชนจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันในแต่ละระบบอีกด้วยแต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าปริมาณไมโครพลาสติกที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลกลับประสิทธิภาพการบำบัดไนโครเจนและฟอสฟอรัสในระบบได้

นอกจากไมโครพลาสติกที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ลดลงแล้วไมโครพลาสติกยังสามารถสะสมตกค้างในระบบและมีบางส่วนสามารถออกจากระบบบำบัดไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นแล้วระบบบำบัดที่ต้องรับน้ำเสียที่มีไมโครพลาสติกเจือปนเยอะเช่นน้ำชะขยะควรจะมีการกำจัดไมโครพลาสติกก่อนเข้าระบบ

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก; ชุมชนจุลินทรีย์; ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์

Abstract

This research aims to study the impact of microplastics on the performance of leachate treatment systems and microorganisms in the system using a Sequencing Batch Reactor (SBR) for this experiment. The objectives of this research are 1. The impact of microplastics on the efficiency of COD and nitrogen removal in the SBR treatment system. 2. The impact of microplastics on the changes in the microbial community composition in the SBR treatment system. and 3. The pathways of microplastics in the system and the ability to remove microplastics with the SBR wastewater treatment system.

In this experiment, a SBR wastewater treatment system was tested by using three reactors with different amounts of microplastics by none, the amount found in leachate, and 100 times the amount found in the real leachate. The system was operated for 94 days. It was found that the average COD removal

efficiency of the three systems was 61.53%, 57.88%, and 50.81%, respectively. The COD removal efficiency significantly decreased as the amount of microplastics in the system increased, like the pH level that was inversely proportional to the amount of microplastics. And this change is also consistent with the different proportions of microbial communities in each system. However, this experiment has not yet concluded whether the increased amount of microplastics affects the nitrogen and phosphorus treatment efficiency in the system.

In addition to the increased microplastics reducing the efficiency of the SBR wastewater treatment system, microplastics can also accumulate in the system, with some being able to escape the treatment system into the environment. Therefore, treatment systems that handle wastewater with a high concentration of microplastics, such as leachate, should remove microplastics before entering the system.

Keywords : Microplastic; Microbial Community; sequencing batch reactor (SBR)

บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นโดยการสังเคราะห์จากปิโตรเคมีเพื่อใช้แทนวัสดุจากธรรมชาติ โดยมนุษย์ใช้ประโยชน์จากพลาสติกมาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งพลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้านเช่น เครื่องนุ่งห่ม บรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ หน้ากากอนามัย เป็นต้น โดยพลาสติกเริ่มเป็นวัสดุที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในช่วงศตวรรษที่ 20 และมีการผลิตและใช้งานที่มากขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่นั้น (Plastics Europe, 2019) [1]

อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ใช้อยู่นั้นส่วนใหญ่แล้วไม่สามารถหรือใช้เวลานานในการย่อยสลายทางชีวภาพ จึงก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมาในภายหลัง เช่น การอุดตันท่อระบายน้ำทำให้น้ำท่วมขัง ทำลายทัศนียภาพ ก่ออันตรายต่อสัตว์ (สุกฤตา ปุณยอุปพัทธ์, 2019) [2] โดยสำหรับประเทศไทยมีขยะพลาสติกเกิดขึ้นประมาณ 2 ล้านตันในแต่ละปีหรือคิดเป็น 20% ของปริมาณขยะทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2019) [3] และพลาสติกส่วนใหญ่เมื่อถูกใช้เสร็จจะถูกนำไปไปกำจัดโดยการฝังกลบ เมื่อเวลาผ่านไปพลาสติกเหล่านั้นจะแตกตัวและกลายเป็นพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร หรือเรียกว่า “ไมโครพลาสติก” โดยไมโครพลาสติกเหล่านั้นมีขนาดเล็กจึงสะสมได้ในห่วงโซ่อาหารและมีความเป็นพิษเนื่องจากอนุภาคไมโครพลาสติกเหล่านั้นสามารถดูดซับสารพิษชนิดอื่น ๆ เช่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง ซึ่งอาจมีอยู่ในหลุมฝังกลบได้เป็นจำนวนมากหากไม่มีการรับมือหรือการจัดการที่เหมาะสมอาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้ (Sun และคณะ, 2021) [4]

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับไมโครพลาสติกมากขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมานี้แต่ส่วนใหญ่จะเป็นหัวข้อเกี่ยวกับด้านนิเวศวิทยาและชีววิทยาทางทะเลรวมกันมากกว่า 90% ของงานวิจัยทั้งหมดในช่วงปี 2014–2019 (Jes และคณะ, 2019) [5] โดยในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์และเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียมีไม่มากนัก (Jes และคณะ, 2019) [5] โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความเข้มข้นของไมโครพลาสติกที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อโครงสร้างของจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำนั้น ๆ (Li และคณะ, 2020) [6] โดยคาดว่าไมโครพลาสติกเป็นทั้งตัวช่วยในการเติบโตของแบคทีเรียบางกลุ่มด้วยการให้แบคทีเรียกลุ่มนั้นเกาะและเติบโตบนพื้นผิวของไมโครพลาสติกเหล่านั้นและอาจยังเป็นตัวยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งเนื่องจากสารกลุ่มพทาเลต (phthalate) ซึ่งเป็นกลุ่มสารเคมีที่เติมลงไปในโพลิเมอร์หรือการผลิตอาจหลุดออกมาจากไมโครพลาสติกและเป็นพิษต่อแบคทีเรียกลุ่มข้างต้น นอกจากนี้ยังมีข้อมูลอีกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ก่อโรคในมนุษย์จะพบมากขึ้นในตัวอย่างที่มีการเจือปนของไมโครพลาสติกในปริมาณที่มากกว่าอีกด้วย (Li และคณะ, 2020) [6] และในงานศึกษาไมโครพลาสติกในหลุมฝังกลบก่อนหน้านี้พบว่าตะกอนเวียนจากระบบบำบัดแบบชีวภาพในการศึกษานั้นมีไมโครพลาสติกประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งแสดงให้เห็นถึงโอกาสที่ไมโครพลาสติกจะกลับเข้าสู่ระบบบำบัดชีวภาพอีกครั้งและสะสมตัวและเพิ่มความเข้มข้นของไมโครพลาสติกในระบบชีวภาพได้ (Ou และคณะ, 2022) [7]

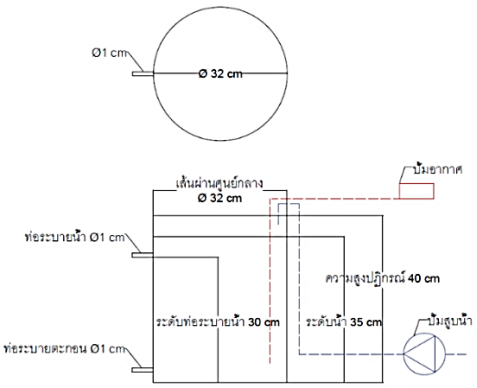
โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อชุมชนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดและต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดรวมถึงประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกของระบบ โดยระบบบำบัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ “Sequencing Batch Reactor : SBR ” เนื่องจากเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัด

น้ำชะขยะ โดยน้ำเสียที่ใช้ในระบบจะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับน้ำชะขยะที่เก็บจากหลุมฝังกลบในภาคกลางหรือภาคใต้ที่ได้รับอนุญาตให้เข้าไปเก็บตัวอย่างได้โดยสามารถเตรียมจากโซเดียมอะซิเตท โซเดียมโปรปิโอเนต และโซเดียมฮิวเมต เพื่อให้มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำชะขยะและไมโครพลาสติกในน้ำเสียสังเคราะห์นี้จะเป็นไมโครพลาสติกสังเคราะห์ที่เตรียมด้วยเครื่องปั่นสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและนำไปคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงกรองโลหะขนาด 500 ไมครอน ถึง 100 ไมครอนและนำไปใช้เตรียมการทดลองการบำบัดน้ำชะขยะสังเคราะห์ที่มีปริมาณไมโครพลาสติกที่แตกต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

ปฏิกรณ์จำลองของระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์

ปฏิกรณ์จำลองของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีเครื่องเติมอากาศหัวฟองฟู่สำหรับเติมอากาศน้ำและการกวนผสมในระบบ มีท่อสำหรับระบายตะกอนที่ส่วนล่างของถัง 1 ท่อ และมีท่อระบายน้ำเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำภายในปฏิกรณ์ 1 ท่อที่ส่วนบนของปฏิกรณ์ โดยปฏิกรณ์จำลองมีขนาดและรูปร่างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดและรูปร่างปฏิกรณ์จำลองของระบบบำบัดน้ำเสีย

การควบคุมดูแลกระบวนการบำบัดในปฏิกรณ์จำลอง

ปฏิกรณ์จำลองของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR จะมีการดำเนินการบำบัด 1 รอบการทำงานเป็นระยะเวลารวม 24 ชั่วโมงด้วยปริมาตรน้ำในระบบ 28 ลิตร โดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1 cycle	เติมน้ำเสีย	15	นาที
	การเกิดปฏิกิริยา	21.5	ชั่วโมง
	ทิ้งให้ตกตะกอน	2	ชั่วโมง
	ระบายน้ำใส+พัก	15	นาที
	รวม 1 cycle	24	ชั่วโมง

โดยการทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลองนาน 94 วัน

การควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ตาราง 1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ และช่วงที่ควบคุมสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

พารามิเตอร์	ช่วงที่ควบคุม	วิธีการ
pH	6.5 - 8.5	เติม NaOH หรือ H_2SO_4
ค่าอายุสลัดจ์ - SRT	45 วัน	ทิ้งตะกอนส่วนเกิน
ออกซิเจนละลายน้ำ - DO	2 - 3 มก./ลิตร	เครื่องเติมอากาศ
อุณหภูมิ	ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง	ดำเนินการทำลองในสถานที่เดียวกัน
SV 30	450 มก./ลิตร	ทิ้งตะกอนส่วนเกิน

การเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง

เตรียมน้ำเสียตัวอย่างให้ใกล้เคียงกับน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบระยะปานกลาง(5-10 ปี) โดยน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบตัวอย่างจะมีลักษณะดังตารางที่ 2 (Ou และคณะ, 2022) [8] และเตรียมโดยสารเคมีดังตารางที่ 3

ตาราง 2 พารามิเตอร์น้ำชะขยะตัวอย่างจากหลุมฝังกลบในประเทศไทย

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น
ซีโอดี (COD)	mg/L	9,025
บีโอดี (BOD_5)	mg/L	155
บีโอดี/ซีโอดี (BOD_5/COD)		0.017
ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)	mg/L	3.32
แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N)	mg/L	2,159
ไนโตรเจนด้วยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl nitrogen)	mg/L	2,304

ตารางที่ 3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ต่อตัวอย่างน้ำหนึ่งลิตร (mg/L)	พารามิเตอร์ที่ได้ (mg/L)					
		COD	BOD_5	BOD_5/ COD	NH_4 (as N)	TKN	TP
โซเดียมฮิวเมต	8,100	8,910	65	0.0073	-	-	-
โซเดียมอะซิเตท	90	71	37	0.5267	-	-	-
โซเดียมโปรปิโอเนต	90	105	56	0.5867	-	-	-
แอมโมเนียมคลอไรด์	8,200	-	-		2,140	2,140	-
ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต	30	-	-		-	-	3.27
ผลรวมพารามิเตอร์	-	9,086	158	0.0173	2,140	2,140	3.27
พารามิเตอร์น้ำเสียตัวอย่าง	-	9,025	155	0.0172	2,159	2,304	3.32

การเตรียมไมโครพลาสติกสำหรับการทดลอง

ใช้ไมโครพลสติกขนาดเล็กโดยนำเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) เนื่องจากเป็นไมโครพลาสติกที่พบได้ส่วนใหญ่ในน้ำชะขยะจากหลุมหลุมฝังกลบ (Wojnowska-Baryła และคณะ ,2022) [9] โดยนำเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนมาปั่นด้วยเครื่องปั่นสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและนำไปคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงกรองโลหะขนาด 500 ไมครอน ถึง 100 ไมครอน สำหรับเตรียมน้ำชะขยะสังเคราะห์ที่มีไมโครพลาสติกความเข้มข้น 10 มิลิกรัมต่อลิตรและ 1,000 มิลิกรัมต่อลิตร

การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

เตรียมเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำที่ใกล้เคียงกับระบบบำบัดน้ำชะขยะโดยในการทดลองนี้ได้นำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา

การศึกษาไมโครพลาสติก

องค์การบริหารมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศแห่งชาติ (NOAA) ได้ตีพิมพ์เอกสารให้แนวทางสำหรับปฏิบัติการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกในระบบนิเวศทางทะเลซึ่งมีคำแนะนำสำหรับการตรวจวัดไมโครพลาสติกที่ผิวน้ำ ที่ชายหาดและตะกอนในทะเลโดยขั้นตอนที่ตีพิมพ์มานี้เป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการดำเนินการและไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ล้ำสมัยโดยเทคนิคการวิเคราะห์

ไมโครพลาสติกดังกล่าวสามารถใช้ในการวัดความเข้มข้นของไมโครพลาสติกได้ในหลากหลายหน่วยวัด ได้แก่ จำนวนชิ้นไมโครพลาสติกต่อมวลหรือปริมาตร (Cole, 2016)

ศึกษาชุมชนจุลินทรีย์

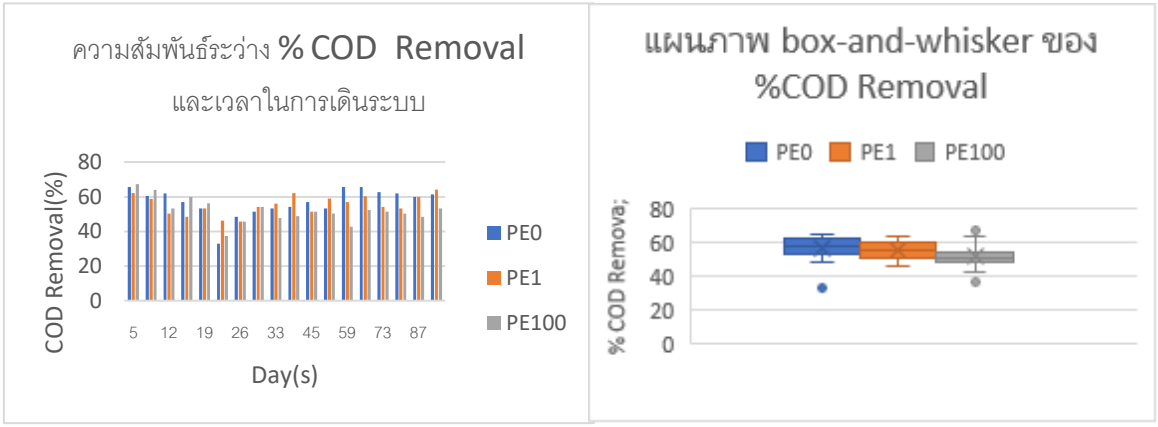
วิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ประสิทธิภาพสูง MiSeq เพื่อสังเกตการสัดส่วนจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันโดยนำตัวอย่างตะกอนจากระบบนำส่งศูนย์วิทยาศาสตร์โอมิกส์และชีวสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

1.การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

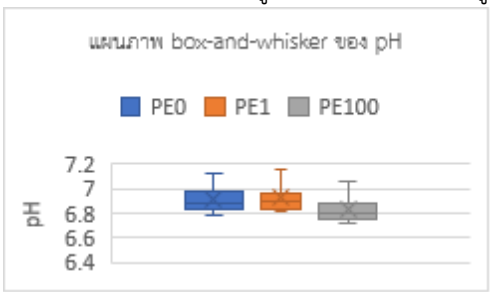
ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบจำลองทั้งสามมีแนวโน้มลดลงในช่วง 26 วันแรก และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนประสิทธิภาพการบำบัดคงที่หลังวันที่ 59 ที่ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของเดือนสุดท้ายอยู่ที่ 61.53%, 57.88% และ 50.81% ตามลำดับ



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและกราฟแสดงความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละระบบ

2.การศึกษาสภาพกรด-ด่างของระบบ

จากการวิเคราะห์ด้วย Anova และ T-Testพบว่าระบบที่มีไมโครพลาสติกสูงจะส่งผลให้สภาพกรด-ด่างเป็นกรดมากขึ้นเมื่อระบบบำบัดจำลองมีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้นในระบบดังรูปที่ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.912,6.924 และ 6.831 ตามลำดับ



รูปที่ 3 สถาพกรดด่างของแต่ละระบบ

3.การศึกษาไนโครเจนและฟอสพอรัสในระบบ

จากการศึกษาโดยนำตัวอย่างน้ำส่งตรวจที่สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมและนำมาวิเคราะห์ด้วย Anova และ T-Test ไม่สามารถระบุได้ว่าไมโครพลาสติกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบ

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น,ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบ

ค่าพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดในระบบ (%)		
	PE0	PE1	PE100
TKN	97.14380841	96.81366822	97.04941589
TN	97.34485981	97.13481308	96.86740654
TP	49.75535168	50	51.68195719

4.พารามิเตอร์ควบคุม

ในการทดลองจะมีพารามิเตอร์ควบคุม 2 ตัวได้แก่ DO และ TSS พบว่าพารามิเตอร์ทั้งสองเมื่อวิเคราะห์ด้วย Anova และ T-Test สามารถบอกได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองทั้งสามมีพารามิเตอร์ควบคุมดังกล่าวไม่แตกต่างกัน

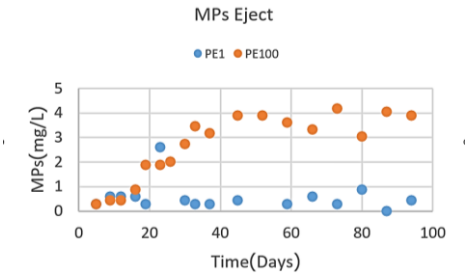
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น,ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบ

ค่าพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ควบคุม		
	PE0	PE1	PE100
DO (mgO_2/L)	3.482	3.392	3.430
TSS (mg/L)	6111.111111	6090	6120

โดยพารามิเตอร์ค่าออซิเจนละลายน้ำที่สูงกว่าค่าแนะนำของการเดินระบบที่ 2-3 mg/L เนื่องจากต้องการให้ระบบมีการกวนผสมที่ทั่วถึงและไม่มีจุดบอดของระบบบำบัดที่ไม่ได้รับออกซิเจน

<u>การศึกษาไมโครพลาสติกในระบบ</u>

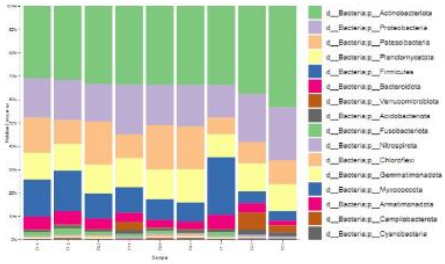
ไมโครพลาสติกที่หลุดออกมาจากระบบ พบกว่าทั้งสองระบบที่มีการเติมไมโครพลาสติกนั้นมีปริมาณไมโครพลาสติกที่หลุดมาจากน้ำทิ้งคิดเป็นร้อยละ 4.69% และ 0.26% โดยเฉลี่ย และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลองดังรูปที่ 4 โดยไมโครพลาสติกส่วนที่เหลือยังคงสะสมอยู่ในระบบหรือลอยอยู่บนผิวน้ำของน้ำเสียในระบบ



รูปที่ 4 ปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำทิ้งออกจากระบบ

<u>การศึกษาชุมชนจุลินทรีย์ในระบบ</u>

การวิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์ได้ข้อมูลดังรูปที่ 4 พบว่าแบคทีเรียกลุ่ม “Patescibacteria” ที่พบได้ทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสียและเป็นแบคทีเรียที่มีส่วนสำคัญในการสร้างกรดแลคเตทและฟอเมต [5] มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของไมโครพลาสติกอย่างมีนัยยะสำคัญ ในทางกลับกันแบคทีเรียกลุ่ม “Bacteroidota” ที่มีความสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ [6] ลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญตามการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติกในระบบ



รูปที่ 5 ชุมชนจุลินทรีย์ในระบบ

สรุป

ไมโครพลาสติกในระบบที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำดัดซีโอดีที่ลดลง รวมถึงสภาพกรด-ด่างที่มีค่าแปรผกผันกับปริมาณไมโครพลาสติกที่สูงขึ้นที่เปลี่ยนไปสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของชุมชนจุลินทรีย์ในระบบ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังสรุปไม่ได้ว่าไมโครพลาสติกที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลต่อการกำจัดไนโครเจนและฟอสฟอรัสในระบบ และงานวิจัยนี้ยังพบว่าไมโครพลาสติกสามารถสะสมตกค้างในระบบและมีบางส่วนสามารถออกจากระบบบำบัดไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นแล้วระบบบำบัดที่ต้องรับน้ำเสียที่มีไมโครพลาสติกเจือปนเยอะเช่นน้ำชะขยะควรจะมีการกำจัดไมโครพลาสติกก่อนเข้าระบบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความกรุณา คำแนะนำและปรับปรุงแก้ไขโดย รศ.ดร.ดาว สุวรรณแสง จั่นเจริญ และกราบขอบคุณพี่ๆ พนักงานโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาที่ให้เข้าไปเก็บตัวอย่างตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และขอขอบคุณ Thaiyal Nayahi Narhayanan ที่ให้คำแนะนำในการทดลองทำแลปและการเตรียมไมโครพลาสติกมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Plastics Europe. (2019, 17/10/2565). *Plastics – the Facts 2019*.

Praagh, M. v., Hartman, C., & Brandmyr, E. (2018). Microplastics in landfill leachates in the nordic countries. In: Nordisk Ministerråd.

[2] สุกฤตา ปุณยอุปพัทธ์. (2019). ไมโครพลาสติก : จุดกำเนิด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและวิธีการจัดการ.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2019). รายงานประจำปี *2561* กรมควบคุมมลพิษ. Retrieved 23/11/2565 from https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-15_07-07-28_769479.pdf

[4] Sun, J., Zhu, Z.-R., Li, W.-H., Yan, X., Wang, L.-K., Zhang, L., Jin, J., Dai, X., & Ni, B.-J. (2021). Revisiting microplastics in landfill leachate: unnoticed tiny microplastics and their fate in treatment works. *Water Research*, *190*, 116784.

[5] Jes, V., Alvise, V., & Claudia, L. (2019). *Knowledge gaps in microplastics research*. Aalborg University. https://plastikviden.dk/media/212209/knowledge-gaps-in-microplastics-research.pdf

[6] Li, C., Gan, Y., Dong, J., Fang, J., Chen, H., Quan, Q., & Liu, J. (2020). Impact of microplastics on microbial community in sediments of the Huangjinxia Reservoir—water source of a water diversion project in western China. *Chemosphere*, *253*, 126740.

[7] Ou, B., Liu, Y., & Janjaroen, D. (2022). Municipal solid waste sanitary and open landfills: Contrasting sources of microplastics and its fate in their respective treatment systems. Journal of Cleaner Production, 135095.

21R2-09

การศึกษาประสิทธิภาพการลดซีโอดีและแอมโมเนียมน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานวุ้นเส้นด้วยวิธีการ Downflow Hanging Sponge (DHS) แบบดัดแปลง

Evaluation of COD and Ammonium Removal Efficiency Using Modified Media for DHS System for Vermicelli Factory Effluent Treatment

ภีมมานนท์ หงษาวดี[1*] จารวี แก้วใหญ่[2] สุเมธ วงศ์เขียว[3] และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์[4]

Peemmanon Hongsawadee[1*] Jarawee Kaewyai[2] Sumeth Wongkiew[3] and Pongsak Noophan[4]

[1*]นิสิตบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*โทรศัพท์ : 08 9232 6700 E-mail : peemmanon.ho@ku.th

[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[3]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ 10330

[4]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

ระบบ Downflow Hanging Sponge (DHS) เป็นระบบที่ใช้สำหรับการบำบัดขั้นที่สอง จุดเด่นของระบบนี้ คือ ใช้พื้นที่น้อย ค่าดำเนินงานต่ำ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลายกระบวนการและบำบัดน้ำเสียหลายประเภท จึงนับว่าเป็นระบบที่มีความน่าสนใจ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ระบบ DHS ในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจากโรงงานผลิตวุ้นเส้น งานวิจัยนี้ทำการทดลองดัดแปลงฟองน้ำโพลียูรีเทนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ การเคลือบด้วยอีพอกซีเรซิน และการทำเป็นตัวกลางเซรามิก จากนั้นมีการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางแตกต่างกัน ทั้งหมด 3 ระบบ ได้แก่ ฟองน้ำโพลียูรีเทนปกติ ฟองน้ำโพลียูรีเทนเคลือบอีพอกซีเรซิน และตัวกลางเซรามิก ตัวกลางทั้ง 3 แบบถูกติดตั้งในระบบ DHS ซึ่งมีการจัดเรียงแต่ละชนิดเป็นเส้นเดี่ยวตามแนวตั้งและดำเนินการศึกษาติดตามประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ DHS โดยทดลองในงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 300 มก./ล. และแอมโมเนียม 80 มก.-ไนโตรเจน/ล. ซึ่งเป็นค่าที่จำลองมาจากน้ำเสียจากโรงงานวุ้นเส้นที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแล้ว ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของระบบบ DHS ที่ใช้ตัวกลาง ฟองน้ำโพลียูรีเทนปกติ ฟองน้ำโพลียูรีเทนเคลือบอีพอกซีเรซิน และตัวกลางเซรามิก เท่ากับร้อยละ 97.9 98.5 และ 98.4 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมของระบบทั้ง 3 ระบบยังคงมีค่าต่ำ โดยระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำเคลือบเรซิ่นและตัวกลางเซรามิกมีความสามารถในการลดแอมโมเนียได้เพียงร้อยละ 0.86 และ 3.4 ตามลำดับ ขณะที่ระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำปกติยังไม่สามารถบำบัดแอมโมเนียมให้ลดลงได้

คำสำคัญ : โรงงานวุ้นเส้น; น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด; Downflow Hanging Sponge; ความต้องการออกซิเจนทางเคมี; แอมโมเนียม

Abstract

The Downflow Hanging Sponge (DHS) system is a secondary treatment system. Its advantages include its small footprint, low operating costs, and the ability to be applied to many processes and treat many types of wastewater. Therefore, it is an interesting system. The objective of this research is to evaluate the feasibility of applying the DHS system to treat wastewater that has undergone anaerobic treatment from a vermicelli factory. This research experimented on modifying polyurethane sponges in different ways, namely, coating with epoxy resin and making it a ceramic medium. Then, the efficiency of the DHS system using three different media was compared, namely, normal polyurethane sponge, epoxy resin-coated polyurethane sponge, and ceramic medium. All three media were installed in the DHS system, arranged in a single vertical line, and the efficiency of the DHS system was monitored. In this research, synthetic wastewater with a COD value of 300 mg/l and ammonium 80 mg-nitrogen/l were used, which were values simulated from the wastewater from a vermicelli factory that had undergone anaerobic treatment. The experimental results showed that the COD treatment efficiency of DHS system using normal polyurethane sponge, epoxy resin coated polyurethane sponge and ceramic media were 97.9%, 98.5% and 98.4%, respectively. However, the ammonia treatment efficiency of all three systems was still low. The DHS system using resin coated sponge and ceramic media had the ability to reduce ammonia by only 0.86% and 3.4%, respectively, while the DHS system using normal sponge media could not reduce ammonia.

Keywords : Vermicelli Production Plant; Treated Wastewater; Downflow Hanging Sponge; Chemical Oxygen Demand; Ammonium

บทนำ

เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตวุ้นเส้นมีปริมาณสารอินทรีย์และสารแขวนลอยสูงจึงมีการประยุกต์ใช้กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Sridang, Wongsawan et al. 2024) อย่างไรก็ตามน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนหรือวัดเป็นค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) รวมถึงแอมโมเนียมคงเหลือปริมาณสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำ [2] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเหมาะสม

ระบบ Downflow Hanging Sponge (DHS) เป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่ออกแบบให้น้ำเสียไหลลงผ่านฟองน้ำที่แขวนในแนวดิ่ง โดยฟองน้ำทำหน้าที่เป็นแหล่งยึดเกาะของจุลินทรีย์ ซึ่งช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งน้ำเสียในระบบสัมผัสกับออกซิเจนจากอากาศ ทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานเพื่อเติมอากาศ (Nurmiyanto and Ohashi 2019) จึงนับว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน อย่างไรก็ตาม วัสดุตัวกลางฟองน้ำที่ใช้ในระบบอาจมีการเสื่อมสภาพจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดในระยะยาว ดังนั้นการพัฒนาตัวกลางในด้านความคงทนสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานรวมถึงส่งเสริมการยึดเกาะของจุลินทรีย์บนตัวกลางเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจึงมีความจำเป็นต่อระบบบำบัดแบบ DHS

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาและพัฒนาตัวกลางที่ใช้ในระบบ DHS เพื่อเพิ่มความคงทนของตัวกลางและเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนและแอมโมเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย รวมถึงประเมินการนำน้ำที่ผ่านระบบ DHS กลับไปใช้ซ้ำในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวกลางฟองน้ำ

1. ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษานี้มี 3 ชนิด ได้แก่ (1) ฟองน้ำโพลียูรีเทน (2) ฟองน้ำเคลือบเรซิ่น และ (3) เซรามิกที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ตัวกลางแต่ละชนิดมีขนาด 2 ซม. × 2 ซม. × 2 ซม. และมีรูพรุนขนาดประมาณ 15 ppi เช่นเดียวกัน

2.การเตรียมตัวกลางที่ 1 (ฟองน้ำปกติ) เป็นฟองน้ำโพลียูรีเทนที่มีรูพรุนแบบหยาบ มีการตัดให้เป็นลักษณะลูกบาศก์ที่มีขนาด 2 ซม. × 2 ซม. × 2 ซม. การเตรียมตัวกลางที่ 2 เป็นการดัดแปลงฟองน้ำด้วยการเคลือบเรซิ่น โดยนำฟองน้ำตัวกลางที่ 1 ไปชุบอีพอกซีเรซิ่นใสและทำการตากใว้ให้เรซิ่นเกิดการแข็งตัว และ การเตรียมตัวกลางที่ 3 เป็นการดัดแปลงฟองน้ำโดยนำไปผ่านกระบวนการทำเซรามิก เริ่มจากนำฟองน้ำตัวกลางที่ 1 มาชุบน้ำสลิปที่มีดินบดละเอียดผสมกันน้ำในอัตราส่วน 100:45 กรัม และทำการใส่โซเดียมซิลิเกต 0.27 กรัม แล้วทำการวัดความถ่วงจำเพาะให้มีค่าอยู่ที่ 1.7-1.9 แล้วจึงทำการนำฟองน้ำมาชุบกับน้ำสลิปและตากไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แล้วทำการอบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง แล้วทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

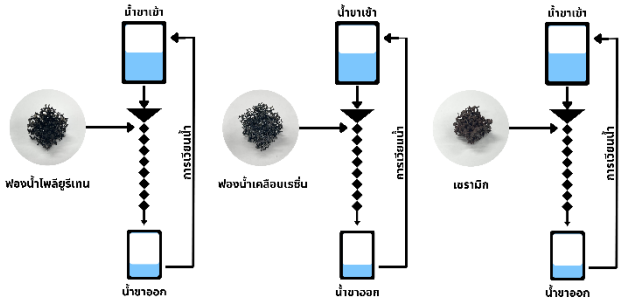
3. การเตรียมตัวกลาง ก่อนเริ่มทดลองได้นำตัวกลางทั้ง 3 ชนิดใส่ไว้ในระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์แบบแอโรบิกที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียจริงเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะบนตัวกลางก่อนจากนั้นจึงนำไปติดตั้งในระบบ DHS



รูปที่ 1 ตัวกลางชนิด (1) ฟองน้ำปกติ (2) ฟองน้ำเคลือบเรซิ่น และ (3) เซรามิก

ระบบ Downflow Hanging Sponge (DHS)

ระบบ DHS ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ระบบ ได้แก่ (1) ระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำปกติ (2) ระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำเคลือบเรซิ่น และ (3) ระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางเซรามิก การติดตั้งดำเนินการโดยร้อยตัวกลางแต่ละชนิดเป็นเส้นเดี่ยวตามแนวตั้งตามลักษณะที่แสดงใน รูปที่ 1 และแต่ละระบบใช้ตัวกลางจำนวน 8 ชิ้น



รูปที่ 2 แบบจำลองระบบ Downflow Hanging Sponge ของตัวกลางทั้งสาม

ขั้นตอนการเดินระบบ DHS เริ่มจากเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 300 มก./ล. และแอมโมเนียม 80 มก.-ไนโตรเจน/ล. และสารเคมีอื่น ๆ ดังในตารางที่ 1 จากนั้นเดินระบบด้วยอัตราการไหล 150 มล./นาที โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 500 มล. ต่อชุดการทดลอง และเวียนน้ำทั้งหมด 5 รอบ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 300 มก./ล. และ แอมโมเนียม 80 มก.-ไนโตรเจน/ล.

สารเคมี	หน่วย	ปริมาณสาร
Glucose	มก./ล.	309.3
NH_4Cl	มก.-NH_4Cl/ล.	305.66
KH_2PO_4	มก./ล.	13.17
$CaCl_2•2H_2O$	มก./ล.	3.975
$MgSO_4•7H_2O$	มก./ล.	3
$FeCl_3•6H_2O$	มก./ล.	1.5
$MnCl_2•4H_2O$	มก./ล.	0.6
$NaHCO_3$	มก./ล.	60

วิธีการวิเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังจากผ่านการดำเนินการทดลองของระบบ DHS ทั้ง 3 ระบบ ซึ่งแต่ละระบบจำดำเนินการเวียนน้ำทั้งหมด 5 รอบ โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อรอบการบำบัดเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าซีโอดีรวมถึงแอมโมเนียมตามวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของ Standards Method for the Examination of Water and Wastewater [5] และทำการเก็บตัวอย่างตัวกลางเพื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูความสามารถในการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์

ผลการทดลองและวิจารณ์

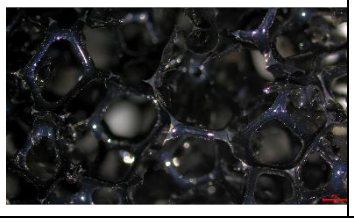
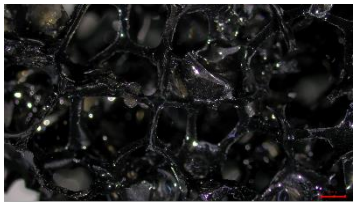
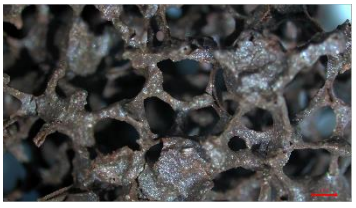
ลักษณะของตัวกลางที่ใช้ในระบบ DHS

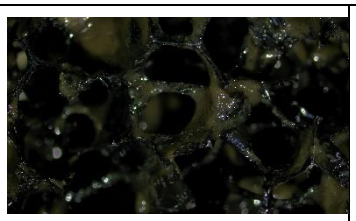
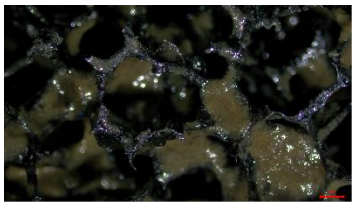
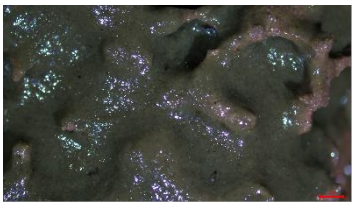
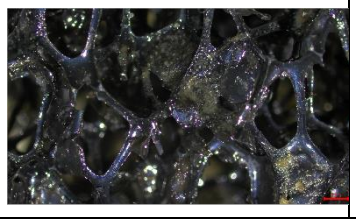
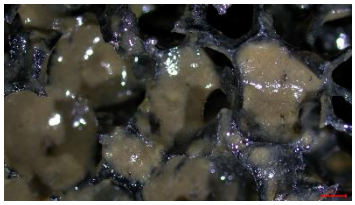
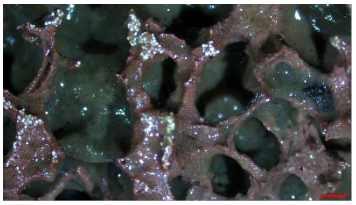
ผลจากการสังเกตความแตกต่างของตัวกลางพบว่า ในตัวกลางที่เป็นฟองน้ำปกติ มีลักษณะที่มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเฉลี่ย 0.225 กรัม และสามารถลอยน้ำได้ ตัวกลางที่เป็นฟองน้ำเคลือบเรซิ่น มีลักษณะที่ค่อนข้างแข็ง มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.2413 กรัม และไม่สามารถลอยน้ำได้ ส่วนในตัวกลางเซรามิก มีลักษณะที่แข็ง เปราะ สามารถเกิดความเสียหายต่อตัวกลางได้ถ้ามีแรงที่กระทำต่อตัวกลาง มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.3213 และไม่สามารถลอยน้ำได้

การเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลาง

ผลจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ของตัวกลางทั้งสามในวันที่ 0 วันที่ 5 และวันที่ 10 พบว่าเชื้อจุลินทรีย์เริ่มมีการเกาะติดที่ตัวกลางทั้งสามชนิดอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันที่ 5 และสังเกตพบปริมาณเพิ่มขึ้นในวันที่ 10 ขณะที่ตัวกลางฟองน้ำปกติส่งเสริมการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางน้อยกว่าตัวกลางฟองน้ำเคลือบเรซิ่นและตัวกลางเซรามิค ถึงแม้ว่าฟองน้ำเคลือบเรซิ่นมีความสามารถในการส่งเสริมการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี แต่เชื้อที่เกาะติดบนตัวกลางหลุดออกมาได้ง่ายกว่าตัวกลางฟองน้ำโพลียูรีเทนและเซรามิค แสดงให้เห็นได้ว่าใบโอฟิล์มไม่สามารถยึดเกาะวัสดุพื้นผิวที่เคลือบอีพอกซีเรซิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

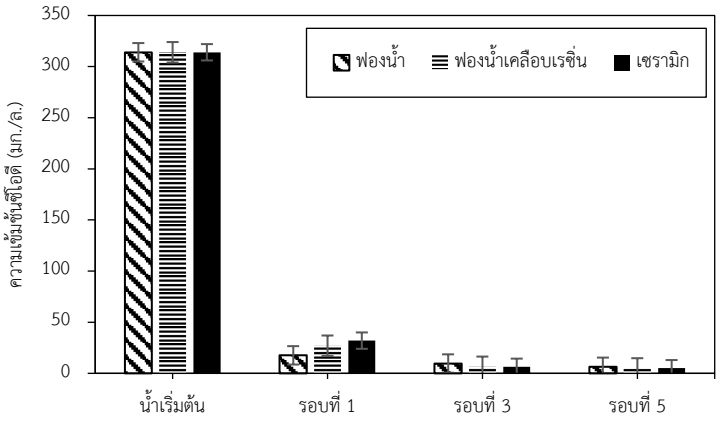
ตารางที่ 2 ความสามารถในการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสามตัวกลาง ในวันที่ 0 5 และ 10

วัน	กำลังขยาย	ฟองน้ำปกติ	ฟองน้ำเคลือบเรซิ่น	เซรามิก
0	10X			

5	10X			
10	10X			

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน

จากผลการติดตามค่าซีโอดี พบว่า ระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางชนิดที่ 1 ฟองน้ำปกติ ค่าซีโอดีลดลงจาก 314 เหลือ 17.6 มก./ล. ในการบำบัดรอบแรกและลดลงเหลือ 6.4 มก./ล. ภายในการเวียนน้ำเข้าระบบซ้ำรอบที่ 5 คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับร้อยละ 94.4 และ 97.9 ตามลำดับ ระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางชนิดที่ 2 ฟองน้ำเคลือบเรซิ่น ค่าซีโอดีลดลงจาก 314 เหลือ 27 มก./ล. ในการบำบัดรอบแรกและลดลงเหลือ 4.8 มก./ล. ภายในการเวียนน้ำเข้าระบบซ้ำรอบที่ 5 คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับร้อยละ 91.4 และ 98.5 ตามลำดับ ระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางชนิดที่ 3 เซรามิก ค่าซีโอดีลดลงจาก 314 เหลือ 32 มก./ล. ในการบำบัดรอบแรกและลดลงเหลือ 5 มก./ล. ภายในการเวียนน้ำเข้าระบบซ้ำรอบที่ 5 คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับร้อยละ 89.8 และ 98.4 ตามลำดับ บ่งชี้ได้ว่าตัวกลางทั้งสามชนิดส่งเสริมการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกัน ดังในรูปที่ 2



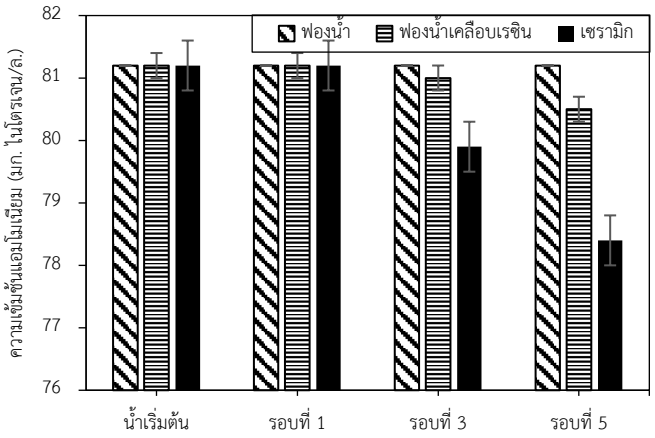
รูปที่ 3 ความเข้มข้นซีโอดีของน้ำขาเข้าเปรียบเทียบกับน้ำขาออกจากระบบ DHS ของแต่ละตัวกลางได้แก่ ฟองน้ำปกติ ฟองน้ำชุบเรซิ่นและ เซรามิก ระหว่างการทดลองในรอบที่มีการเวียนน้ำที่ 1 3 และ 5

ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียม

จากผลการติดตามค่าแอมโมเนียม พบว่า ระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางชนิดที่ 1 ฟองน้ำปกติ ยังไม่มีความสามารถในการลดแอมโมเนียมได้ในทั้งการเวียนน้ำเข้าระบบซ้ำถึงรอบที่ 5 ระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางชนิดที่ 2 ฟองน้ำเคลือบเรซิ่น แอมโมเนียมลดลงจาก 81.2 เหลือ 80.5 มก. ไนโตรเจน/ล. ภายในการเวียนน้ำเข้าระบบซ้ำรอบที่ 5 คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 0.86 บงชี้ได้ว่าตัวกลางทั้งสามชนิดส่งเสริมการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกัน ดังในรูปที่ 3 ระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางชนิดที่ 3 เซรามิก แอมโมเนียมลดลงจาก 81.2 เหลือ 78.4 มก. ไนโตรเจน/ล. ภายในการเวียนน้ำเข้าระบบซ้ำรอบที่ 5 คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 3.4 บงชี้ได้ว่าตัวกลางทั้งสามชนิดส่งเสริมการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกัน ดังในรูปที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมของระบบ DHS ที่ประยุกต์ใช้ตัวกลางทั้ง 3 ชนิด พบว่าระบบ DHS ทั้ง 3 ชนิดมีศักยภาพในการบำบัดไนโตรเจนต่ำ

สาเหตุอาจมาจากปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบ DHS มีค่าสูง ซึ่งจากการคำนวณอัตราส่วน COD/NH_4^+-N ของน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าประมาณ 3.86 กรัม/กรัม ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟที่ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็คตรอน อีกทั้งจุลินทรีย์กลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ดีและรวดเร็วกว่าจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิง ทำให้เกิดการแย่งออกซิเจนแและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิงในระบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] พบว่าเมื่อมีการเติมคาร์บอนโดยให้มีอัตราส่วน COD/NH_4^+-N ที่ 1.28-1.30 ส่งผลให้จุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเกิดเป็นชั้นหนาด้านบนของไบโอฟิล์มและขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนไปยังจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิง ทำให้มีประสิทธิภาพของกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรต์และไนเตรตลดลงอย่างเห็นได้ชัด [4] อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ [3] รายงานว่าระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางจำนวน 90 ชิ้นและมีความสูงถึง 2 เมตร สามารถบำบัดแอมโมเนียมได้สูงถึงร้อยละ 75 ขณะที่ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวกลางเพียง 8 ชิ้นต่อ 1 ระบบ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนตัวกลางอาจช่วยเพิ่มศักยภาพในการบำบัดไนโตรเจนได้ดีมากขึ้น



รูปที่ 4 ความเข้มข้นแอมโมเนียมของน้ำขาเข้าเปรียบเทียบกับน้ำขาออกจากระบบ DHS ของแต่ละตัวกลางได้แก่ ฟองน้ำปกติ ฟองน้ำเคลือบเรซิ่นและ เซรามิก ระหว่างการทดลองในรอบที่มีการเวียนน้ำที่ 1 3 และ 5

สรุป

งานวิจัยนี้ทำการทดลองดัดแปลงฟองน้ำโพลียูรีเทนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน และการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ DHS ที่ใช้ตัวกลางแตกต่างกันทั้งหมดสามระบบ ได้แก่ ฟองน้ำปกติ ฟองน้ำเคลือบเรซิ่น และ เซรามิก เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะคล้ายกัน ขณะที่ความแตกต่างทางกายภาพ มีความแตกต่างกันในด้านความยืดหยุ่นแข็ง ความสามารถในการลอยน้ำ และน้ำหนัก ซึ่งตัวกลางฟองน้ำชุบเรซิ่นมีความสามารถในการส่งเสริมการเกาะติดของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดแต่หลุดออกมาได้ง่าย ระบบ DHS ทั้ง 3 ระบบมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามตัวกลางฟองน้ำเคลือบเรซิ่นมีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด ซึ่งบำบัดได้ถึงร้อยละ 98.5 ในรอบที่ 5 ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมของระบบ DHS ทั้ง 3 ระบบมีศักยภาพในการบำบัดไนโตรเจนต่ำ โดยระบบที่ใช้ตัวกลางเซรามิกมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมร้อยละ 3.4 ซึ่งมากกว่าระบบที่ใช้ตัวกลางฟองน้ำโพลียูรีเทนปกติและฟองน้ำโพลียูรีเทนเคลือบอีพอกซีเรซิ่น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุนสนับสนุนตลอดการศึกษาวิจัยคือทุนวิจัยและนวัตกรรมตามกรอบทุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปี งบประมาณ พ.ศ.2568 และทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนจนคณะผู้วิจัยสามารถดำเนินการศึกษาวิจัยจนสำเร็จและคณะผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดนำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำได้อย่างยั่งยืนของเมืองไทยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Sridang, P. et al. (2024) 'Performance of up-flow anaerobic sludge blanket-membrane bioreactor (UASB-MBR) for treating rice vermicelli and flour wastewater', Desalination and Water Treatment, 320, p. 100705. doi:10.1016/j.dwt.2024.100705

[2] ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง เกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม. (2559, 6 มิถุนายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 133 ตอนพิเศษ 129 ง. หน้า 17–19.

[3] Nurmiyanto, A., & Ohashi, A. (2019). Downflow hanging sponge (DHS) reactor for wastewater treatment-a short review. In *MATEC web of conferences* (Vol. 280, p. 05004). EDP Sciences.

[4] Nitrification, Encyclopedia of Ecology, Volume 2, 2013, Pages 351-358, B.B. Ward.

[5] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2012). United States: American Public Health Association.

[6] Nogueira, R., Melo, L. F., Purkhold, U., Wuertz, S., & Wagner, M. (2002). Nitrifying and heterotrophic population dynamics in biofilm reactors: effects of hydraulic retention time and the presence of organic carbon. *Water research*, *36*(2), 469-481.

[7] Machdar, I., Harada, H., Ohashi, A., Sekiguchi, Y., Okui, H., & Ueki, K. (1997). A novel and cost-effective sewage treatment system consisting of UASB pre-treatment and aerobic post-treatment units for developing countries. *Water Science and technology*, *36*(12), 189-197.

21R2-10

ศึกษาการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตวุ้นเส้นมาใช้ประโยชน์ซ้ำเพื่อการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

Study on Reuse of Treated Wastewater from a Vermicelli Production Plant for Hydroponic Cultivation

กานต์ชนก ฮีมวาต์[1] จารวี แก้วใหญ่[2] สุเมธ วงศ์เขียว[3] และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์[4*]
Kanchanok Himwatt[1] Jarawee Kaewyai[2] Sumeth Wongkiew[3] and Pongsak Noophan[4*]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา; [2]อาจารย์; [4]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 [3]รองศาสตราจารย์ ภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
*โทรศัพท์ : 09 5589 6378, E-mail : kanchanok.h@ku.th

บทคัดย่อ

การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ซ้ำเพื่อการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์สามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำสำหรับการเกษตรได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการบำรุงพืชได้ เนื่องจากน้ำทิ้งยังคงมีสารอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปลูกต้นกรีนโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิกส์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานวุ้นเส้นที่มีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีหรือค่าซีโอดีสูง (340.0±22.63 มก./ล.) และค่าซีโอดีต่ำ (32.0±4.53 มก./ล.) เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นสารอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของต้นกรีนโอ๊ค รวมถึงผลต่อคุณภาพน้ำในระบบ ได้แก่ ออกซิเจนละลาย พีเอช (pH) แอมโมเนียม (NH_4^+) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และโพแทสเซียม (K^+) การทดลองปลูกผักใช้ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบหมุนเวียนโดยดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 39 วัน อย่างไรก็ตามผลการทดลองต้นกรีนโอ๊คสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งสองสภาวะ แสดงถึงน้ำที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนหรือค่าซีโอดีในช่วง 30 ถึง 300 มก./ล. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกผักกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ได้ การปลูกผักในสภาวะค่าซีโอดีสูง ส่งผลทำให้ราก และใบรวมลำต้นมีความยาวมากกว่าในสภาวะค่าซีโอดีต่ำ เล็กน้อย รวมถึงสังเกตพบไบโอฟิล์มบริเวณรากของต้นกรีนโอ๊ค แต่จากผลการทดลองน้ำหนักสดใบรวมลำต้นในระบบซีโอดีต่ำ คือ 28.73±4.06 ก. มากกว่าระบบซีโอดีสูง นอกจากนี้ผลการสังเกตอาทิ ค่าซีโอดี แอมโมเนียม และฟอสเฟต เป็นต้น มีแนวโน้มลดลงแสดงถึงระบบไฮโดรโปนิกส์มีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ โดยระบบที่มีค่าซีโอดีสูง มีประสิทธิภาพการบำบัดของแอมโมเนียมและฟอสเฟตเฉลี่ยร้อยละ 95.08 และ 38.5 ตามลำดับ และระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำมีประสิทธิภาพการบำบัดของแอมโมเนียมและฟอสเฟตเฉลี่ยร้อยละ 69.84 และ 39.12 ขณะที่ค่าซีโอดีในระบบนี้เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตรงกันข้ามกับระบบที่มีค่าซีโอดีสูงสามารถกำจัดซีโอดี ได้ถึงเฉลี่ยร้อยละ 85.65 ภายใน 12 วัน สอดคล้องกับการลดลงของค่าออกซิเจนละลายภายในระบบและอาจนำไปสู่ภาวะขาดออกซิเจนในรากพืชได้ ซึ่งเป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโตของต้นกรีนโอ๊ค ดังนั้นควรมีการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนที่ปนเปื้อนในน้ำก่อนนำมาใช้ปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

คำสำคัญ : การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์; น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว; สารอินทรีย์คาร์บอน

Abstract

Treated wastewater could be reused as hydroponically-grown plants, and such a practice provides an immediate and efficient answer to agricultural water shortage. It also minimizes chemical fertilizers with leftover nutrients [4] in the wastewater that can stimulate plant growth. In this study, green oak lettuce was grown in a hydroponic system under synthetic wastewater that simulated treated effluent from a different vermicelli production plant. A total of two different levels of chemical oxygen demand (COD), high (340.0±22.63 mg/l) and low (32.0±4.53 mg/l), were tested to determine their effect of different organic carbon concentrations on green oak growth and water quality parameters, which included dissolved oxygen (DO), pH, ammonium (NH_4^+), phosphate (PO_4^{3-}), and potassium (K^+). The experiment was performed in a recirculating hydroponic system across 39 days. The results indicated that green oak lettuce could grow under conditions of high and low COD status, and the water can be used for hydroponic cultivation at COD levels of 30-300 mg/l. Under high-COD conditions, green oak lettuce had marginally longer root and shoot lengths than it did under low-COD conditions. At the high-COD system, biofilm was formed on the roots. However, the fresh weight of shoots in the low-COD system (28.73±4.06 g) was higher than in the high-COD system. Additionally, the elimination of COD, ammonium, and phosphate showed that they could improve water quality through a hydroponic system. The average removal efficiencies of ammonium and phosphate in the high-COD system were 95.08% and 38.5%, respectively, while in the low-COD system were 69.84% and 39.12%, respectively. In the low-COD system, COD levels changed only slightly, while the high-COD system reached an average COD removal efficiency of 85.65% in 12 days. This is consistent with the decrease in dissolved oxygen in water in the system and may lead to hypoxia in plant roots, which is detrimental to the growth of green oak lettuce. Therefore, the organic carbon contaminants in water should be treated before using it for hydroponic cultivation.

Keywords : Hydroponic system; Treated wastewater; Organic carbon

บทนำ

การขยายตัวของประชากรโลกส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ ขณะที่ภาคการเกษตรใช้น้ำถึงร้อยละ 70 ของปริมาณการใช้น้ำทั่วโลก การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางสำคัญในการบรรเทาปัญหาน้ำขาดแคลน ลดมลพิษจากการปล่อยน้ำเสีย และลดต้นทุนปุ๋ย เนื่องจากน้ำเสียมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในทางกลับกันการใช้น้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดในการปลูกพืชอาจไม่ส่งผลดีทั้งหมด เนื่องจากในน้ำเสียนอกจากมีสารอาหารสำหรับพืชแล้วยังมีโลหะหนักหรือเชื้อโรคที่ส่งผลต่อความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ อย่างไรก็ตามการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำทางด้านเกษตรกรรมควรผ่านการบำบัดให้ได้มาตรฐานเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศ [1]

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ซึ่งเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ อีกทั้งระบบนี้ใช้น้ำและสารอาหารละลายน้ำเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต เช่น การปลูกผักกาดหอม พริกหยวก ข้าวโพด และมะเขือเทศ และการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ยังสามารถเพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี แม้ในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรแบบดั้งเดิม [2]

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตวุ้นเส้นมักมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนสูงรวมถึงมีธาตุอาหารหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีหรือค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ที่พบในน้ำเสียจากโรงงานวุ้นเส้นอยู่ในช่วง 2,148.68±101.6 มก./ล. [3] อย่างไรก็ตามน้ำที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ควรมีค่าซีโอดีต่ำกว่า 20 มก./ล. [1] ดังนั้น จำเป็นต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมก่อนนำน้ำเสียกลับมาใช้ในการเพาะปลูก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ตกค้างในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้การจำลองเปรียบเทียบน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนปริมาณสูงและต่ำ นอกจากนี้ยังมี

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นไนโตรเจนในระบบระหว่างการทดลอง เพื่อประเมินความเหมาะสมและผลกระทบของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตวุ้นเส้นจริงต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์สำหรับงานวิจัยในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ดำเนินการปลูกต้นกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบหมุนเวียน การทดลองดำเนินการเป็นระยะเวลา 39 วันต่อรอบ ในการทดลองนี้ใช้ต้นกรีนโอ๊คในการทดสอบ เริ่มต้นจะดำเนินเพาะต้นกล้าเป็นเวลา 7 วัน ก่อนจะย้ายไปยังระบบไฮโดรโปนิกส์สำหรับใช้ในการทดลอง

การทดลองโดยการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียจากโรงงานวุ้นเส้นที่ผ่านการบำบัดเพื่อใช้ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ แบ่งลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ออกเป็นการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ปลูกพืชด้วยน้ำสังเคราะห์ที่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนสูง (ซีโอดี ~300 มก./ล.) โดยมีการรักษาระดับค่าซีโอดีในระบบด้วยการเติมกลูโคสในระบบเพิ่มเติมในวันที่ 15 21 25 28 31 34 และ 37 และกลุ่มที่ 2 ปลูกพืชด้วยน้ำสังเคราะห์ที่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนต่ำ (ซีโอดี ~30 มก./ล.) ทั้งสองกลุ่มมีการควบคุมความเข้มข้นของไนโตรเจนให้อยู่ระหว่าง 80–90 มก.-ไนโตรเจน/ล. ด้วยการเติม NH_4Cl อัตราส่วนปริมาณสารเคมีต่อปริมาณน้ำ 100 ลิตร สำหรับเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณซีโอดีสูง ซีโอดีต่ำ และสารอาหารเสริมต่างๆ ที่เหมาะสำหรับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนปริมาณสารเคมีต่อปริมาณน้ำสำหรับเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีสูง (ซีโอดี ~300 มก./ล.) และค่าซีโอดีต่ำ (ซีโอดี ~30 มก./ล.) และสารอาหารเสริมสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

สารเคมี	ค่าซีโอดี ~300 มก./น้ำ 100 ล.	ค่าซีโอดี ~30 มก./น้ำ 100 ล.
	ปริมาณ (ก.)	ปริมาณ (ก.)
Glucose	30.93	3.09
NH_4Cl	30.57	30.57
KH_2PO_4	1.32	1.32
$CaCl_2•2H_2O$	0.40	0.40
$MgSO_4•7H_2O$	0.30	0.30
$FeCl_3•6H_2O$	0.15	0.15
$MnCl_2•4H_2O$	0.06	0.06
$CaCl_2$	38.87	38.87
Fe-EDTA	2.00	2.00
Fe-EDDHA	1.00	1.00
KCl	22.10	22.10
$MgSO_4$	25.00	25.00
KH_2PO_4	13.25	13.25
Nicspray	2.50	2.50

การเก็บตัวอย่างน้ำในระบบมีความถี่ทุกๆ 3 วัน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่ ค่าซีโอดี แอมโมเนียม (NH_4^+) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โพแทสเซียม (K^+) pH และออกซิเจนละลาย ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำ Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012) [4] นอกจากนี้มีการวัดความยาวของลำต้นและใบความยาวของราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกรีนโอ๊ค

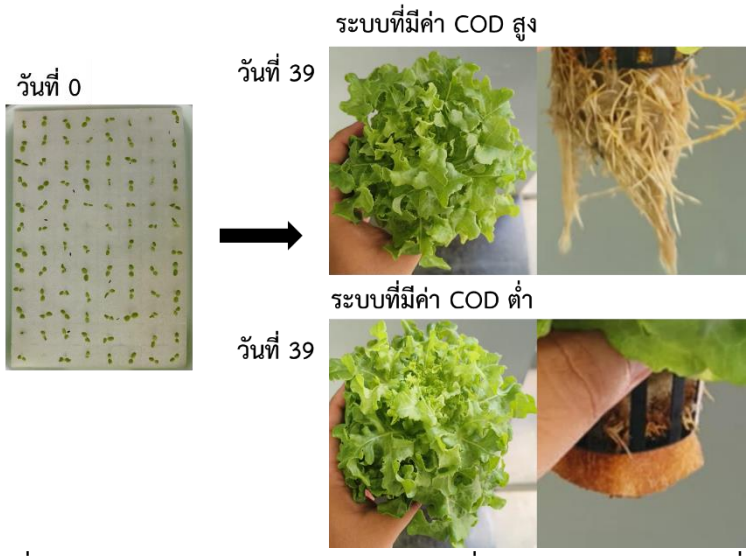
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการเจริญเติบโตของต้นกรีนโอ๊ค

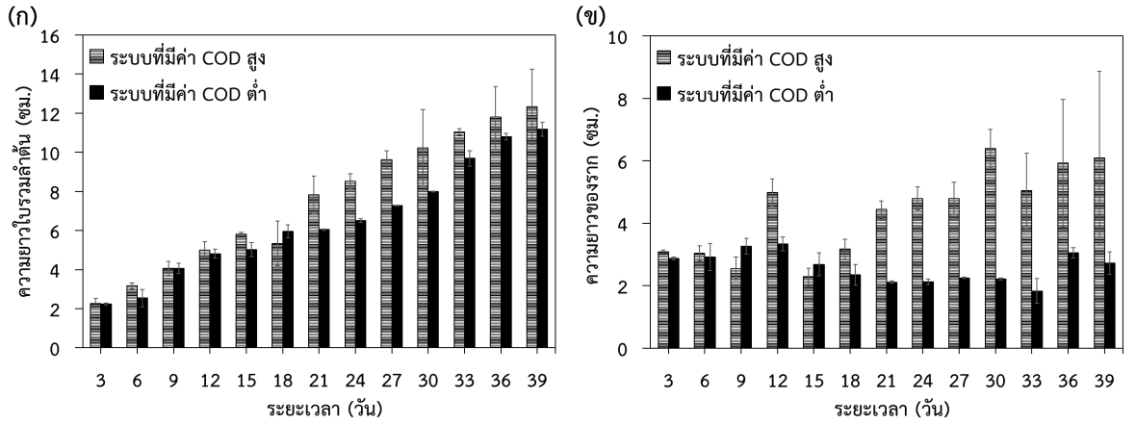
ผลการทดลองการปลูกต้นกรีนโอ๊คโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นระบบที่มีค่าซีโอดีสูง คือ 340.0±22.63 มก./ล. และระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำ คือ 32.0±4.53 มก./ล. ในระยะเวลา 39 วัน พบว่าต้นกรีนโอ๊คที่ปลูกด้วยน้ำทั้งสองประเภทสามารถเจริญเติบโตได้ดี แสดงในรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาลักษณะราก พบว่าต้นกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบที่มีซีโอดีสูงมีรากที่ยาวและจำนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับต้นกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบที่มีซีโอดีต่ำ นอกจากนี้ยังพบการก่อตัวของเมือกไบโอฟิล์มสีขาวบริเวณรากในระบบที่มีซีโอดีสูง

นอกจากนี้ระบบที่น้ำสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีสูงยังส่งผลให้ความยาวของรากของต้นกรีนโอ๊คมากกว่าระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำ โดยในวันที่ 39 เป็นต้นไป ต้นกรีนโอ๊คที่ปลูกด้วยน้ำที่มีซีโอดีสูงและต่ำมีความยาวรากเฉลี่ย 6.09±1.90 ซม. และ 2.73± 1.38 ซม. ตามลำดับ (รูปที่ 2(ข))

ผลการติดตามความยาวของใบรวมลำต้นของต้นกรีนโอ๊คที่ปลูกด้วยน้ำสังเคราะห์ทั้ง 2 แบบ พบว่าใบและลำต้นมีความยาวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2(ก)) อย่างไรก็ตามต้นกรีนโอ๊คในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงมีความยาวมากกว่าต้นที่ปลูกในระบบค่าซีโอดีต่ำเล็กน้อย เนื่องจากต้นกรีนโอ๊คสามารถทนและเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาวะที่มีสารอินทรีย์สูง [7] โดยในวันที่ 39 ต้นกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบที่มีซีโอดีสูงและต่ำมีความยาวของใบรวมลำต้นเฉลี่ย 12.34±2.77 ซม. และ 11.18±0.35 ซม. ตามลำดับ



รูปที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นกรีนโอ๊คในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ



รูปที่ 2 (ก) ความยาวของลำต้นและ (ข) ใบกับความยาวของรากต้นกรีนโอ๊คในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ

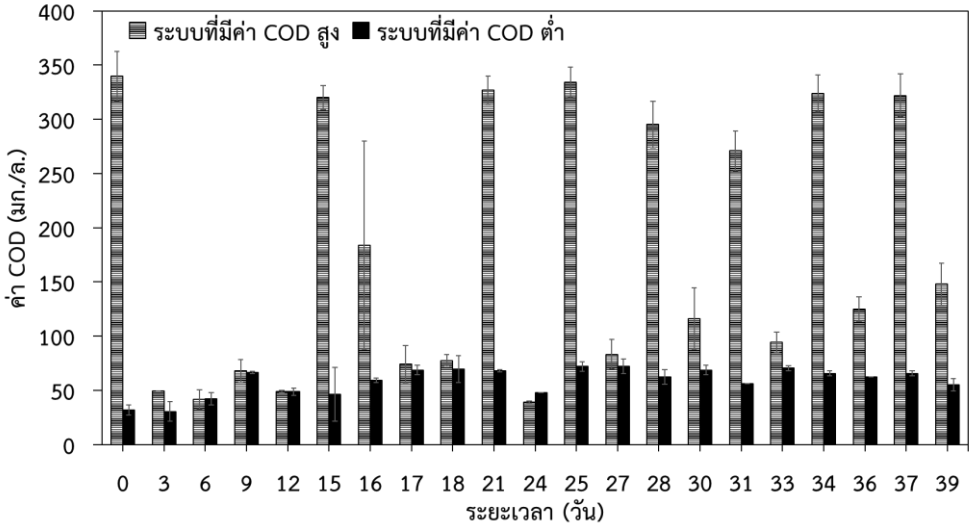
จากการเก็บข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากกับใบรวมลำต้นของต้นกรีนโอ๊คแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2 พบว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากต้นกรีนโอ๊คในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงมากกว่าระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำ สอดคล้องกับการสังเกตลักษณะจากรากของต้นกรีนโอ๊คในระบบซีโอดีสูงมีรากจำนวนรากและความยาวที่ยาวมากกว่าแสดงในรูปที่ 1 แต่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบรวมลำต้นกรีนโอ๊คในระบบซีโอดีสูงมีค่าน้อยกว่าระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากกับใบรวมลำต้นของต้นกรีนโอ๊ค

ระบบ	พารามิเตอร์	น้ำหนัก (ก.)
ระบบที่มีค่าซีโอดีสูง	รากสด	6.29±4.72
	รากแห้ง	1.49±1.10
	ใบรวมลำต้นสด	21.32±4.19
	ใบรวมลำต้นแห้ง	2.42±0.31
ระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำ	รากสด	4.86±0.08
	รากแห้ง	0.44±0.12
	ใบรวมลำต้นสด	28.73±4.06
	ใบรวมลำต้นแห้ง	2.48±0.39

ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีในระหว่างการทดลองปลูกต้นกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

ผลการติดตามค่าซีโอดีภายในระบบไฮโดรโปนิกส์ (รูปที่ 3) ในช่วง 12 วันแรกของระบบปลูกผักด้วยน้ำสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีสูงพบว่ามีค่าซีโอดีลดลงจาก 340.0±22.63 มก./ล. เหลือ 48.8±1.13 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 85.7 และเมื่อมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนลงในระบบเป็นระยะ พบว่าค่าซีโอดียังคงมีการลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 3 วัน ขณะที่ระบบปลูกผักด้วยน้ำสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีต่ำไม่พบว่าค่าซีโอดีในน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งวิเคราะห์ค่าซีโอดีได้อยู่ในช่วง 30.42 ถึง 72.0 มก./ล. อย่างไรก็ตามน้ำที่มีค่าซีโอดีที่สูงในระยะยาวอาจนำไปสู่ภาวะขาดออกซิเจนในรากพืชซึ่งเป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโตของต้นกรีนโอ๊คดังนั้นควรมีการบำบัดน้ำก่อนนำเข้าสู่ระบบให้มีค่าซีโอดีต่ำก่อน [7]

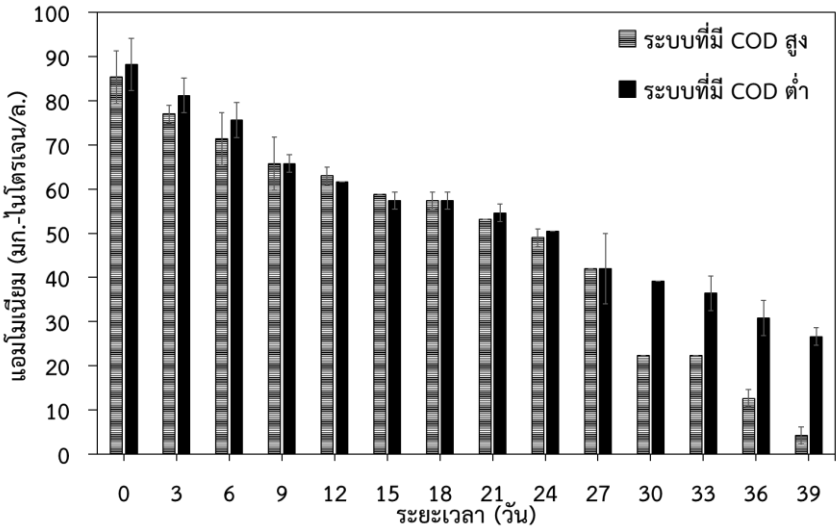


รูปที่ 3 ค่าซีโอดีของระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ

ผลการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมในระหว่างการทดลองปลูกต้นกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

จากรูปที่ 4 พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อย่างไรก็ตามในระบบที่มีค่าซีโอดีสูง แสดงการลดลงของ NH_4^+ อย่างมีนัยสำคัญ จาก 85.40±5.94 มก.-ไนโตรเจน/ล. ลดลงเหลือ 4.20±1.98 มก.-ไนโตรเจน/ล. เท่ากับร้อยละ 95.08 ภายในวันที่ 39 ขณะที่มีค่าซีโอดีต่ำมีค่า NH_4^+ ลดลงจาก 88.20±5.94 มก.-ไนโตรเจน/ล. เหลือ 26.60±1.98 มก.-ไนโตรเจน/ล. เท่ากับร้อยละ 69.84 จากผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของ NH_4^+

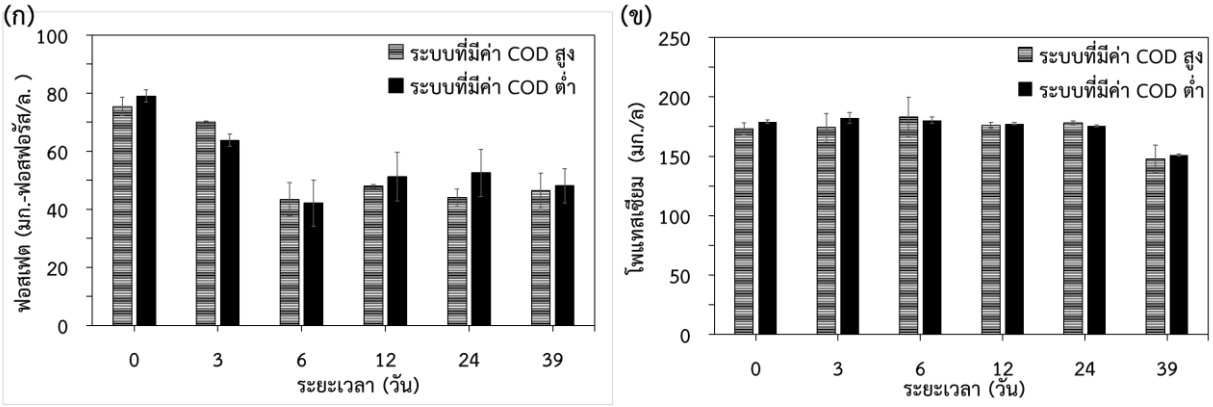
สันนิษฐานได้ว่าการลดลงของ NH_4^+ ในระบบทั้งสองสภาวะอาจเกิดการดูดซึมแอมโมเนียมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช และการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์กลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียและไนไตรต์ออกซิไดซิงแบคทีเรียในระบบทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียมให้อยู่ในรูปไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) [6]



รูปที่ 4 ความเข้มข้นแอมโมเนียมของระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ

ผลการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตและโพแทสเซียมในระหว่างการทดลองปลูกต้นกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสเฟตและโพแทสเซียมในระบบที่ปลูกต้นกรีนโอ๊คด้วยน้ำที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำเป็นระยะเวลา 39 วัน พบว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตและโพแทสเซียมของการปลูกต้นกรีนโอ๊คในน้ำที่ค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำมีแนวโน้มที่ลดลงตามระยะเวลา แสดงดังรูปที่ 5(ก) และ 5(ข) โดยความเข้มข้นฟอสเฟตในน้ำสังเคราะห์ในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ ณ วันที่ 39 ของการทดลองลดลงเหลือ 46.39±6.06 และ 48.12±5.92 มก.-ฟอสฟอรัส/ล. หรือลดลงเท่ากับร้อยละ 38.5 และ 39.12 ตามลำดับ และความเข้มข้นโพแทสเซียม ณ วันที่ 39 ของการทดลองลดลงเหลือ 147.90±11.50 และ 151.02±1.00 มก./ล. หรือลดลงเท่ากับร้อยละ 14.58 และ 15.64 ตามลำดับ การลดลงของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมแสดงถึงต้นกรีนโอ๊คสามารถดูดซึมฟอสเฟตและโพแทสเซียมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต [8]



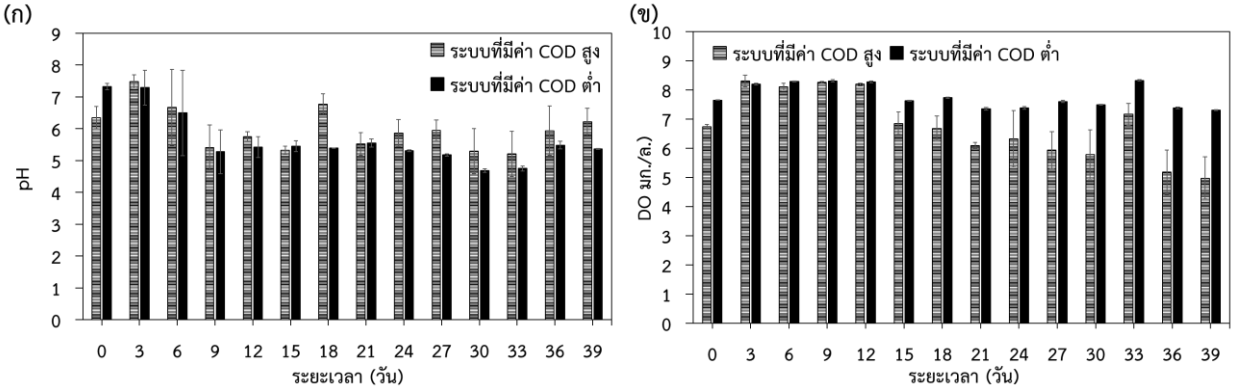
รูปที่ 5 (ก) ความเข้มข้นฟอสเฟตและ (ข) ความเข้มข้นโพแทสเซียมของระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ

ผลการเปลี่ยนแปลง pH และออกซิเจนละลายในระหว่างการทดลองปลูกต้นกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

ค่า pH เริ่มต้นของน้ำที่ปลูกต้นกรีนโอ๊คในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ คือ 6.35±0.35 กับ 7.32±0.10 ตามลำดับ และพบว่าค่า pH ของทั้งสองระบบมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 6(ก)) ในวันที่ 12 ค่า pH ของระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำลดลงเหลือ 5.75±0.16 และ 5.43±0.33 ตามลำดับ ค่า pH ที่ลดลงอาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์บางกลุ่มในน้ำจะเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ ทำให้ค่า pH ในระบบทั้งสองระบบลดลง [9] และหลังวันที่ 15 เป็น

ต้นไป ค่า pH ของทั้งสองระบบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยระบบที่มีค่าซีโอดีสูงมีการเติมกลูโคสเพื่อรักษาระดับค่าซีโอดี ที่ประมาณ 300 มก./ล. ค่า pH อยู่ในช่วง 5.21 ถึง 6.77 ส่วนระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำค่า pH อยู่ในช่วง 4.68 ถึง 5.55

ค่าออกซิเจนละลายในระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำอยู่ในช่วง 7.31 ถึง 8.33 มก./ล. ขณะที่ค่าออกซิเจนละลายในระบบที่มีค่าซีโอดีสูงซึ่งมีการเติมกลูโคสเพื่อรักษาระดับค่าซีโอดีที่ประมาณ 300 มก./ล. ตั้งแต่วันที่ 15 โดยมีการเติมกลูโคสทุกๆ 3 วัน พบว่าค่าออกซิเจนละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องค่าออกซิเจนละลายที่ต่ำสุดที่ตรวจวัดได้คือ 4.98 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่าออกซิเจนละลายในระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 6(ข)) ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนภายในน้ำเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์สอดคล้องกับผลการลดลงของค่าซีโอดีในระบบที่มีค่าซีโอดีสูง



รูปที่ 6 (ก) ค่า pH และ (ข) ค่าออกซิเจนละลายของระบบที่มีค่าซีโอดีสูงและค่าซีโอดีต่ำ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาการปลูกต้นกรีนโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบหมุนเวียนด้วยน้ำสังเคราะห์ที่มีระดับความเข้มข้นสารอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกันได้แก่ ระดับค่าซีโอดีสูง (340.0±22.63 มก./ล.) และค่าซีโอดีต่ำ (32.0±4.53 มก./ล.) ในระยะเวลา 39 วัน ผลการทดลองพบว่าต้นกรีนโอ๊คสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทั้งสองระบบ แสดงถึงน้ำที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนหรือค่าซีโอดีในช่วง 30 ถึง 300 มก./ล. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกผักกรีนโอ๊คด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ได้ อย่างไรก็ตามระบบที่มีค่าซีโอดีสูงพบรากมีความยาวและจำนวนที่มากกว่าระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำและพบไบโอฟิล์มบริเวณราก ขณะที่ด้านน้ำหนักสดและแห้งของใบรวมลำต้นของต้นกรีนโอ๊คระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำ คือ 28.37±4.06 และ 2.48±0.39 ตามลำดับ มีค่ามากกว่าระบบที่มีค่าซีโอดีสูงเล็กน้อย นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบการปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ โดยระบบที่มีค่าซีโอดีสูงมีค่าแอมโมเนียมและฟอสเฟตเริ่มต้น คือ 85.4±5.94 มก.-ไนโตรเจน/ล. และ 75.43±3.12 มก.-ฟอสฟอรัส/ล. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดของแอมโมเนียมและฟอสเฟตเฉลี่ยร้อยละ 95.08 และ 38.5 ตามลำดับ และระบบที่มีค่าซีโอดีต่ำค่าแอมโมเนียม 88.20±5.94 มก.-ไนโตรเจน/ล. และ 79.03±2.1 มก.-ฟอสฟอรัส/ล. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดของแอมโมเนียมและฟอสเฟตเฉลี่ยร้อยละ 69.84 และ 39.12 ขณะที่ค่าซีโอดีในระบบนี้อยู่ในช่วง 30.4 ถึง 72 มก./ล. ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตรงกันข้ามกับระบบที่มีค่าซีโอดีสูงสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึงเฉลี่ยร้อยละ 85.65 ภายใน 12 จากค่าซีโอดี 340±22.63 มก./ล. และสอดคล้องกับการลดลงของค่าออกซิเจนละลายภายในระบบที่มีแนวโน้มลดลง โดยค่าออกซิเจนละลายที่ต่ำสุดที่ตรวจวัดได้คือ 4.98 มก./ล. อาจนำไปสู่ภาวะขาดออกซิเจนภายในรากต้นกรีนโอ๊คได้ ดังนั้นควรมีการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนที่ปนเปื้อนในน้ำก่อนนำมาใช้ปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุนสนับสนุนตลอดการศึกษาวิจัย คือ ทุนวิจัยและนวัตกรรม ตามกรอบทุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2568 และทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนจนคณะผู้วิจัยสามารถดำเนินการศึกษาวิจัยจนสำเร็จ และคณะผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดนำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำได้อย่างยั่งยืนของเมืองไทยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Jafari, M., Asadi, E. and Fakheri Fard, A., 2024. Operational management of water quality to prevent physical, chemical, and microbial contaminations in hydroponic cultivation. Water Supply, 24(9), pp.3046-3060.

[2] Lee, E., Rout, P.R. and Bae, J., 2021. The applicability of anaerobically treated domestic wastewater as a nutrient medium in hydroponic lettuce cultivation: Nitrogen toxicity and health risk assessment. Science of The Total Environment, 780, p.146482.

[3] Nguyen, P.B.N., Pham, V.T., Viet Le, H., Kumar, P. and Meraj, G., 2024. Pollution Mitigation in Vermicelli Wastewater: Integrated Fenton and Aerobic Sludge Treatment for Water Quality Improvement. Scientifica, 2024(1), p.8133617.

[4] Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D. and Clesceri, L.S., 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater.

[5] Xu, J., Li, C., Yang, F., Dong, Z., Zhang, J., Zhao, Y., Qi, P. and Hu, Z., 2011. Typha angustifolia stress tolerance to wastewater with different levels of chemical oxygen demand. Desalination, 280(1-3), pp.58-62.

[6] Rana, S., Bag, S.K., Golder, D., Roy, S.M., Pradhan, C. and Jana, B.B., 2011. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. Ecological Engineering, 37(6), pp.981-988.

[7] Xu, J., Zhang, J., Xie, H., Li, C., Bao, N., Zhang, C. and Shi, Q., 2010. Physiological responses of Phragmites australis to wastewater with different chemical oxygen demands. Ecological Engineering, 36(10), pp.1341-1347.

[8] Naciri, R., Rajib, W., Chtouki, M., Zeroual, Y. and Oukarroum, A., 2022. Potassium and phosphorus content ratio in hydroponic culture affects tomato plant growth and nutrient uptake. Physiology and Molecular Biology of Plants, 28(4), pp.763-774.

[9] Krishnasamy, K., Nair, J. and Bäuml, B., 2012. Hydroponic system for the treatment of anaerobic liquid. Water Science and Technology, 65(7), pp.1164-1171.

21R2-11

การกำจัดแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มและเอสเชอริเชียโคไล จากน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการกรองทรายและไบโอชาร์ จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำ

Removal of Fecal Coliform Bacteria and *Escherichia coli* from Treated Water Using Sand Filtration and Biochar Derived from Wastewater Sludge for Water Reuse

บุญญฤทธิ์ ยศศิริ[1] ธนพนธ์ จาตุรงคโชค[1] จารวี แก้วใหญ่[2] วิทรัช ยุทธวงศ์[3] สุเมธ วงศ์เขียว[4] และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์[5*]

Boonyarit Yodsiri[1] Tanapon Jaturongkachock[1] Jarawee Kaewyai[2] Vitharuch Yuthawong[3] Sumeth Wongkiew[4] and Pongsak Noophan[5*]

[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[4]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

[5]ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[*]โทรศัพท์ : 06 5969 6890, E-mail : boonyarit.yod@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (FCB) และเอสเชอริเชียโคไล (*E. coli*) ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองโดยใช้ระบบต้นแบบประกอบด้วยถังกรองทราย 1 ถัง และถังกรองไบโอชาร์ 2 ถัง ไบโอชาร์ที่ใช้ในการทดลองผลิตจากกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งผ่านการตากแห้งและผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาและติดตามในงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของระบบการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์จากกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบทางเลือกที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเบื้องต้น เพื่อยกระดับคุณภาพน้ำสำหรับการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ซ้ำในอนาคต อีกทั้งยังเป็นกระบวนการที่ส่งเสริมการจัดการน้ำและการกำจัดกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียได้อย่างยั่งยืน โดยผลการติดตามประสิทธิภาพของระบบการกรองเป็นระยะเวลา 50 วัน พบว่าระบบสามารถกำจัด FCB และ *E. coli* ได้เฉลี่ยร้อยละ 91.3 ± 11 และ 91.2 ± 11 ตามลำดับ พร้อมทั้งสามารถลดค่าความขุ่น สี ความต้องการออกซิเจนทางเคมี และของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลือในน้ำหลังผ่านระบบการกรองยังคงเกินมาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำสำหรับกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสโดยตรงตามข้อกำหนดของ EPA และ WHO ดังนั้นจึงควรติดตั้งหน่วยฆ่าเชื้อโรคเพิ่มเติม

คำสำคัญ : กากตะกอน; ไบโอชาร์; การกรองทราย; ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย; เอสเชอริเชียโคไล; การนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำ

Abstract

This research focuses on studying and evaluating the efficiency of a sand filtration process combined with biochar in removing fecal coliform bacteria (FCB) and *Escherichia coli* (*E. coli*) from effluent discharged from a community wastewater treatment system. The objective is to improve water quality to a level suitable for sustainable water reuse.The experiment was conducted using a prototype system consisting of one sand filter tank and two biochar filter tanks. The biochar used in the study was produced from excess sludge generated by the wastewater treatment system. This sludge was first dried and then subjected to pyrolysis at a temperature of 700°C.The results from this study demonstrate the potential of the sand and biochar filtration system—utilizing biochar derived from excess sludge—as an alternative treatment method for primary effluent from community wastewater systems. This system can enhance water quality for future reuse applications while also promoting sustainable water management and excess sludge disposal practices.Over a 50-day monitoring period, the system achieved an average removal efficiency of 91.3 ± 11% for FCB and 91.2 ± 11% for E. coli. Additionally, the system effectively reduced turbidity, color, chemical oxygen demand (COD), and suspended solids.However, the remaining microbial concentration in the filtered water still exceeds the EPA and WHO standards for water reuse in activities involving direct human contact. Therefore, it is recommended that a disinfection unit be installed as an additional treatment step.

Keywords : Sludge; Biochar; Sand filtration; Fecal coliform bacteria; *Escherichia coli*; Water reuse

บทนำ

ปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม โดยแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform bacteria : FCB) และเอสเชอริเชียโคไล (*Escherichia coli* : *E. coli*) สามารถเป็นตัวชี้วัดของการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในน้ำ [1] อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปอาจช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ในระดับหนึ่ง แต่เชื้อจุลินทรีย์บางส่วนยังคงหลงเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัด ในปริมาณที่สูงเกินกว่ามาตรฐานสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการใช้งานต่อไป [2]

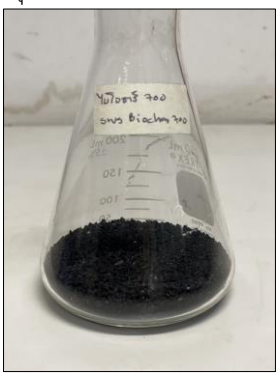
การบำบัดน้ำโดยกระบวนการกรองด้วยทราย (Sand Filtration) และไบโอชาร์ (Biochar) นับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดจุลินทรีย์ อีกทั้งมีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย ซึ่งสามารถปรับใช้ได้ในหลายพื้นที่ รวมถึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์อาศัยกลไกทางกายภาพ การดูดซับ และการย่อยสลายทางชีวภาพ [3] การจัดการกากตะกอนส่วนเกินเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญของระบบบำบัด น้ำเสียเนื่องจากกากตะกอนมักมีปริมาณมากและอาจมีสารปนเปื้อนหรือเชื้อโรค หากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน วิธีการกำจัดกากตะกอนที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ การฝังกลบและการผลิตก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตาม การฝังกลบต้องใช้พื้นที่จำนวนมาก และมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม [4] ด้วยเหตุนี้การพัฒนาวิธีการจัดการกากตะกอนที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน เช่น การผลิตไบโอชาร์จากกากตะกอนน้ำเสียจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น [5] ไบโอชาร์เป็นวัสดุคาร์บอนที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดหรือเรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส ส่งผลให้วัสดุมีโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์และเป็นแหล่งยึดเกาะให้แก่จุลินทรีย์ [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้กระบวนการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ที่ผลิตจากกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมุ่งเน้นการศึกษาการกำจัดแบคทีเรียกลุ่ม FCB และ *E. coli* ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยมีเป้าหมายที่สำคัญเพื่อพัฒนาวิธีการที่ใช้งานได้ง่าย มีต้นทุนที่ต่ำ และส่งเสริมการนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างน้ำดำเนินการเก็บจาก 2 จุด ได้แก่ (1) น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และ (2) น้ำที่ผ่านการกรองด้วยไบโอชาร์ถังที่ 2 โดยความถี่ในการเก็บตัวอย่าง คือทุก 5 วัน และใช้ระยะการศึกษาทั้งหมด 50 วัน ตั้งแต่เดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2568

2. กระบวนการผลิตไบโอชาร์ เริ่มจากนำกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียมาตากแห้ง ในขั้นตอนถัดมานำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะไร้อากาศ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาบดและคัดแยกขนาด เพื่อให้ได้ขนาดไบโอชาร์ 0.84-2.00 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุกรอง [7]



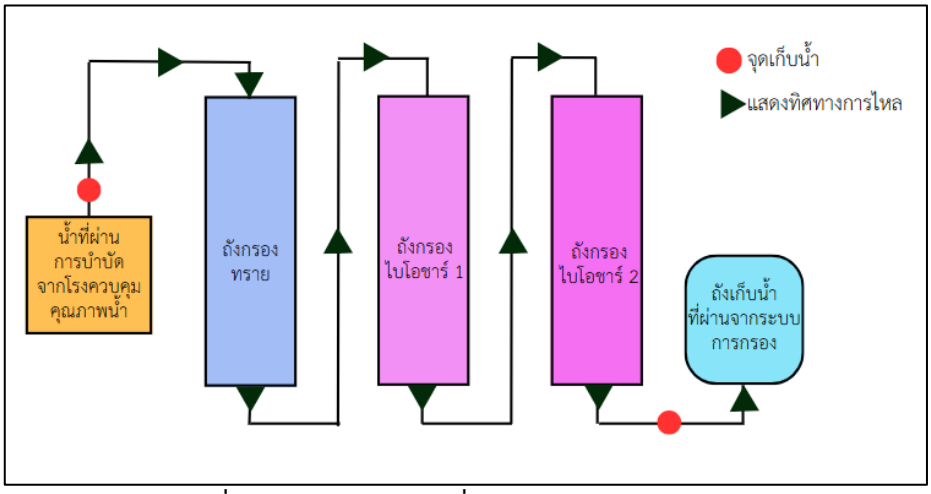
รูปที่ 1 ไบโอชาร์จากกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย

3. ถังปฏิกรณ์ต้นแบบ (Pilot scale) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำจากอะลูมิเนียม ทึบแสงและเป็นระบบปิด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร ปริมาตรของถังทั้งหมดประมาณ 38 ลิตร มีจำนวนทั้งหมด 3 ถัง ประกอบด้วยถังกรองทราย 1 ถัง และถังไบโอชาร์ 2 ถัง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ถังกรองทราย ใช้ทรายละเอียดขนาด 0.84-2.00 มิลลิเมตร โดยมีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 25 ลิตร

3.2 ถังไบโอชาร์ ใช้ไบโอชาร์ขนาด 0.84-2.00 มิลลิเมตร ทั้งสองถัง โดยแต่ละถังมีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 28 ลิตร

4. การเดินระบบของระบบกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ เดินระบบในการทดลองเดินระบบแบบต่อเนื่องโดยใช้การควบคุมตามระดับน้ำลูกลอยในถังเก็บน้ำ เมื่อลูกลอยมีระดับต่ำกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณถังเก็บน้ำขาออกจากระบบกรองซึ่งมีปริมาตร 100 ลิตร อัตราการไหลของน้ำที่ระบบเท่ากับ 200 ลิตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้มีการล้างย้อนเพื่อลดการอุดตันของระบบกรองโดยมีรายละเอียดดังนี้ การล้างย้อนของถังกรองทราย ทำการล้างย้อนทุก 6 ชั่วโมงโดยใช้เวลาล้างย้อนทั้งหมด 45 วินาที และซะล้างด้วยน้ำ 15 วินาที การล้างย้อนของถังไบโอชาร์ ทำการล้างย้อนทุก 24 ชั่วโมงโดยใช้เวลาล้างย้อนทั้งหมด 45 วินาที และซะล้างด้วยน้ำ 15 วินาที



รูปที่ 2 แผนผังระบบต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง (Pilot scale)



รูปที่ 3 รูปของระบบต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง (Pilot scale)

5. การวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolve Solids, TDS) ความขุ่น (Turbidly) สี (Color) ซีโอดี (COD) แบคทีเรียกลุ่ม FCB และ *E. coli* ได้ทำการวิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [8]

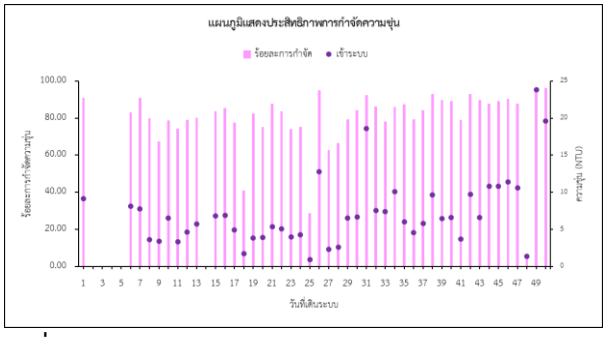
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบการกรองด้วยทรายร่วมกับไบโอชาร์ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 1 คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบน้ำเสียชุมชนยังไม่เหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยพบว่ามีลักษณะทางกายภาพ เช่น ความขุ่น สี และ TSS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.16±4.64 NTU 72.62±114 ADMI และ 143.22±110 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของพารามิเตอร์ทางเคมี ค่า pH และ COD มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.90±0.24 และ 42.08±15.38 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จึงมีความจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดเพิ่มเติมโดยในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป จากผลการติดตามลักษณะน้ำขาออกของระบบกรองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ เช่น ความขุ่น สี และ TSS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.98±0.26 NTU 13.13±4.81 ADMI และ 0.2±0.63 มิลลิกรัม/ลิตร ความขุ่น และ TSS ของน้ำหลังผ่านระบบกรองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำที่นำกลับมาใช้ซ้ำ (น้ำรียูส) ที่ได้กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 2 NTU และไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร สีใสไม่เป็นที่น่ารังเกียจ [9] คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในช่วงร้อยละ 79.4±17 69.4±18 และ 99.91±0.3 ดังในรูปที่ 4-6 และในส่วนของพารามิเตอร์ทางเคมี ค่า pH (รูปที่ 7) และ COD มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.85±0.16 และ 9.6±4.65 มิลลิกรัม/ลิตร pH ของน้ำหลังผ่านระบบกรองมีค่าคงที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 6.0-9.0 [9] ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 75.82±10 ดังในรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น สี TSS และ COD พบว่าระบบกรองมีศักยภาพในการกำจัดพารามิเตอร์เหล่านี้ได้ดี ขณะที่ค่า TDS ในน้ำเสียขาเข้าและน้ำที่ผ่านระบบกรอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 9) แสดงถึงระบบกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ละลายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

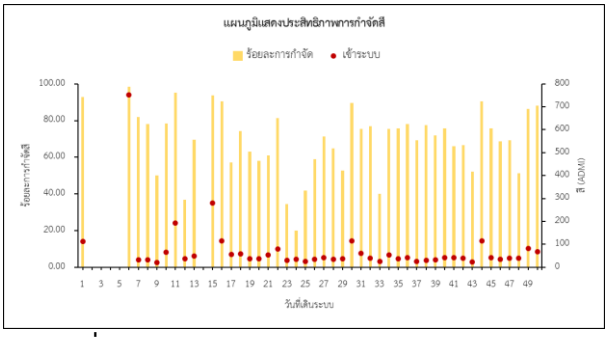
ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำขาเข้าระบบกรอง และน้ำเสียที่ผ่านการกรองด้วยทรายร่วมกับไบโอชาร์

พารามิเตอร์	น้ำขาเข้าระบบกรอง	น้ำเสียที่ผ่านระบบทรายกรองและไบโอชาร์
pH	6.90±0.24	6.85±0.16
TSS (mg/L)	143.2±110	0.2±0.63
TDS (mg/L)	345.78±18	353.24±24
ความขุ่น (NTU)	7.16±4.64	0.98±0.26
สี (ADMI)	72.62±114	13.13±4.81
COD (mg/L)	42.08±15.38	9.6±4.65
FCB (MPN/100mL)	50,320±22,628	2,800±2,687
E. Coli (MPN/100mL)	41,420±23,275	2,550±2,577

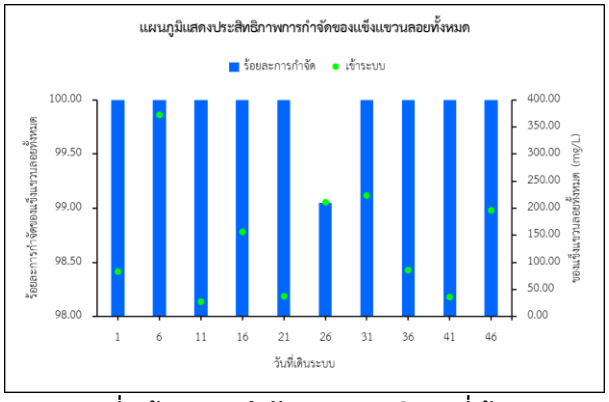
หมายเหตุ : ค่าที่รายงานในตารางคือค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



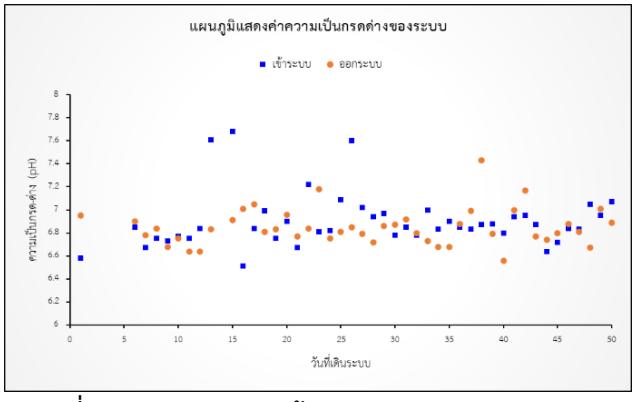
รูปที่ 4 ร้อยละการกำจัดความขุ่น และปริมาณความขุ่นเข้าระบบ



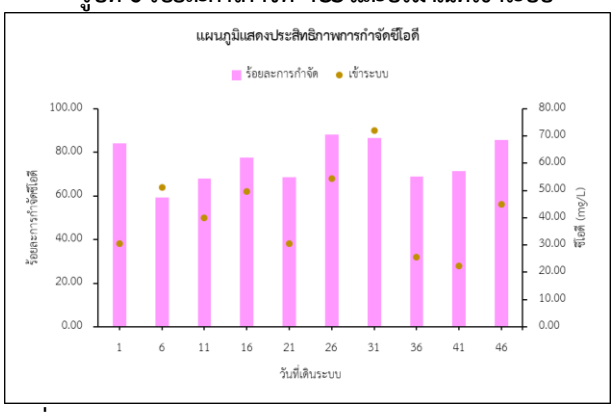
รูปที่ 5 ร้อยละการกำจัดสี และปริมาณสีเข้าระบบ



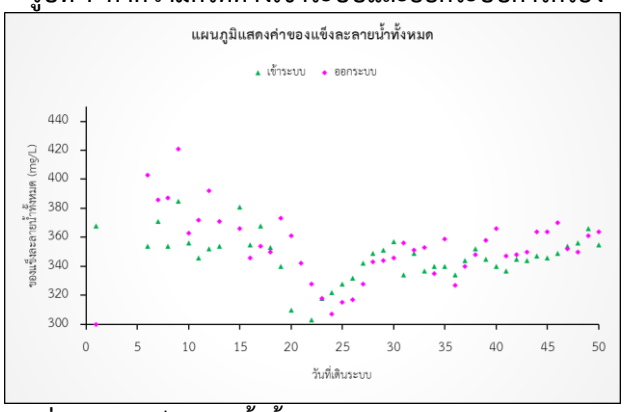
รูปที่ 6 ร้อยละการกำจัด TSS และปริมาณที่เข้าระบบ



รูปที่ 7 ค่าความกรดด่างเข้าระบบและออกระบบการกรอง

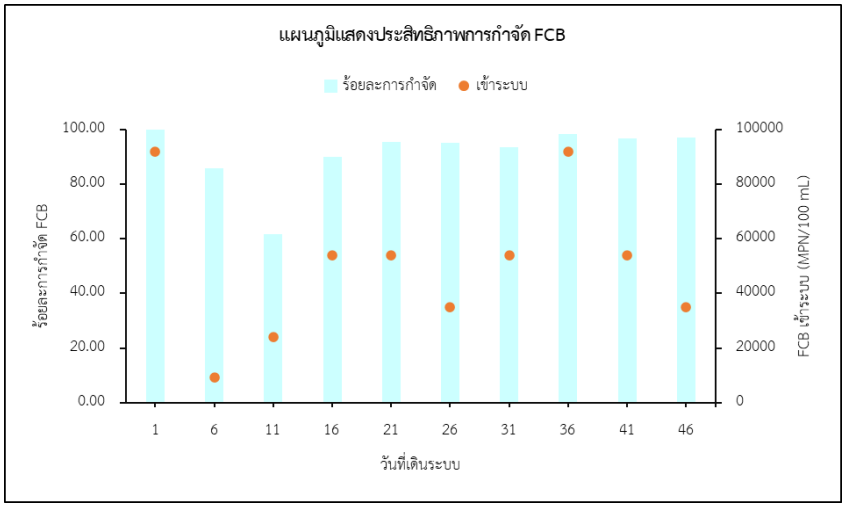


รูปที่ 8 ร้อยละการกำจัด COD และปริมาณ COD เข้าระบบ

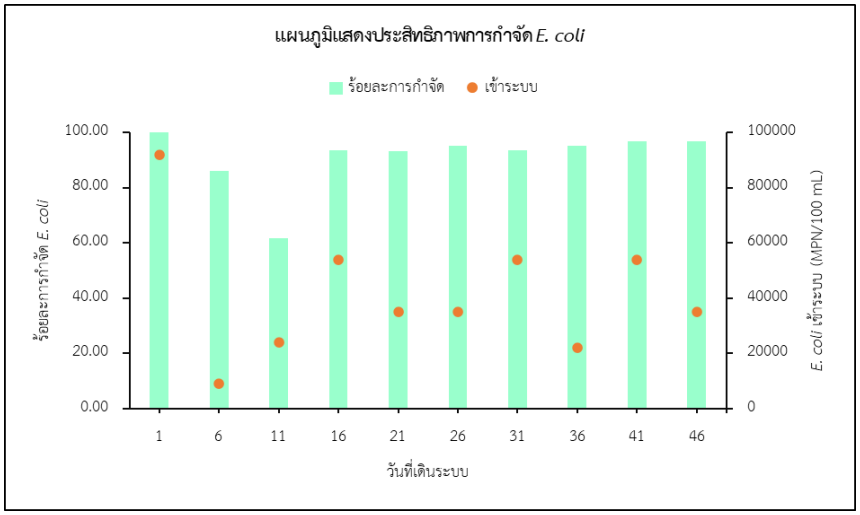


รูปที่ 9 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเข้าระบบและออกระบบการกรอง

จากการวิเคราะห์ทางชีวภาพโดยมุงเน้นการวิเคราะห์ FCB และ *E. coli* ในน้ำเสียขาเข้ามีค่าเท่ากับ 50,320±22,628 และ 41,420±23,275 MPN/100mL ตามลำดับ การศึกษาติดตามประสิทธิภาพระหว่างการเดินระบบกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ในระยะเวลา 50 วัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด FCB และ *E. coli* ร้อยละ 91.3±11 และ 91.2±11 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าปริมาณ FCB และ *E. coli* ในน้ำขาเข้าระบบกรองมีความแปรปรวน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม น้ำที่ผ่านระบบกรองยังคงมีปริมาณ FCB และ *E. coli* ปนเปื้อนเท่ากับ 2,800±2,687 และ 2,500±2,557 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสำหรับการใช้งานกิจกรรมที่ไม่ใช่เพื่อการอุปโภคบริโภคในเขตชุมชนที่ไม่มีการจำกัดการเข้าถึงสาธารณะที่กำหนดไว้ว่า FCB และ *E. coli* ไม่ควรตรวจพบ ตามที่องค์การ EPA กำหนดไว้ [9] ดังนั้นจึงควรติดตั้งหน่วยฆ่าเชื้อเพิ่มเติม เช่น ระบบยูวีหรือคลอรีน เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพการกำจัด FCB โดยกระบวนการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ และ ปริมาณ FCB ที่เข้าระบบ



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพการกำจัด *E.coli* โดยกระบวนการกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ และ ปริมาณ *E.coli* ที่เข้าระบบ

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองทรายร่วมกับไบโอชาร์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า แม้น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยมีค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพและทางเคมี เช่น ความขุ่น สี TSS pH และ COD อยู่ในระดับที่เกินมาตรฐานน้ำรียูส แต่ภายหลังผ่านระบบกรองดังกล่าว พบว่าคุณภาพน้ำได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความขุ่น สี และ TSS ลดลงอย่างชัดเจน มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 79.4±17, 69.4±18 และ 99.91±0.3 ตามลำดับ ส่วนค่า COD ลดลงโดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยที่ร้อยละ 75.82±10 และค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน (5.5–9.0) อย่างไรก็ตาม พบว่าระบบกรองไม่สามารถลดค่า TDS ได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ ขณะที่การวิเคราะห์ทางชีวภาพ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (FCB) และ *Escherichia coli* ได้ในระดับเฉลี่ยร้อยละ 91.3±11 และ 91.2±11 ตามลำดับ แต่ปริมาณเชื้อในน้ำที่ผ่านการบำบัดยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การ EPA ซึ่งไม่ควรตรวจพบเชื้อ ดังนั้นควรมีการติดตั้งหน่วยฆ่าเชื้อเพิ่มเติม เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนทุนจากโครงการส่งเสริมจากการศึกษาระดับปริญญาโทแผนการเรียนแบบ ก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดโครงการศึกษาวิจัย จนทำให้คณะผู้วิจัยสามารถนำผลงานที่ได้ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาไบโอชาร์ที่ผลิตจากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำได้ดียิ่งขึ้น และคณะผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดนำกลับมาใช้ประโยชน์ซ้ำได้อย่างยั่งยืนของเมืองไทยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] WHO. (2022). Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organization.Lehmann.

[2] Nguyen, T. T., et al. (2021). "Efficiency of Biochar in Removing Waterborne Pathogens: A Review." Environmental Science & Technology, 55(6), 3482–3496.

[3] Zhao, Y., et al. (2020). "Sand Filtration and Biochar for Microbial Contaminant Removal." Water Research, 176, 115768.

[4] Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(1), 116-140.

[5] Lu, H., Zhang, W., Wang, S., Zhuang, L., Yang, Y., & Qiu, R. (2013). Characterization of sewage sludge-derived biochars from different feedstocks and pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 102, 137-143.

[6] J., & Joseph, S. (2015). Biochar for Environmental lManagement : Science, Technology and Implementation. Routledge.

[7] Gao, N., Quan, C., Liu, B., Li, Z., Wu, C., & Li, A. (2017). Continuous Pyrolysis of Sewage Sludge in a Screw-Feeding Reactor: Products Characterization and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals. Energy & Fuels, 31(5), 5063-5072.

[8] APHA-AWWA-WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York.

[9] United States Environmental Protection Agency. (2012). *2012 guidelines for water reuse* (EPA/600/R-12/618). https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf

21R3-01

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นอัดจากเศษไม้ไผ่และพลาสติกตามแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

Optimal Conditions for Forming Bamboo-Plastic Composite Boards: Toward a Sustainable Economy Model

ศิรสิทธิ์ มีศิริ[1] อริสษา อินโท[1] ณรงค์ศักดิ์ เชื้อเมืองพาน[1] โสมนัส สมประเสริฐ[1] และ อนุสรณ์ บุญปก[2,*]
Sirasit Meesiri[1] Aritsa Intho[1] Narongsak Chuemuengpan[1] Somanat Somprasert[1] and Anusorn Boonpoke[2,*]
[1]คณะพลังงานและสิ่งแวดลอม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000, [2,*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพลังงานและสิ่งแวดลอม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
*โทรศัพท์ : 0897116833, E-mail : iamanusorn@gmail.com

บทคัดย่อ

การผลิตแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE ที่มีความหนาแน่นสูง โดยอาศัยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและของเสียเป็นศูนย์ (Zero waste) เพื่อการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือใช้ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดดำเนินการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology : RSM) รูปแบบ Box-behnken design (BBD) ศึกษา 4 ปัจจัย ประกอบด้วย อัตราส่วนสารเชื่อมประสาน (กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์) ต่อน้ำหนักส่วนผสม ระยะเวลาในการขึ้นรูป อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป อัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกประเภท HDPE กับเศษไผ่ ที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัด โดยสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดที่อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการขึ้นรูป 14 นาที อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 154 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ ร้อยละ 46 ต่อ 54 โดยน้ำหนัก ให้แผ่นไม้อัดที่มีความหนาแน่นสูงสุดที่ 672.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการพองตัวทางความหนาเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.87 และค่าความชื้นร้อยละ 2.45 ซึ่งเป็นไปตาม มอก.876-2547 ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และ HDPE ที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : แผ่นไม้อัด; เศษไม้ไผ่; พลาสติกประเภท HDPE; เศรษฐกิจหมุนเวียน; การออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง

Abstract

This study focuses on the production of Particle board using bamboo waste and high-density polyethylene (HDPE) plastic waste, based on the concepts of circular economy and zero waste, aiming to optimize resource utilization and add value to waste materials. The optimal conditions for Particle board formation were investigated using Response Surface Methodology (RSM) with a Box-Behnken Design (BBD). Four factors were studied: the ratio of binder (urea-formaldehyde adhesive) to the total mixture weight, forming time, forming temperature, and the ratio of HDPE plastic waste to bamboo waste, in relation to their effect on the density of the particle board. The optimal forming conditions were determined to be: 10% binder-to-

mixture weight ratio, 14 minutes forming time, a forming temperature of 154°C, and a HDPE-to-bamboo waste ratio of 46:54 by weight. Under these conditions, the particle board achieved a maximum density of 672.12 kg/m³, a thickness swelling rate of 0.87%, and a moisture content of 2.45%, all meeting the Thai Industrial Standard (TIS 876-2547). The results demonstrate the feasibility of producing high-quality particle board from bamboo and HDPE waste, making it suitable for commercial applications and aligning with sustainable development goals.

Keywords: Particle board; Bamboo residue; Plastic HDPE; Circular economy; Response Surface Methodology

บทนำ

ไม้ไผ่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ และผลิตภัณฑ์จากเส้นใย ในอุตสาหกรรมการผลิตตะเกียบแบบใช้ครั้งเดียว ไม้ไผ่ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก แต่ในกระบวนการก่อให้เกิดเศษไม้ไผ่เหลือใช้จำนวนมาก ซึ่งทั้งหมดกำจัดโดยการเผาหรือฝังกลบซึ่งไม่ก่อให้เกิดมูลค่า ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายและคุณภาพอากาศที่ไม่ดีตามมาจากการเผาทำลาย ดังนั้น การนำเศษไม้ไผ่ และ เศษพลาสติกประเภท HDPE (High-density polyethylene) ที่พบได้ทั่วไป คือ ฝาขวดน้ำดื่ม ที่มีศักยภาพในการแปรรูปใหม่ (Recycle) แต่กระบวนการคัดแยกและรวบรวมยังทำได้ยากและไม่คุ้มทุนในหลายกรณี แต่คุณสมบัติในการยึดประสานและทนทานต่อความชื้น จึงเป็นวัสดุที่มีศักยภาพเพื่อการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) สำหรับการผลิตแผ่นไม้อัดที่แข็งแรง มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ สามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการ ลดมลพิษที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการจัดการของเสีย ตามแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

การพัฒนาแผ่นไม่อัดจากเศษไม้ไผ่มีความเป็นไปได้สูง โดย การใช้เศษไม้ไผ่ที่มีขนาด 3 – 5 เซนติเมตรและความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ร่วมกับวัสดุตัวประสานจากธรรมชาติ แผ่นอัดจากเศษไม้ไผ่ที่ให้ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และมอดูลัสแรงดึง (Young's modulus) สูง การพองตัวตามความหนาผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.876-2547) ที่สภาวะการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อนที่ 190 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที [1] ในการใช้สารยึดเกาะ Polymeric diphenylmethane diisocyanate (pMDI) ร้อยละ 7 ของน้ำหนักเศษไม้ไผ่แห้ง อัดขึ้นรูปร้อนที่ความดัน 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แผ่นไม้อัดที่ได้มีความหนาแน่น 660 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการพองตัวทางความหนา การต้านทานแรงดึง และมอดูลัสแรงดึง เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด [2] อีกทั้ง การขึ้นรูปเศษผงไม้พาเลทโดยมีเศษพลาสติกชนิด HDPE เป็นตัวเชื่อมประสานแทนตัวยึดประสานที่เป็นสารเคมีอันตรายหรือวัสดุจากธรรมชาติ ทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนที่ 190 องศาเซลเซียส แรงดัน 1,300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที ได้แผ่นไม้อัดที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ที่อัตราส่วนเศษผง HDPE และ ผงไม้พาเลท ที่ 75 ต่อ 25 [2] ตาม มอก.876-2547 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบต้องมีคุณลักษณะพื้นฐานที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไป (ผิวเรียบสม่ำเสมอ ขอบตั้งฉากกับแนวราบ) ความหนาแน่น (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 400 - 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ปริมาณความชื้น (เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 4 – 13) ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ (ไม่เกิน 8 มิลลิกรัม และ 8 – 30 มิลลิกรัม สำหรับชิ้นงานคุณภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) ทั้งนี้ คุณสมบัติของแผ่นอัดจึงขึ้นอยู่กับรูปแบบการนำไปใช้งานด้วยเช่นกัน

งานวิจัยดำเนินการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นอัดจากเศษไม้ไผ่ร่วมกับเศษพลาสติกชนิด HDPE โดยดำเนินการศึกษา 4 ปัจจัย อัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ระยะเวลาในการขึ้นรูป อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดขึ้นรูปจากเศษไม้ไผ่ร่วมกับเศษพลาสติกชนิด HDPE

อุปกรณ์และวิธีการ

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE โดยมีกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde) เป็นสารเชื่อมประสาน ขึ้นรูปตัวอย่างแบบอัดร้อนที่ความดันคงที่ 150 บาร์ ตรวจสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ_มอก. 876-2547) เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 4 ที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น ประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ระยะเวลาในการขึ้นรูป และอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ผ่านเทคนิคการออกแบบการทดลองโดยวิธีการพื้นผิวการตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) รูปแบบ Box-Behnken Design (BBD) ระบุค่ากลางการทดลอง 3 เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการออกแบบการทดลอง 3 ซ้ำ การทดลองทั้งหมด 81 การทดลอง โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและค่าปัจจัยที่ดำเนินการศึกษา แสดงดังรูปที่ 1 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 การดำเนินงานวิจัยการขึ้นรูปแผ่นอัดจากเศษไม้ไผ่และพลาสติก

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดขึ้นรูปจากเศษไม้ไผ่และพลาสติก

ปัจจัย	รหัส	หน่วย	ระดับ		
			-1	0	1
อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม	A	ร้อยละโดยน้ำหนัก	4	8	12
ระยะเวลาในการขึ้นรูป	B	นาที	5	10	15
อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป	C	องศาเซลเซียส	140	160	180
อัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่	D	ร้อยละโดยน้ำหนัก	30	50	70

ผลการทดลองและวิจารณ์

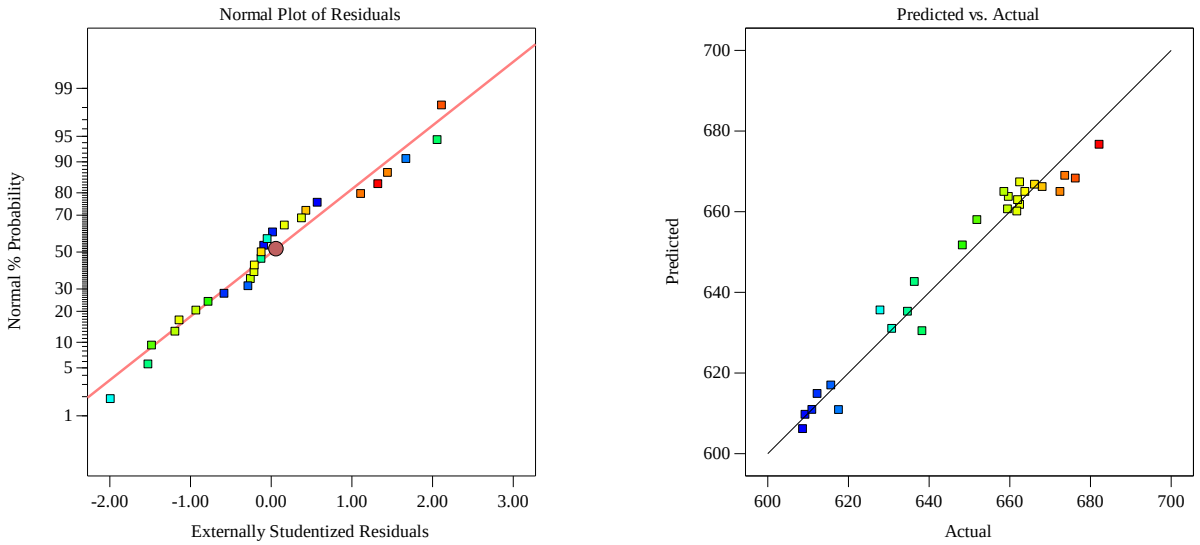
การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression model analyzations)

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความเหมาะสมของสมการการออกแบบสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น พบว่า รูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic Model) เหมาะสมสำหรับพิจารณาสมการถดถอยในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัด โดยแบบจำลองให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ (Standard Deviation: SD) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูง โดยสมการ (1) เป็นผลจากการใช้เทคนิค RSM ในรูปแบบ BBD ซึ่งอยู่ในรูปแบบการเข้ารหัส (Coded equation) ผลตอบสนองหรือผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่าความหนาแน่นในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

$$\text{ค่าความหนาแน่น } (kg/m^3) = +664.97 + 5.63(A) + 10.88(B) + 7.53(C) - 17.9(D) - 9.83(AB) - 4.53(AC) + 6.7(AD) - 15.35(BC) - 5.48(BD) - 8.13(CD) + 4.15(A^2) - 7.53(B^2) - 8.8(C^2) - 27.98(D^2) \quad (1)$$

สมการ (1) คือ สมการทำนายผลลัพธ์ที่ต้องการ (ความหนาแน่น) ในรูปแบบเข้ารหัสโดยแทนค่าของแต่ละปัจจัยด้วย +1, 0, และ -1 สมการข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยได้ด้วยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละปัจจัย กล่าวคือ เครื่องหมายหน้าค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละปัจจัย (+) หรือ (-) แสดงถึงความสัมพันธ์นั้นเป็นในรูปแบบตามกันหรือตรงกันข้ามกัน

อีกทั้ง สมการ (1) ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติของค่าความหนาแน่น แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ได้จากการทดลองกับการแทนค่าสมการ (1) ดังรูปที่ 2 (ซ้าย) ความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ (Normal probability) มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอยู่บนเส้นตรงโดยไม่มีการกระจายตัวไกลออกไปอย่างโดดเด่นของข้อมูล อธิบายได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีค่าการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้น ข้อมูลในโมเดลนี้มีความน่าเชื่อถือ รูปที่ 2 (ขวา) Quadratic Model มีประสิทธิภาพสูงในการให้ค่าการวิเคราะห์จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (1) โดยพิจารณาได้จากจุดในแผนภาพมีพฤติกรรมที่เกาะกลุ่มและกระจายตัวอย่าสม่ำเสมอไม่ทิ้งระยะห่างจากเส้นตรง



รูปที่ 2 ความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ (ซ้าย) และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการทดลองกับข้อมูลจากโมเดลของค่าความหนาแน่น

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

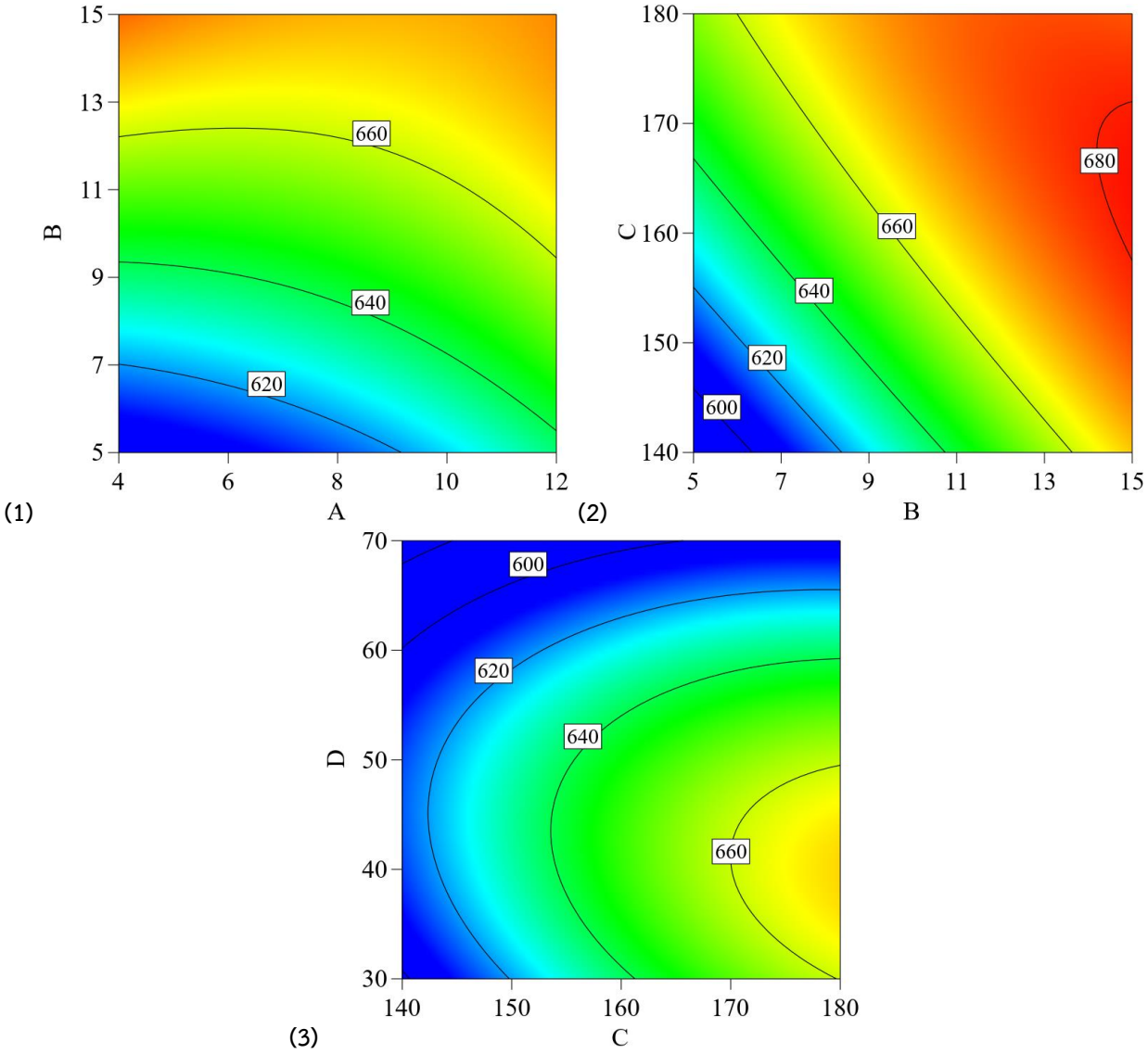
การวิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 (P-value < 0.05) พบว่า อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ระยะเวลาในการขึ้นรูป อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป และอัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ มีผลต่อค่าความหนาแน่น โดยแสดงค่า P-value เท่ากับ 0.0127, 0.0001, 0.0021, และ น้อยกว่า 0.0001 ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย พบว่า อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสมกับระยะเวลาในการขึ้นรูป ระยะเวลาในการขึ้นรูปกับอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป และอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปกับอัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ มีผลต่อค่าความหนาแน่น โดยแสดงค่า P-value เท่ากับ 0.0122, 0.0006, และ 0.0313 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ 0.9623 สำหรับโมเดลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น แสดงให้เห็นว่า ค่าในช่วงปัจจัยที่ทำการระบุลงในโมเดลการวิเคราะห์มีผลตอบสนองต่อผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา โดยมีข้อมูลเพียงร้อยละ 0.0377 ของข้อมูลทั้งหมดที่โมเดลไม่สามารถทำการอธิบายผลลัพธ์เหล่านั้นได้ Adjusted R^2 และ Predicted R^2 ที่ 0.9183 และ 0.8073 ตามลำดับ ผลดังกล่าวเป็นที่ยอมรับ เนื่องจากมีค่าต่างกันเพียง 0.1110 เป็นเหตุทำให้สามารถนำโมเดลไปประยุกต์ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	13,623.90	14	973.14	21.88	< 0.0001	**Significant**
A	380.81	1	380.81	8.56	0.0127	
B	1,421.36	1	1,421.36	31.96	0.0001	
C	681.01	1	681.01	15.31	0.0021	
D	3,844.92	1	3,844.92	86.45	< 0.0001	
AB	386.12	1	386.12	8.68	0.0122	
AC	81.90	1	81.90	1.84	0.1998	
AD	179.56	1	179.56	4.04	0.0675	
BC	942.49	1	942.49	21.19	0.0006	
BD	119.90	1	119.90	2.70	0.1265	
CD	264.06	1	264.06	5.94	0.0313	
A^2	91.85	1	91.85	2.07	0.1762	
B^2	302.00	1	302.00	6.79	0.023	
C^2	413.01	1	413.01	9.29	0.0101	
D^2	4,173.87	1	4,173.87	93.85	< 0.0001	
Residual	533.71	12	44.48			
Lack of Fit	435.06	10	43.51	0.88	0.6401	**Not significant**
Pure Error	98.65	2	49.32			
Cor Total	14,157.61	26				
Std. Dev.	6.67		**R^2**	0.9623		
Mean	647.12		**Adjusted R^2**	0.9183		
C.V. %	1.03		**Predicted R^2**	0.8073		
			Adeq Precision	14.1845		

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE

สภาวะที่เหมาะสมวิเคราะห์ผ่านค่าความหนาแน่นที่มีค่าสุงสุด ซึ่งได้จากเตรียมตัวอย่างในสภาวะอัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ร้อยละ 10 ระยะเวลาในการขึ้นรูป 14 นาที อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 154 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ ร้อยละ 46 ได้แผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE มีความหนาแน่น 672.12 kg/m^3 ค่าการพองตัวตามความหนาร้อยละ 0.87 และค่าความชื้นร้อยละ 2.45 โดยสมบัติทางกายภาพดังกล่าวเป็นไปตาม มอก.876-2547 กำหนด (ค่าความหนาแน่น 400 - 900 kg/m^3, ค่าพองตัวตามความหนาไม่เกินร้อยละ 12, และค่าความชื้นร้อยละ 4 - 13)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE (A: อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสมกับระยะเวลาในการขึ้นรูป, B: ระยะเวลาในการขึ้นรูปกับอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป, และ C: อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปกับอัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่)

รูปที่ 3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และเศษพลาสติกประเภท HDPE โดยความสัมพันธ์ A กับ B ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อปัจจัยทั้ง 2 เพิ่มขึ้น ในช่วงร้อยละ 10 – 12 และ 13 – 15 นาที ตามลำดับ ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง B และ C มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยค่าช่วงปัจจัย 13 – 15 นาที และ 170 – 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด ส่วนความสัมพันธ์ของ C และ D ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อ C เพิ่มขึ้น และ D ลดลง โดยค่าช่วงปัจจัย 170 – 180 องศาเซลเซียส และร้อยละ 40 – 50 ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด จากความสัมพันธ์ทั้งหมดเป็นผลจากเมื่อปริมาณส่วนผสมของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น (น้ำหนักเพิ่มขึ้น) ปริมาตรคงที่ความหนาแน่นจะมีค่าสูงขึ้น

สรุป

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่และพลาสติก HDPE โดยอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ RSM รูปแบบ BBD เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าความหนาแน่น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ระยะเวลาในการขึ้นรูป อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป และอัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัด ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นไม้อัด ได้แก่

อัตราส่วนสารเชื่อมประสานต่อน้ำหนักส่วนผสม ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการขึ้นรูป 14 นาที อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 154 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างเศษพลาสติกกับเศษไผ่ ร้อยละ 46 ต่อ 54 โดยน้ำหนัก ให้แผ่นไม้อัดที่มีความหนาแน่นสูงสุดที่ 672.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการพองตัวทางความหนาเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.87 และค่าความชื้นร้อยละ 2.45 ซึ่งเป็นไปตาม มอก.876-2547 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตตะเกียบและเศษพลาสติกประเภท HDPE สามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงได้จริงและและมีศักยภาพในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้อัดหรือวัสดุเชิงประกอบได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ 2567 (RSPG670020) และมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่สัญญาทุน 221/2567

เอกสารอ้างอิง

[1] วรพงค์ บุญช่วยแทน, ชาตรี หอมเขียว, จักรนรินทร์ ฉัตรทอง, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, ณัฐศักย์ หวังสุด, และ ปฏิภาณ มิ่งแก้ว. 2567. การวิจัยและพัฒนากระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนแผ่นไม้ไผ่จากเศษไม้ไผ่สู่การใช้ประโยชน์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม. 17(2): 36 - 47.

[2] แสงระวี สุขีธรรม, ทรงกลด จารุสมบัติ, และ ธีระ วีณิน. 2562. แผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไผ่จากโรงงานทำตะเกียบ. วารสารวนศาสตร์. 38 (2): 192-201

[3] กิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล, อิทธิ ผลิตศิริ, วิภาดา เทพจันทรา, และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2567. การผลิตไม้เทียมจากผงไม้พาเลทผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำรีไซเคิล. Frontiers in Engineering 1 Innovation Research. 22(1).

21R3-02

ความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ของหินเทียมที่ได้จากขยะเศษไม้เทียม ขยะเศษแก้ว และขยะเศษพลาสติก

Compressive Strength, Density, and Water Absorption of Artificial Aggregates Made from Composite Wood Waste, Glass Waste, and Plastic Waste

อมเรศ บกสุวรรณ[1] ประชุม คำพุฒ[1*] วันโชค เครือหงส์[2] และเกียรติสุดา สมนา[3]
Amares Boksuwan[1] Prachoom Khamput[1*] Wanchock Kroehong[2] and Kiatsuda Somna[3]
[1,1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
เขตพื้นอุเทนถวาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กรุงเทพฯ 10330
[3]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นครราชสีมา 30000
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 02 5493412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th, prachoom.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตวัสดุหินเทียมจากของเสียในชุมชน ได้แก่ ขยะเศษไม้เทียม ขยะเศษแก้ว และขยะเศษพลาสติก โดยผสมในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุที่ได้ ได้แก่ ความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ผลการทดลองพบว่า สูตรที่ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด คือ สัดส่วน 30P–20G–50W เท่ากับ 353 กก./ตร.ซม. ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อสัดส่วนของขยะพลาสติกลดลง ในขณะที่ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษแก้ว โดยสูตร 10P–40G–50W ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 1,567.37 กก./ลบ.ม. สำหรับค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแก้ว โดยสูตร 30P–20G–50W ให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดที่ 1.39% จากผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของขยะพลาสติกและเศษแก้วมีผลต่อสมบัติเชิงกลและฟิสิกส์ของหินเทียมอย่างชัดเจน โดยสามารถควบคุมสูตรผสมให้เหมาะสมต่อการใช้งานเฉพาะด้าน เช่น เป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบในงานคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก หรือเป็นแผ่นวัสดุตกแต่งในงานภูมิสถาปัตย์ ทั้งนี้ยังเป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณขยะยากต่อการจัดการในชุมชน และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรเหลือทิ้งอย่างยั่งยืนตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ : ขยะพลาสติก; เศษแก้ว; ไม้เทียม; หินเทียม; วัสดุทดแทน

Abstract

This research aimed to investigate the production of artificial stone using community waste materials, namely plastic waste, glass waste, and composite wood waste. The materials were mixed in various proportions and hot-pressed at 150°C to evaluate their physical and mechanical properties, including compressive strength, density, and water absorption. The results showed that the highest compressive strength of 353 ksc was achieved with the mix ratio of 30P–20G–50W, and the strength significantly decreased as the proportion of plastic waste was reduced. In contrast, the density increased with higher glass content, reaching a maximum of 1,567.37 kg/m³ in the 10P–40G–50W mix. Water absorption tended to increase with

the glass proportion, while the lowest value of 1.39% was observed in the 30P–20G–50W formulation. The study confirms that the proportion of plastic and glass waste significantly affects the mechanical and physical properties of artificial stone. With appropriate mixing ratios, the material can be applied effectively as a coarse aggregate substitute in non-structural concrete or as decorative elements in landscape architecture. This approach not only addresses the challenge of managing non-recyclable community waste but also promotes the sustainable use of waste resources under the circular economy concept.

Keywords : plastic waste; glass waste; composite wood; artificial stone; alternative materials

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน ปัญหาขยะมูลฝอยกลายเป็นประเด็นสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย โดยเฉพาะขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เช่น ขยะพลาสติก ขยะแก้ว และขยะจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ไม้เทียม ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปีตามอัตราการบริโภคและการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ขยะประเภทนี้มักไม่ถูกคัดแยกอย่างเหมาะสม และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในระบบรีไซเคิลทั่วไป ทำให้เกิดการสะสมในระบบนิเวศ สร้างผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต สิ่งแวดล้อม และสุขภาพของประชาชนในระยะยาว [1]

ในอีกด้านหนึ่ง วัสดุก่อสร้าง ยังคงเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะวัสดุตกแต่ง เช่น หินเทียม แผ่นตกแต่งพื้นหรือผนัง ซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่อาศัยการสกัดจากทรัพยากรธรรมชาติ เช่น หินธรรมชาติหรือแร่ธาตุ ซึ่งมีต้นทุนสูงและก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศในกระบวนการผลิต หากสามารถพัฒนาวัสดุทางเลือกที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งได้ ก็จะช่วยลดการใช้ทรัพยากรใหม่และสร้างคุณค่าจากของเสียที่ไร้มูลค่า [2]

จากแนวคิดข้างต้น งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิต “หินเทียมจากขยะผสม” โดยใช้ ขยะเศษไม้เทียม จากอุตสาหกรรมก่อสร้าง, เศษแก้ว จากภาชนะที่ใช้งานแล้ว และ เศษพลาสติก จากบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วในชุมชน มาผสมในสัดส่วนต่างกัน และขึ้นรูปด้วยความร้อน เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุตกแต่งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่สามารถใช้งานได้จริง โดยวัดผลในด้าน ความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญในการพิจารณาความแข็งแรงและความคงทนของวัสดุสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร

การวิจัยนี้ไม่เพียงเป็นการจัดการขยะที่ยากต่อการรีไซเคิลเท่านั้น แต่ยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) โดยมีเป้าหมายเพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบใหม่ที่สร้างมูลค่า และสามารถตอบโจทย์การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในภาคการก่อสร้าง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้

ขยะเศษไม้เทียม (W) ขยะเศษแก้ว (G) และขยะเศษพลาสติก (P) ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งในสิ่งแวดล้อม ขยะทั้งหมดนำมาใช้โดยไม่มีการคัดแยกกลุ่มของชนิดขยะ นำมาบดให้ละเอียดเพื่อเตรียมหลอมเป็นหินเทียม

2. วิธีการผสมหินเทียม

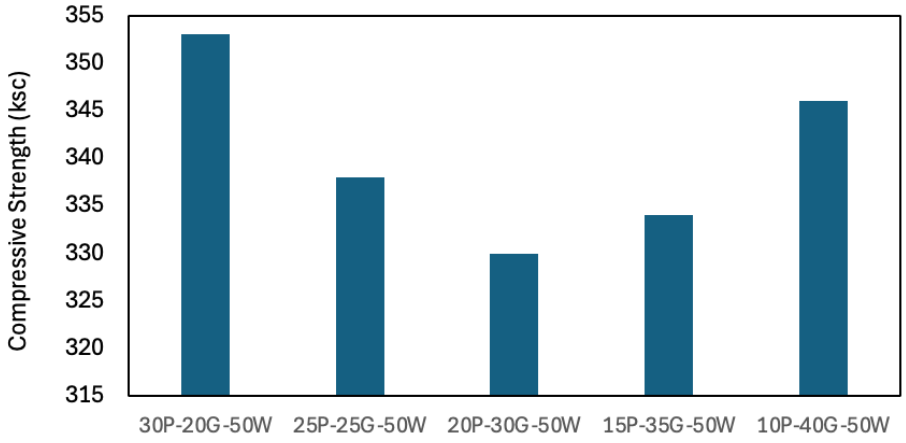
กระบวนการผลิตเริ่มจากการนำวัสดุทั้งสามชนิดมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนที่กำหนด ได้แก่ 30P-20G-50W 25P-25G-50W 20P-30G-50W 15P-35G-50W 10P-40G-50W แล้วจึงนำส่วนผสมเข้าสู่กระบวนการหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส เพื่อให้พลาสติกทำหน้าที่เป็นสารประสาน (Binder) เชื่อมวัสดุทั้งหมดให้รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียว หลังจากนั้นจึงนำวัสดุที่หลอมเข้ากันดีแล้วเทใส่แบบหล่อขนาด 5 x 5 x 5 ลบ.ซม. ขณะที่ยังมีความร้อน อัดให้แน่นทิ้งไว้ให้เย็นตัว แล้วถอดแบบออกเพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล

3. การทดสอบ

ทดสอบความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของก้อนผสมจากเศษไม้เทียมผสมขยะเศษแก้วและขยะพลาสติกหินเทียม ขนาด 5 x 5 x 5 ลบ.ซม. ก่อนนำมาปรับรูปทรงด้วยการบดย่อยให้เป็นหินเทียมต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบความต้านแรงอัด



รูปที่ 1 ความต้านแรงอัดของหินเทียมสูตรต่าง ๆ

รูปที่ 1 แสดงค่าความต้านแรงอัดของหินเทียมที่อายุ 28 วัน จากผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัด พบว่า สูตรที่มีการผสมขยะเศษไม้เทียม ขยะเศษแก้ว และขยะพลาสติกในสัดส่วนที่เหมาะสม เช่น สูตรที่มีพลาสติกในปริมาณ ไม่เกิน 25% โดยปริมาตร ให้ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 330–353 กก./ตร.ซม. (ksc) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับวัสดุก่อสร้างประเภทแผ่นหินเทียมหรือบล็อกคอนกรีตเบาสำหรับงานตกแต่งทั่วไป โดยค่าดังกล่าวสามารถรองรับแรงกดและน้ำหนักได้เพียงพอสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุในพื้นที่ภายนอก เช่น พื้นตกแต่ง กระถางต้นไม้ หรือเฟอร์นิเจอร์สนาม

ค่าความต้านแรงอัดที่ลดลงในสูตรที่มีปริมาณขยะพลาสติกสูงกว่า 30% อาจเกิดจากคุณสมบัติของพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นและผิวลื่น ทำให้ยึดเกาะกับสารประสานได้น้อย และเกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้เนื้อหินเทียมไม่สามารถรับแรงกดได้เต็มที่ อย่างไรก็ตาม การผสมเศษแก้วในสัดส่วนเพิ่มขึ้นจะช่วยปรับโครงสร้างภายในให้แน่นขึ้น เนื่องจากเศษแก้วมีลักษณะแข็งไม่ยืดหยุ่น และช่วยกระจายแรงภายในวัสดุได้ดี [3-4]

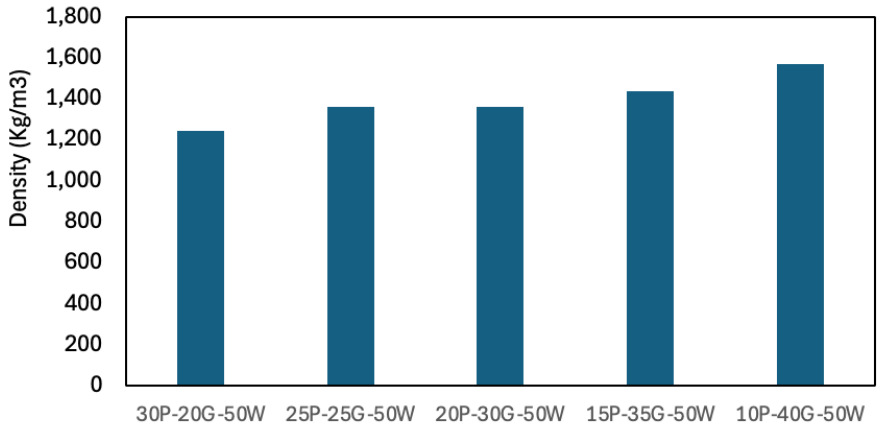
ดังนั้น การควบคุมสัดส่วนระหว่าง ขยะพลาสติกและเศษแก้ว ให้สมดุล มีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติทางกลของหินเทียม และจากผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่า หากเลือกสัดส่วนอย่างเหมาะสม จะสามารถพัฒนาวัสดุจากของเสียให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับวัสดุก่อสร้างทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับการใช้งานจริงได้อย่างมั่นใจ [5]

2. ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น

จากการทดสอบค่าความหนาแน่นของหินเทียมที่ผลิตจากขยะเศษไม้เทียม เศษแก้ว และขยะพลาสติก ตามที่แสดงในรูปที่ 2 พบว่า เมื่อลดสัดส่วนพลาสติกและเพิ่มสัดส่วนของเศษแก้วในส่วนผสม ค่าความหนาแน่นของหินเทียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยแนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแต่ละชนิด กล่าวคือ เศษแก้วมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 2.4–2.6 ก./ลบ.ซม. ซึ่งสูงกว่าพลาสติก (0.9–1.3 ก./ลบ.ซม.) และไม้เทียมที่มีโครงสร้างพรุนและน้ำหนักเบา

การเพิ่มปริมาณเศษแก้วในส่วนผสมจึงส่งผลให้ มวลรวมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุแน่นขึ้น และมีความหนาแน่นโดยรวมมากขึ้น ขณะที่พลาสติกซึ่งมีน้ำหนักเบาและโครงสร้างยืดหยุ่น เมื่ออยู่ในปริมาณมากจะลดความหนาแน่นของเนื้อวัสดุและทำให้วัสดุมีลักษณะโปร่งกว่า ซึ่งอาจเป็นข้อดีสำหรับการใช้งานที่ต้องการน้ำหนักเบา แต่ก็อาจกระทบต่อความแข็งแรงและความคงทนของผลิตภัณฑ์ [6-7]

ผลการทดสอบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบภายในของวัสดุผสมมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินเทียม โดยเฉพาะในแง่ของความหนาแน่น ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการรับแรงเฉือน การทนต่อแรงกระแทก และการเคลื่อนย้ายใช้งาน การออกแบบสูตรส่วนผสมจึงควรพิจารณาสัดส่วนของวัสดุให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน เช่น หากต้องการวัสดุเบาเพื่อความสะดวกในการติดตั้งหรือเคลื่อนย้าย ควรจำกัดปริมาณแก้วให้อยู่ในระดับต่ำ แต่หากต้องการวัสดุที่มีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น อาจเพิ่มปริมาณของแก้วให้มากขึ้นโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสมบัติอื่นร่วมด้วย



รูปที่ 2 ความหนาแน่นของหินเทียมสูตรต่าง ๆ

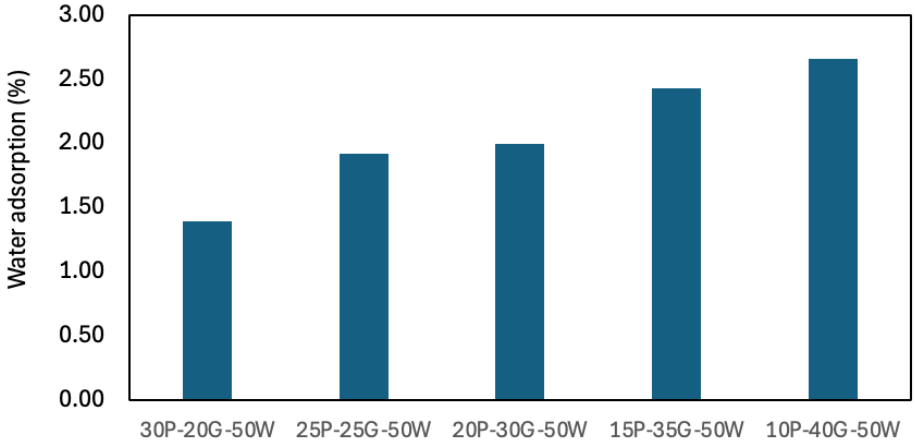
3. ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 3 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของหินเทียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของขยะพลาสติกลดลง และสัดส่วนของเศษแก้วเพิ่มขึ้น แนวโน้มดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในส่วนผสม โดย ขยะพลาสติก มีลักษณะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และสามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันน้ำได้ดี เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในปริมาณมากจึงช่วยลดการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่เนื้อวัสดุ

ในทางกลับกัน แม้ว่า เศษแก้ว จะมีพื้นผิวที่ไม่ดูดซึมน้ำโดยตรง (Non-porous) แต่เมื่อผสมรวมในสัดส่วนที่สูง และผ่านกระบวนการขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 150°C) ซึ่งไม่เพียงพอต่อการหลอมรวมของแก้วกับวัสดุอื่นอย่างสมบูรณ์ อาจส่งผลให้เกิด ช่องว่าง (Voids) ระหว่างอนุภาคแก้วและวัสดุประสาน โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อของวัสดุต่างชนิด ซึ่งทำให้โครงสร้างภายในมีความพรุนสูงขึ้น ส่งผลให้วัสดุสามารถดูดซับน้ำจากภายนอกได้มากขึ้น

นอกจากนี้ เศษแก้วมีลักษณะเป็นวัสดุแข็งและไม่สามารถยืดหยุ่นได้เหมือนพลาสติก จึงทำให้ การจัดเรียงตัวในระหว่างการขึ้นรูปไม่แนบแน่น เมื่อมีปริมาณมากอาจส่งผลให้เกิดโครงสร้างที่มีช่องว่างเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อวัสดุ แม้จะไม่ปรากฏให้เห็นภายนอกอย่างชัดเจน แต่สามารถส่งผลต่อ ค่าการดูดซึมน้ำ ได้ในระดับสูง โดยเฉพาะในสูตรที่มีปริมาณเศษแก้วมากกว่า 35%

จากการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าการเพิ่มสัดส่วนของเศษแก้วจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นและความแข็งของวัสดุ แต่ก็อาจส่งผลทางลบต่อ ความสามารถในการกันน้ำและความทนทานต่อความชื้น ดังนั้น การออกแบบสูตรส่วนผสมของหินเทียมควรคำนึงถึงความสมดุลระหว่างคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ เพื่อให้วัสดุสามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้ทั้งในด้านของความแข็งแรงและความทนทานต่อสภาพแวดล้อม



รูปที่ 3 การดูดซึมน้ำของหินเทียมสูตรต่าง ๆ

สรุปผล

จากการศึกษาการผลิตหินเทียมโดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ขยะเศษไม้เทียม (W), ขยะเศษแก้ว (G) และ ขยะเศษพลาสติก (P) ในสัดส่วนต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของวัสดุแต่ละชนิดมีผลต่อสมบัติเชิงกลและทางฟิสิกส์ของหินเทียมอย่างชัดเจน โดยผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ค่าความต้านแรงอัด พบว่าสูตรที่ให้ค่าสูงสุด คือ 30P–20G–50W เท่ากับ 353 กก./ตร.ซม. ซึ่งเป็นสูตรที่มีสัดส่วนของพลาสติกสูงและเศษแก้วในระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าเศษพลาสติกสามารถช่วยเสริมความเหนียวและลดความเปราะของวัสดุได้ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อสัดส่วนพลาสติกลดลงและเศษแก้วเพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงอัด มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากการหลอมรวมที่ไม่สมบูรณ์และการเกิดช่องว่างระหว่างวัสดุ

ค่าความหนาแน่น พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเศษแก้ว โดยสูตรที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 10P–40G–50W เท่ากับ 1,567.37 kg/m³ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของแก้วที่มีมวลมากกว่าพลาสติกและไม้เทียม การเพิ่มแก้วจึงเพิ่มความแน่นของเนื้อวัสดุ แต่ก็ควรระวังผลกระทบต่อสมบัติด้านอื่น

ค่าการดูดซึมน้ำ พบว่ามีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นตามปริมาณเศษแก้ว โดยสูตรที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด คือ 30P–20G–50W เท่ากับ 1.39% ซึ่งพลาสติกมีบทบาทสำคัญในการลดความพรุนและกันความชื้นของเนื้อวัสดุ ในขณะที่สูตรที่มีเศษแก้วสูงก่อให้เกิดโครงสร้างที่มีช่องว่างมากขึ้นและทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

โดยสรุป การควบคุมสัดส่วนของขยะพลาสติกและเศษแก้วในระดับที่เหมาะสม เช่น สัดส่วน 30P–20G–50W ช่วยให้หินเทียมที่ได้มีความสมดุลทั้งในด้านความแข็งแรง ความหนาแน่น และความสามารถในการทนน้ำ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุทดแทน มวลรวมหยาบในคอนกรีต หรือเป็นวัสดุตกแต่งทางสถาปัตยกรรม เช่น แผ่นพื้น กระถาง หรือชิ้นส่วนในงานภูมิทัศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ช่วยลดปัญหาขยะสะสม และส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในงานก่อสร้างอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2568 โครงการวิจัยเชิงกลยุทธ์ (Strategic Fund; SF) : ประเภทโครงการวิจัย ชื่อทุนวิจัย แผนงานวิจัยและนวัตกรรมการบริหารจัดการทรัพยากรและของเสียของภาคอุตสาหกรรม โครงการวิจัย “การใช้ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้เทียมเป็นส่วนผสมสำคัญในการผลิตวัสดุสำหรับตกแต่ง จัดสวน และก่อสร้างอาคารเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์” สัญญาเลขที่ N81A680724

และได้รับการสนับสนุนเครื่องจักรอุปกรณ์ในการวิจัยจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Pollution Control Department. (2023). *Thailand state of waste report 2023* [รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยประเทศไทย]. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. https://www.pcd.go.th

[2] Ghosh, S., & Mandal, S. (2021). Use of waste materials in construction: A review. *Materials Today: Proceedings, 43*, 2554–2559. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.107

[3] Almeshal, A. M., Tayeh, B. A., Alyousef, R., & Mohamed, A. M. (2020). Performance of sustainable concrete containing recycled plastic waste. *Materials, 13*(20), 4569. https://doi.org/10.3390/ma13204569

[4] Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management, 30*(6), 1101–1106. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030

[5] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. Construction and Building Materials, 65, 201–217.

[6] Saikia, N., & de Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials, 52*, 236–244. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049

[7] Jamsawang, P., Suksiripattanapong, C., & Jongpradist, P. (2020). Utilization of waste glass as aggregate in lightweight concrete. *Case Studies in Construction Materials, 12*, e00319. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00319

21R3-03

คอนกรีตผสมขยะพลาสติกชุมชนสำหรับงานกระถางต้นไม้และเก้าอี้สนาม

Concrete Mixed with Community Plastic Waste for Plant Pots and Garden Chairs

ประชุม คำพุฒ[1*] อมเรศ บกสุวรรณ[1] รัฐพล สมนา[2] และ เกียรติสุดา สมนา[3]
Prachoom Khamput[1*] Amares Boksuwan[1] Rattapon Somna[2] and Kiatsuda Somna[3]
[1*,1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ [3]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 02 5493412,
E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th, prachoom.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ ขยะพลาสติกจากชุมชน ซึ่งไม่สามารถเข้าสู่ระบบรีไซเคิล เช่น ถุงร้อน ถุงเย็น แก้วพลาสติก และกล่องโฟม มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตเพื่อผลิต ผลิตภัณฑ์ไม่รับน้ำหนัก ได้แก่ กระถางต้นไม้และเก้าอี้สนาม โดยทำการแทนที่วัสดุผสมบางส่วนด้วยพลาสติกบดย่อยในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พร้อมศึกษาผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และค่าความต้านแรงอัด ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณพลาสติกส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง ขณะที่ค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในด้านค่าความต้านแรงอัด พบว่าคอนกรีตทุกสูตรมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม แต่สูตรที่มีปริมาณขยะพลาสติกมากเกินไปจะมีค่ากำลังอัดลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพลาสติกที่ไม่สามารถยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ได้ดี และก่อให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การใช้พลาสติกบดย่อยในสัดส่วน ไม่เกิน 0.30 ส่วนโดยปริมาตร ยังสามารถให้ค่ากำลังอัดและคุณสมบัติทางกายภาพในระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในผลิตภัณฑ์ไม่รับน้ำหนัก อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณขยะพลาสติกในชุมชน และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ : ขยะพลาสติกชุมชน; คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก; กระถางต้นไม้; เก้าอี้สนาม; วัสดุทางเลือก; เศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

This research aims to explore the feasibility of utilizing non-recyclable community plastic waste, such as plastic bags, cups, and foam food containers, as a partial replacement material in concrete for producing non-structural products including plant pots and garden benches. The plastic waste was shredded and incorporated into the concrete mix at varying proportions, and its effects on physical properties were evaluated, including density, moisture content, water absorption, and compressive strength. The results showed that increasing the plastic content led to a gradual decrease in concrete density, while moisture content and water absorption increased. In terms of mechanical performance, compressive strength improved with curing age in all mixes. However, mixes with excessive amounts of plastic exhibited a significant drop in compressive strength due to the smooth and non-bonding surface characteristics of the plastic particles, which created voids and reduced cohesion within the concrete matrix. Nevertheless, incorporating shredded plastic at proportions not exceeding 0.30 by volume still maintained acceptable compressive strength and

physical properties for use in non-load-bearing applications. This approach demonstrates a practical solution for reducing plastic waste in communities and promotes the sustainable use of resources through the principles of the circular economy.

Keywords : community plastic waste; non-structural concrete; plant pots; garden benches, alternative materials; circular economy

บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกในชุมชนเป็นหนึ่งในประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณขยะพลาสติกเกิดขึ้นราวร้อยละ 12 ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตันต่อปี แต่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียงประมาณ 0.5 ล้านตัน ส่วนที่เหลืออีก 1.5 ล้านตัน เป็นขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ เช่น พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (single-use plastics) ถุงพลาสติก แก้วน้ำ หลอด กล่องโฟม ฯลฯ ซึ่งมักปะปนอยู่ในขยะชุมชนและไม่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้ถูกทิ้งสะสมในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหามลพิษ [1]

ในขณะเดียวกัน วัสดุก่อสร้างอย่าง คอนกรีต ยังคงเป็นวัสดุหลักที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในงานโครงสร้างและงานตกแต่ง เนื่องจากขึ้นรูปง่าย แข็งแรง และมีต้นทุนต่ำ แต่กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของคอนกรีตนั้น มีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO_2) ในระดับสูง การพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ผสมของเสียจากชุมชนจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ลดการใช้ทรัพยากรใหม่ และเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่ไม่มีการนำกลับมาใช้ซ้ำ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำ ขยะพลาสติกจากชุมชน ที่ไม่สามารถเข้าสู่ระบบรีไซเคิล เช่น ถุงแกง แก้วน้ำ ถุงหูหิ้ว ซึ่งโรงงานไม่รับซื้อ มาผสมเป็นวัสดุในคอนกรีต เพื่อผลิตเป็น กระถางต้นไม้และเก้าอี้สนาม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ไม่รับน้ำหนัก และไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน มอก. จึงเหมาะสำหรับการผลิตในระดับชุมชนที่มีต้นทุนต่ำ สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเป็นสินค้ารักษ์โลก ทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกในพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม และส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัสดุในการดำเนินงาน ประกอบด้วย (1) ขยะพลาสติกจากชุมชนนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดเพื่อกำจัดทรายและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ติดมา จากนั้นผึ่งให้พอหมาดแล้วนำมาบดลดขนาดโดยไม่ต้องแยกประเภท โดยครั้งแรกบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 1 นิ้ว แล้วเป่าลมให้แห้งสนิท นำมาบดย่อยอีกครั้งผ่านตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร (2) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2594-2556 [2] (3) ทรายแม่น้ำจากร้านวัสดุก่อสร้างในจังหวัดปทุมธานี (4) หินปูนก่อสร้างขนาด 3/8 นิ้ว จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างในจังหวัดปทุมธานี และ (5) น้ำสะอาด

อุปกรณ์ในการดำเนินงาน ประกอบด้วย (1) เครื่องบดย่อยพลาสติก (2) เครื่องผสมคอนกรีต (3) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม (4) แบบหล่อคอนกรีตขนาด 10 x 10 x 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร (5) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ และ (6) อุปกรณ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ

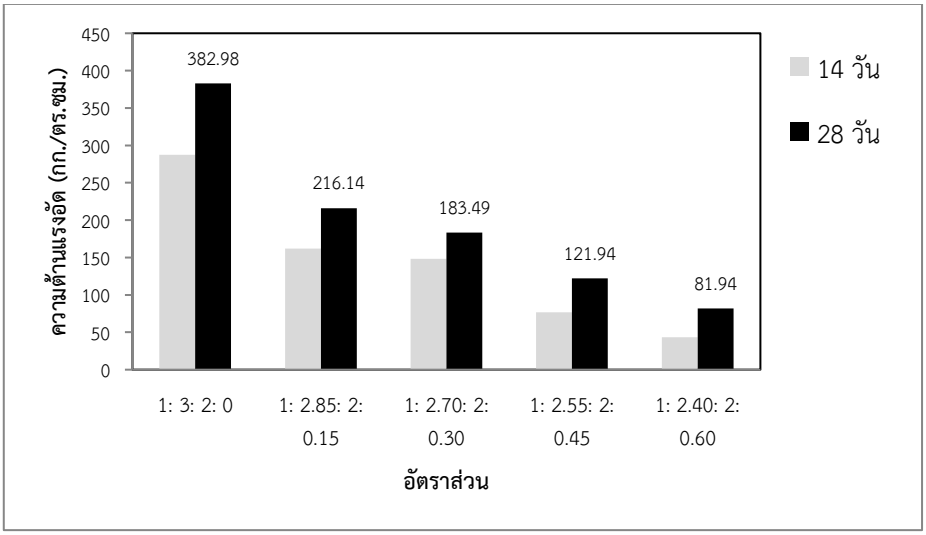
กำหนดอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก : ทราย : หิน 3/8 นิ้ว เท่ากับ 1 : 3 : 2 แล้วทำการแทนที่ทรายด้วยขยะพลาสติกชุมชนที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6 มม. ในปริมาณ 0.15, 0.30, 0.45 และ 0.60 โดยปริมาตรของทรายตามลำดับ ใช้อัตราส่วนน้ำ : ซีเมนต์ เท่ากับ 1.2

การขึ้นรูปตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วมาเทหล่อลงในแบบหล่อจำนวนอัตราส่วนละ 30 ก้อน นำไปวางเรียงเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว 24 ชั่วโมง แล้วถอดแบบ จากนั้นเคลื่อนย้ายไปวางกองบ่มรวมกันในที่ร่ม เพื่อเตรียมทำการทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ

การทดสอบสมบัติของตัวอย่างคอนกรีต ประกอบด้วย ความต้านแรงอัดตามมาตรฐาน มอก.409-2562 [3] ที่อายุการบ่ม 14 และ 28 วัน ความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ ที่อายุ 28 วัน

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองแต่ละคุณสมบัติใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่สุ่มจาก 30 ตัวอย่าง และกำหนดให้ผลการทดสอบโดยเฉลี่ยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ไม่เกิน 0.50 ผลการทดสอบความต้านแรงอัด แสดงดังรูปที่ 1 ความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 14 และ 28 วัน

รูปที่ 1 ความต้านแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุคอนกรีตมากขึ้นตามทฤษฎีการรับกำลังของคอนกรีต ซึ่งเมื่อผสมเศษพลาสติกบดย่อยในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านแรงอัดมีแนวโน้มลดลง โดยจะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อผสมเศษพลาสติกบดย่อยในปริมาณมากขึ้นเพียงเล็กน้อย [4] ทั้งนี้เนื่องจากเศษพลาสติกบดย่อยมีลักษณะแบนและบางชนิดมันวาวจึงจัดเป็นมวลรวมประเภทที่ไม่ดี ซึ่งหากผสมมากเกินไปเนื้อคอนกรีตจะเกิดการพองตัวดันจากด้านใน จากการที่เศษพลาสติกมีความยืดหยุ่นสูงดันตัวกันระหว่างผิวหน้าของแต่ละชิ้น อีกทั้งการที่เศษพลาสติกมีผิวที่ลื่นมากจึงทำให้ ซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวหน้าพลาสติกได้ไม่เต็มที่ เกิดการแยกตัวระหว่างมวลรวมและสารเชื่อมประสาน ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดจึงลดลงมาก [5]

ตารางที่ 1 ความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ

สัญลักษณ์ (อัตราส่วน)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1: 3: 2: 0	2,230	1.75	4.11
1: 2.85: 2: 0.15	1,960	3.94	8.48
1: 2.70: 2: 0.30	1,710	4.83	12.29
1: 2.55: 2: 0.45	1,620	5.02	13.34
1: 2.40: 2: 0.60	1,490	5.24	15.17

จากผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 พบว่า การเพิ่มปริมาณขยะพลาสติกในส่วนผสมคอนกรีต ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของเนื้อคอนกรีต ในด้าน ความหนาแน่น พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมขยะพลาสติก (1: 3: 2: 0) มีค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 2,230 กก./ลบ.ม. และลดลงเหลือ 1,490 กก./ลบ.ม. เมื่อมีการเพิ่มขยะพลาสติกในสัดส่วน 0.60 ส่วน (1: 2.40: 2: 0.60) การลดลงนี้เป็นผลมาจากการที่ขยะพลาสติกมีความหนาแน่นต่ำกว่าหินและทราย เมื่อแทนที่วัสดุเหล่านี้บางส่วนด้วยพลาสติกจึงทำให้น้ำหนักรวมของคอนกรีตลดลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการน้ำหนักเบา เช่น กระถางต้นไม้ หรือเก้าอี้สนาม

สำหรับ ค่าความชื้นของเนื้อวัสดุ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะพลาสติก โดยเริ่มจาก 1.75% ในสูตรควบคุม เพิ่มขึ้นเป็น 5.24% ในสูตรที่มีขยะพลาสติกมากที่สุด อาจเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของพลาสติกที่ถูกบดละเอียดจนมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง สามารถกักเก็บความชื้นไว้ภายในช่องว่างของเนื้อวัสดุได้มากกว่าปกติ

ในส่วนของ การดูดซึมน้ำ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณขยะพลาสติก โดยสูตรควบคุมมีการดูดซึมน้ำเพียง 4.11% ขณะที่สูตรที่มีขยะพลาสติก 0.60 ส่วน มีการดูดซึมน้ำสูงถึง 15.17% ซึ่งเป็นผลจากความหนาแน่นที่ลดลง ทำให้เกิดโพรงภายในมากขึ้น และส่งผลให้เนื้อวัสดุสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้นตามไปด้วย

โดยสรุป การผสมขยะพลาสติกในคอนกรีตมีผลดีในด้านการลดน้ำหนักของวัสดุ แต่ส่งผลให้ค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งควรพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน หากเป็นงานตกแต่งภายนอกหรือใช้งานในสภาพแวดล้อมชื้น ควรเลือกสัดส่วนขยะพลาสติกไม่เกิน 0.30 ส่วน มีความต้านแรงอัด 183.49 กก./ตร.ซม. เพื่อรักษาสมดุลระหว่างความเบาและความทนทานของผลิตภัณฑ์

สรุปผล

จากผลการศึกษาพบว่า การผสมเศษพลาสติกบดย่อยในคอนกรีตมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพและกลของวัสดุ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเศษพลาสติกในส่วนผสม ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง ขณะที่ค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงโครงสร้างที่พรุนมากขึ้นในเนื้อคอนกรีต

ในด้านความต้านแรงอัด พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม แต่จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเศษพลาสติก โดยเฉพาะในสูตรที่มีเศษพลาสติกมากกว่า 0.30 ส่วนโดยปริมาตร ซึ่งเกิดจากลักษณะของพลาสติกที่มีผิวลื่น ยืดหยุ่น และไม่สามารถยึดเกาะกับวัสดุประสานได้ดี ส่งผลให้เกิดการแยกตัวและช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ

อย่างไรก็ตาม สูตรที่ผสมเศษพลาสติกในสัดส่วน ไม่เกิน 0.30 ส่วนโดยปริมาตร ยังให้ค่าความต้านแรงอัด และความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับ การใช้งานในลักษณะที่ไม่รับน้ำหนัก เช่น กระถางต้นไม้ เก้าอี้สนาม หรือวัสดุตกแต่งในงานภูมิสถาปัตย์ ทั้งนี้ยังเป็นแนวทางในการลดปริมาณขยะพลาสติกในชุมชน และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนโครงการภายใต้แผนงานย่อยรายประเด็น RU “การขยายผลวิจัยเทคโนโลยีที่เหมาะสม” (Appropriate Technology) เพื่อยกระดับเศรษฐกิจฐานรากและแก้หนี้ครัวเรือน ประจำปีงบประมาณ 2567 สัญญาเลขที่ A11F670272 เรื่อง “การขยายผลเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุก่อสร้างและตกแต่งจากขยะชุมชนเพื่อยกระดับเศรษฐกิจชุมชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย” สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) และได้รับการสนับสนุนเครื่องจักรอุปกรณ์ในการดำเนินงานจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] กตป., 2565. ขยะพลาสติก. http://env_data. onep.go.th/blogs/subject/view/11. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2567.

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556. มอก.2594-2556 เรื่องปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562. มอก.409-2562 เรื่องวิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบคอนกรีต. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[4] Siddique, R. (2008). Waste materials and by-products in concrete. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74294-8

[5] Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. Waste Management, 30(6), 1101–1106. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030

21R3-04

แผ่นอัดฟางข้าวเคลือบขยะพลาสติกสำหรับใช้ตกแต่งผนังอาคารกันน้ำ

Rice Straw Composite Panels Coated with Recycled Plastics for Water-Resistant Wall Finishes

ประชุม คำพุฒ[1*] รัฐพล สมนา[2] เกียรติสุดา สมนา[2] และ ทวิช กล้าแท้[3]
Prachoom Khamput[1*] Rattapon Somna[2] Kiatsuda Somna[2] and Tawich Klatae[3]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และ รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80240
[*]โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 02 5493412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th, prachoom.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของแผ่นอัดฟางข้าวที่ผ่านการเคลือบด้วยขยะพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีน (PE) และโพลิโพรพิลีน (PP) เพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งผนังอาคารที่มีคุณสมบัติกันน้ำ โดยนำฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการบดย่อยผสมกับกาวไอโซไซยาเนตในอัตราร้อยละ 10 แล้วอัดร้อนขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นเคลือบผิวด้วยแผ่นพลาสติก PE และ PP เพื่อประเมินผลกระทบต่อสมบัติทางกลและการทนน้ำผลการทดลองพบว่า การเคลือบผิวด้วยพลาสติกทั้งสองชนิดช่วยลดการดูดซึมน้ำของแผ่นอัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่พบการบวม หรือการหลุดล่อนหลังการแช่น้ำ แม้ว่าค่าความแข็งแรงและโมดูลัสของแผ่นอัดจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแผ่นไม่เคลือบ แต่ยังคงอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งานเป็นวัสดุตกแต่งผนังภายใน โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความชื้นสูง นอกจากนี้ แผ่นอัดที่ได้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานเฟอร์นิเจอร์ที่ต้องการคุณสมบัติกันน้ำ เช่น แผ่นผิวโต๊ะ หรือแผ่นบุผนัง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ฟางข้าว; ขยะพลาสติก; โพลิเอทิลีน; โพลิโพรพิลีน; แผ่นตกแต่ง; วัสดุกันน้ำ

Abstract

This study aims to investigate the potential of rice straw boards coated with recycled plastic waste—specifically polyethylene (PE) and polypropylene (PP)—as water-resistant wall cladding materials. The rice straw was shredded and mixed with 10% isocyanate adhesive, then hot-pressed at 150°C to form panels. The surfaces were subsequently laminated with PE and PP plastic sheets to evaluate the effects on mechanical properties and water resistance. The results showed that both plastic coatings significantly enhanced the water resistance of the straw boards. Coated samples exhibited no swelling or delamination after water immersion. Although a slight reduction in strength and modulus was observed compared to uncoated panels, the values remained sufficient for interior wall applications, particularly in high-humidity areas. The coated boards also demonstrated promising potential for water-resistant furniture applications, such as tabletops and wall coverings, promoting the upcycling of agricultural residues and plastic waste into functional construction materials.

Keywords : rice straw; plastic waste; polyethylene; polypropylene; decorative panel; water-resistant material

บทนำ

การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและขยะจากครัวเรือนเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุก่อสร้าง ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในยุคที่โลกเผชิญกับปัญหาขยะและภาวะโลกร้อน ฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวในภาคการเกษตร มีปริมาณมากและมักถูกกำจัดด้วยการเผาในที่โล่ง ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ การนำฟางข้าวมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแผ่นวัสดุก่อสร้างจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดของเสียและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน ในขณะเดียวกัน ขยะพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (PP) และ พอลิเอทิลีน (PE) เป็นขยะจากบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้งานแพร่หลายและย่อยสลายยาก หากนำมาเคลือบบนผิวแผ่นวัสดุจากชีวมวล เช่น ฟางข้าว จะสามารถเพิ่มสมบัติกันน้ำและยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้ [1]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและประเมินสมบัติของ แผ่นอัดฟางข้าวที่ขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยใช้กาวไอโซไซยาเนต 10% ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และทำการเคลือบผิวด้านบนด้วยพลาสติกเหลือใช้ 2 ประเภท ได้แก่ PP และ PE เปรียบเทียบกับแผ่นที่ไม่เคลือบผิว เพื่อศึกษาผลต่อการรับแรงดัดและความสามารถในการทนน้ำ ของแผ่นวัสดุที่ได้ ซึ่งมีเป้าหมายในการนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งผนังอาคารที่มีความสามารถกันน้ำได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุที่ใช้

ฟางข้าวบดย่อย: ได้จากการนำฟางข้าวแห้งมาบดย่อยให้มีขนาดผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นวัสดุหลักในการขึ้นรูปแผ่นอัด

กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate Adhesive): ใช้เป็นสารยึดประสานในอัตราส่วน 10% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ซึ่งอ้างอิงอัตราส่วนกาวที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นที่ดีที่สุด

พลาสติกเหลือใช้: แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ โพลิ โพรพิลีน (PP) สีขุ่น พอลิเอทิลีน (PE) สีใส ซึ่งทั้งสองชนิดนำมาเคลือบด้านบนของแผ่นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันน้ำ

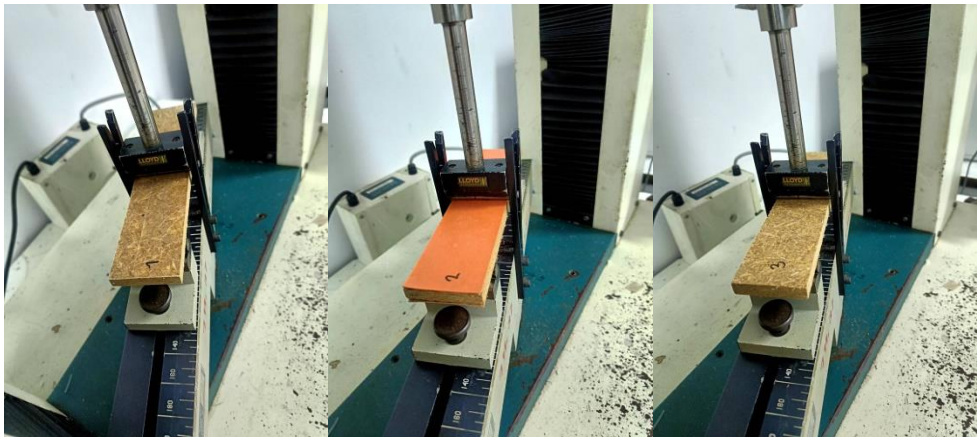
แม่พิมพ์และเครื่องอัดร้อน: สำหรับขึ้นรูปแผ่นขนาดมาตรฐาน

2. วิธีการขึ้นรูปชิ้นงาน

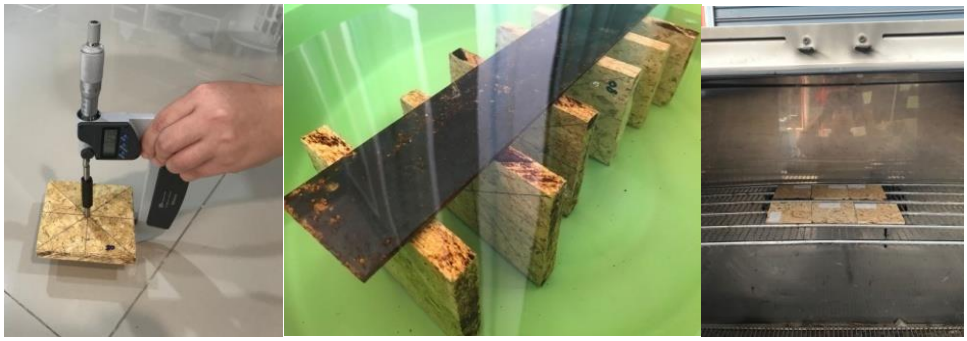
เตรียมฟางข้าว โดยนำฟางข้าวแห้งมาบดละเอียด ขนาดผ่านตะแกรงช่องเปิด 10 มิลลิเมตร แล้วอบให้แห้งเหลือความชื้นไม่เกิน 15% เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำด้านในชิ้นงานขณะให้ความร้อนจนชิ้นงานระเบิดออก จากนั้นชั่งกาวไอโซไซยาเนต ให้มีอัตราส่วนเท่ากับ 10% ของน้ำหนักฟางข้าว ฉีดพ่นกาวผสมกับฟางข้าวให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอในเครื่องผสมที่หมุนตลอดเวลา เพื่อให้กาวเคลือบผิวฟางข้าวอย่างทั่วถึง ตามแนวทางของ วรธรรม (2555) [2] นำส่วนผสมฟางกับกับกาวที่เข้ากันดีแล้วทำการฟอร์มรูปในแบบหล่อ ขนาด 30 × 30 × 20 เซนติเมตร แล้วนำเข้าเครื่องอัดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้แรงอัด 45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัดชิ้นงานจนเหลือความหนา 1 เซติเมตร ทิ้งไว้ในเครื่องเป็นเวลา 10 นาที นำชิ้นงานแผ่นอัดฟางข้าวออกจากเครื่อง ปล่อยให้เย็นตัวในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำแผ่นพลาสติก PP หรือ PE วางบนผิวหน้าชิ้นงานแผ่นอัดฟางข้าว นำเข้าเครื่องอัดร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที นำชิ้นงานแผ่นอัดที่เคลือบผิวด้านบนด้วยพลาสติกออกจากแบบ ปล่อยไว้ให้เย็นตัว แล้วจึงตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบ เปรียบเทียบกับแผ่นอัดที่ไม่ทำการเคลือบผิวหน้า

3. การทดสอบ

เพื่อประเมินสมบัติของแผ่นอัดฟางข้าวที่ได้ ทำการทดสอบสมบัติที่สำคัญ ตามมาตรฐาน มอก.876-2547 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ [3] ประกอบด้วย การทดสอบความต้านทานแรงดัด ดังรูปที่ 1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ และปริมาณความชื้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 การทดสอบความต้านทานแรงดัดแผ่นอัดฟางข้าว (ซ้าย) เคลือบ PE (กลาง) เคลือบ PP (ขวา) ไม่เคลือบ

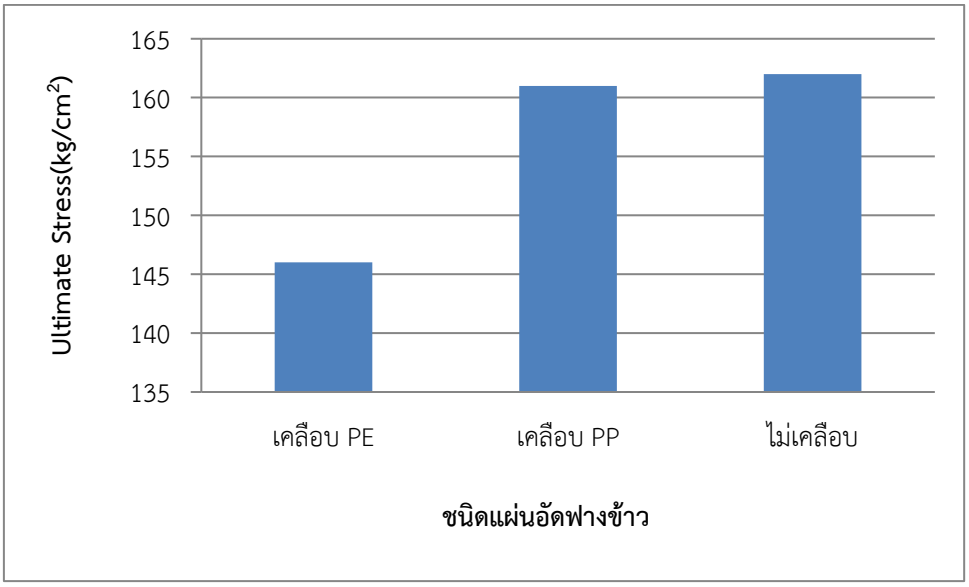


รูปที่ 2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ และปริมาณความชื้น

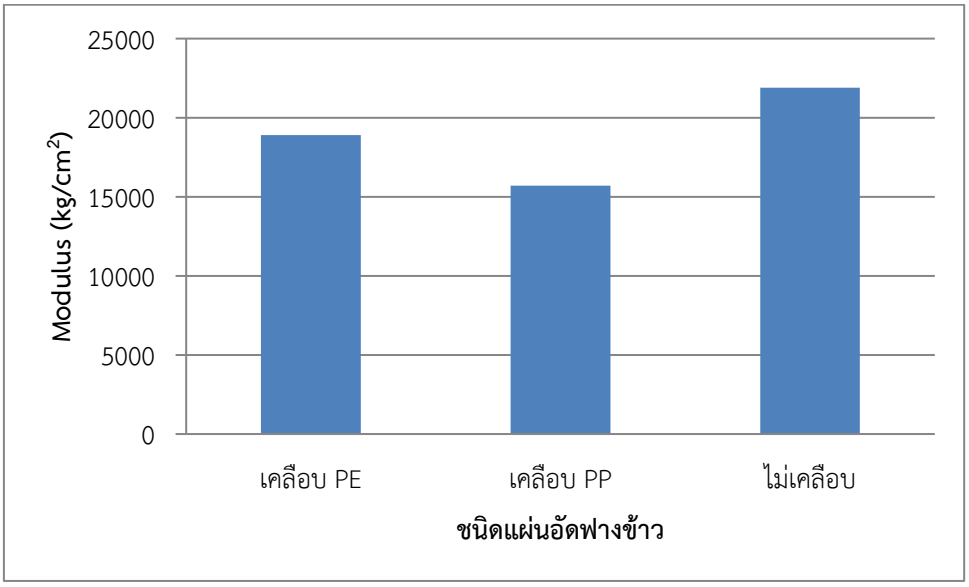
ผลการทดลองและวิจารณ์

รูปที่ 3 จากผลการทดสอบแผ่นอัดฟางข้าวพบว่า ค่าความต้านแรงดัดสูงสุดของแผ่นที่ไม่เคลือบผิวมีค่าอยู่ที่ 15.9 MPa (162 ksc) ขณะที่แผ่นที่เคลือบด้วยพลาสติก PE และ PP มีค่าอยู่ที่ 14.3 MPa (146 ksc) และ 15.8 MPa (161 ksc) ตามลำดับ ซึ่งความต้านแรงดัดที่ลดลงเล็กน้อยนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ให้ความร้อนซ้ำกับแผ่นอัดอย่างไรก็ดีถึง แม้ว่าการเคลือบผิวด้วยพลาสติกจะมีผลเล็กน้อยต่อความสามารถในการรับแรงดัด แต่ยังคงรักษาค่าความต้านแรงดัดไว้ในระดับใกล้เคียงกับแผ่นไม่เคลือบ

รูปที่ 4 เมื่อพิจารณาค่า Modulus of Elasticity (หรือ Young's Modulus) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแกร่งต่อการเสียรูป พบว่าแผ่นไม่เคลือบมีค่าโมดูลัสสูงที่สุดที่ 2150 MPa (21900 ksc) รองลงมาคือแผ่นเคลือบ PE ที่ 1860 MPa (18900 ksc) และต่ำสุดคือแผ่นเคลือบ PP ที่ 1540 MPa (15700 ksc) แสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวมีผลลดความแข็งแกร่งของวัสดุลง ในแง่ของความยืดหยุ่น อาจเนื่องมาจากการที่ชั้นพลาสติกทำหน้าที่เป็นชั้นรองรับแรงบางส่วน ทำให้โครงสร้างภายในแผ่นกระจายแรงไม่เท่ากับแผ่นอัดปกติที่ไม่ได้เคลือบผิว

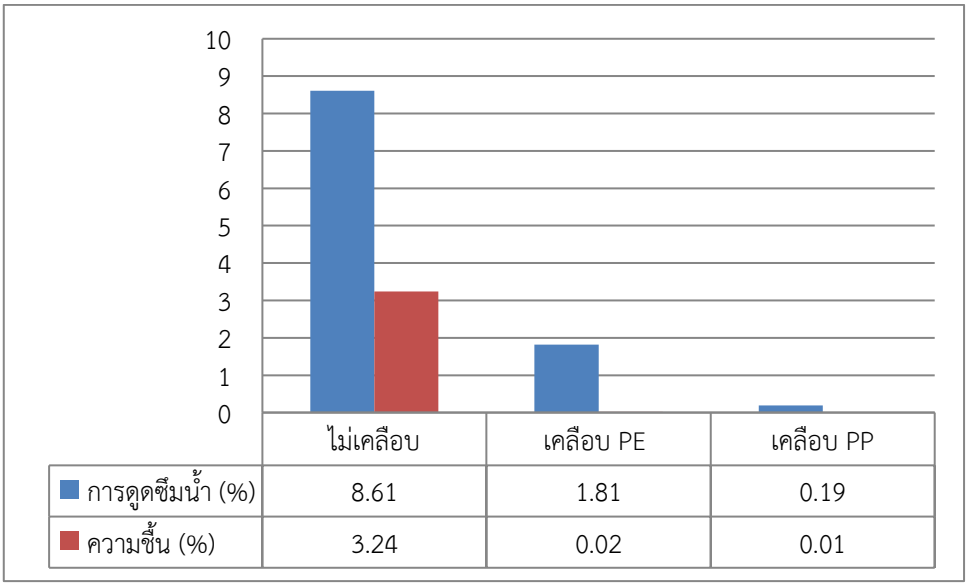


รูปที่ 3 ความต้านแรงดัดสูงสุดของแผ่นอัดฟางข้าวแต่ละชนิด



รูปที่ 4 โมดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นอัดฟางข้าวแต่ละชนิด

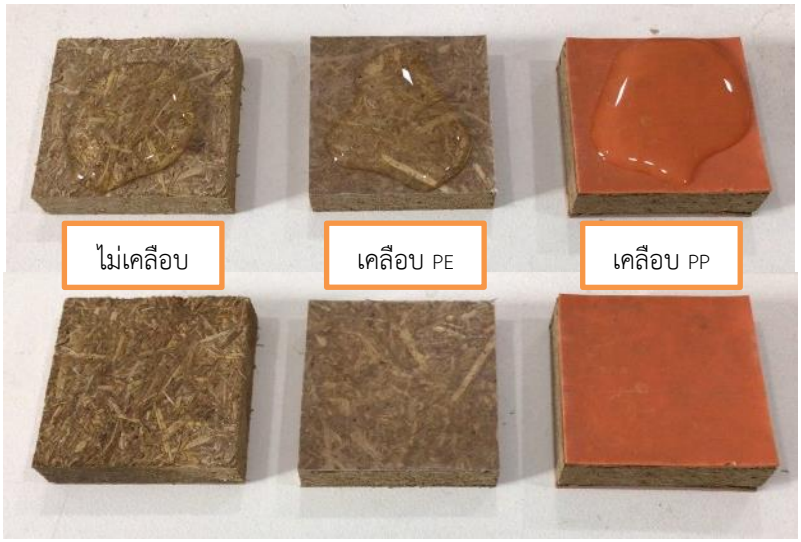
รูปที่ 5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและความชื้นของแผ่นอัดฟางข้าวแต่ละชนิด พบว่าถึงแม้ว่าการเคลือบผิวจะทำให้ค่าโมดูลัสและความแข็งแรงลดลงเล็กน้อย แต่การเคลือบด้วยพลาสติก ส่งผลดีอย่างชัดเจนในด้านความสามารถในการกันน้ำ จากการทดสอบความชื้นและการดูดซึมน้ำพบว่า แผ่นที่เคลือบด้วยพลาสติกทั้ง PE และ PP มีความสามารถในการกันน้ำได้ดีกว่าแผ่นไม่เคลือบอย่างชัดเจน ไม่มีการบวมหรือหลุดล่อนหลังการแช่น้ำ โดยการดูดซึมน้ำจะเป็นการดูดเข้าแผ่นทางด้านขอบแผ่นเท่านั้น ขณะที่แผ่นไม่เคลือบเกิดการดูดซึมน้ำมากจากทุกทิศทาง จึงเกิดการขยายตัวของเนื้อวัสดุอย่างมาก [4]



	ไม่เคลือบ	เคลือบ PE	เคลือบ PP
การดูดซึมน้ำ (%)	8.61	1.81	0.19
ความชื้น (%)	3.24	0.02	0.01

รูปที่ 5 การดูดซึมน้ำและความชื้นของแผ่นอัดฟางข้าวแต่ละชนิด

รูปที่ 6 เป็นการทดสอบการนำน้ำหยดเทลงบนผิวหน้าชิ้นงานแผ่นอัดฟางข้าวทั้ง 3 ชนิดเพื่อเปรียบเทียบกัน พบว่าเมื่อปล่อยให้น้ำที่ผิวหน้าชิ้นงานแห้งลง แผ่นอัดฟางข้าวแบบที่ไม่เคลือบจะมีการซึมน้ำลงสู่ด้านในแผ่นวัสดุทำให้แผ่นเปียกชื้นและมีการบวมตัวของเศษฟางข้าว ส่วนการเคลือบผิวหน้าด้วยพลาสติก PE แบบใส และ PP แบบขุ่น ไม่มีการซึมน้ำลงสู่ด้านล่าง ทำให้ผิวหน้าแผ่นอัดฟางข้าวยังคงสภาพเดิม



รูปที่ 6 ลักษณะของผิวแผ่นอัดหลังจากการเทน้ำลงด้านบนแล้วรอให้แห้ง

สรุป

ขยะพลาสติกทั้ง PE และ PP นำมารีไซเคิลเป็นแผ่นบาง สามารถนำมาเคลือบผิวแผ่นอัดจากฟางข้าวด้วยความร้อนในกระบวนการผลิต ช่วยให้แผ่นอัดฟางข้าวมีการทนทานน้ำได้ดีมาก ถึงแม้ว่าความต้านทานแรงดัดและโมดุลัสยืดหยุ่นจะลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สามารถใช้งานเป็นแผ่นตกแต่งผนังหรือใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ได้ โดยชิ้นงานมีความสวยงามเป็นธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย และวัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักร ในการดำเนินงานจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 2115–2126.

[2] วรธรรม อุ่นจิตติชัย, (2555). วัสดุทดแทนไม้. กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้, สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 194 หน้า.

[3] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[4] Hassan, M. L., Nada, A. M. A., Salem, L. A., & Ibrahim, M. M. (2009). Effect of plastic waste coating on the durability and water resistance of fiberboard panels. Polymers & Polymer Composites, 17(7), 379–384.

21R3-05

คอนกรีตมวลเบาผสมเศษอิฐมวลเบาและแกนกัญชง
Lightweight Concrete Incorporating Autoclaved Aerated Concrete Waste and Hemp Core

กิตติพงษ์ สุวีโร[1] ประชุม คำพุฒ[1*] และ เกียรติสุดา สมนา[2]
Kittipong Suweero[1] Prachoom Khamput[1*] and Kiatsuda Somna[2]
[1,1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 02 5493412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th, prachoom.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วย เศษอิฐมวลเบา และ แกนกัญชง โดยใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเป็นวัสดุประสาน และซิลิกาฟูมเป็นวัสดุเสริม เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบาและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองประกอบด้วยสองสูตรหลัก คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : เศษอิฐมวลเบา เท่ากับ 1:1 และ 1.5:0.5 โดยปรับปริมาณแกนกัญชงในอัตราส่วน 0.0–0.5 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม โดยสูตรที่ไม่มีแกนกัญชงให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแกนกัญชงมากกว่า 0.1 พบว่าค่าความต้านแรงอัดลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างของแกนกัญชงที่มีความพรุนสูงและสามารถดูดซับน้ำได้มาก ทำให้เกิดผลกระทบต่อการพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ จากผลการศึกษา สูตรที่ผสมแกนกัญชงในปริมาณไม่เกิน 0.1 และมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่สูงกว่า เช่น 1.5:0.5 ให้ค่าความต้านแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก และมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างที่เบา ยั่งยืน และเหมาะสมกับการใช้งานในอาคารที่ต้องการคุณสมบัติกันความร้อนหรือฉนวน

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบา; แกนกัญชง; อิฐมวลเบา; วัสดุทดแทน; ความต้านแรงอัด; วัสดุก่อสร้างยั่งยืน

Abstract

This research aimed to investigate the properties of lightweight concrete incorporating recycled lightweight brick waste and hemp core (hemp shiv), using hydraulic cement as the binder and silica fume as a supplementary material. Two main mix ratios were studied: cement to brick waste at 1:1 and 1.5:0.5 by weight, with hemp core content varied from 0.0 to 0.5 by weight. The test results showed that compressive strength increased with curing age, with the highest strength observed in mixes without hemp core. However, when the hemp core content exceeded 0.1, compressive strength significantly decreased. This reduction is attributed to the porous structure and high water absorption of the hemp core, which interferes with cement hydration and weakens the internal structure. Among the mixes, those with no more than 0.1 hemp core and a higher cement ratio (1.5:0.5) met the minimum compressive strength requirements for non-load-bearing concrete as defined by Thai Industrial Standards. These results highlight the potential of using agricultural and construction waste to develop sustainable, lightweight construction materials suitable for thermal insulation or non-structural building components.

Keywords : lightweight concrete; hemp core; recycled brick; alternative material; compressive strength; sustainable construction

บทนำ

ในยุคที่อุตสาหกรรมก่อสร้างมุ่งเน้นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาและเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงได้รับความสนใจอย่างมาก หนึ่งในแนวทางที่สำคัญคือการนำวัสดุเหลือทิ้งและวัสดุชีวภาพกลับมาใช้ใหม่อย่างคุ้มค่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มวัสดุสำหรับคอนกรีตมวลเบา ซึ่งมีข้อดีด้านน้ำหนักเบา ฉนวนความร้อน และความสามารถในการลดภาระโครงสร้าง

เศษอิฐมวลเบา หรือ Autoclaved Aerated Concrete (AAC) waste เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากงานก่อสร้างและงานรื้อถอน ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมจะกลายเป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อม ขณะที่ แกนกัญชง (Hemp core หรือ Hemp shiv) เป็นวัสดุชีวมวลที่ได้จากส่วนในของลำต้นพืชกัญชง ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านความเบา การดูดซับเสียง และเป็นฉนวนความร้อนตามธรรมชาติ [1]

การนำวัสดุทั้งสองชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในคอนกรีตมวลเบา จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือก ที่ช่วยลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ ลดของเสีย และส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและกลของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยเศษอิฐมวลเบาและแกนกัญชง เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุที่ใช้

1.1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2594-2556 [2]

1.2 เศษอิฐมวลเบา Q-CON ที่เหลือทิ้งจากโรงงาน และสถานที่ก่อสร้าง ของ บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัคส์ จำกัด (มหาชน) นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 100

1.3 แกนกัญชงที่เหลือทิ้งจากการลอกเปลือกไปทำเส้นใยสิ่งทอจากวิสาหกิจชุมชนพืชเกษตรพบพระ จังหวัดตาก นำมาตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.3185-2564 เรื่องแกนกัญชง [3] บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิดขนาด 10 มิลลิเมตร

1.4 ซิลิก้าฟูม เป็นผลพลอยได้จากการผลิตโลหะผสมซิลิกอนและเฟอร์โรซิลิคอน เมื่อโลหะผสมเหล่านี้ถูกสร้างขึ้น ซิลิคอนไดออกไซด์และวัสดุอื่น ๆ จำนวนเล็กน้อยจะระเหยกลายเป็นไอและควบแน่น ส่งผลให้ผงละเอียดมาก โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1 ไมครอน ซิลิกาฟูมทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปล่อยออกมาระหว่างการไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพื่อสร้างแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มเติม (CSH) ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีต

1.5 น้ำประปา

2. กำหนดส่วนผสม การขึ้นรูปตัวอย่าง และการทดสอบ

กำหนดส่วนผสมที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานเปรียบเทียบ 2 แบบ คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเศษอิฐมวลเบา 1 : 1 และ 1.5 : 0.5 โดยน้ำหนัก ทั้ง 2 แบบ ใช้ตัวเร่งเป็นซิลิกาฟูม 0.05 ส่วนโดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน 1.5 : 1 โดยน้ำหนัก และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณแกนกัญชงที่อัตราส่วน 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนัก (ดังรูปที่ 1) นำส่วนผสมทั้งหมดตามอัตราส่วนที่กำหนดมาผสมรวมกัน แล้วเทเข้าลงในแบบหล่อขนาด 10 x 10 x 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร กระทุ้งอัดให้เนื้อแน่นสม่ำเสมอ (ดังรูปที่ 2) เมื่อครบกำหนด 2 วัน ทำการถอดแบบ นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา ไปบ่มในสภาพอากาศปกติ แล้วนำไปทำการทดสอบความต้านทานแรงอัด และความหนาแน่น ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน มอก.3490-2565 เรื่อง เฮมป์ครีตบล็อก [4]



รูปที่ 1 ตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาผสมเศษอิฐมวลเบาและแกนกัญชง



รูปที่ 2 หล่อคอนกรีตมวลเบาผสมเศษอิฐมวลเบาและแกนกัญชงลงในแบบขนาด 10 x 10 x 10 ลบ.ซม.

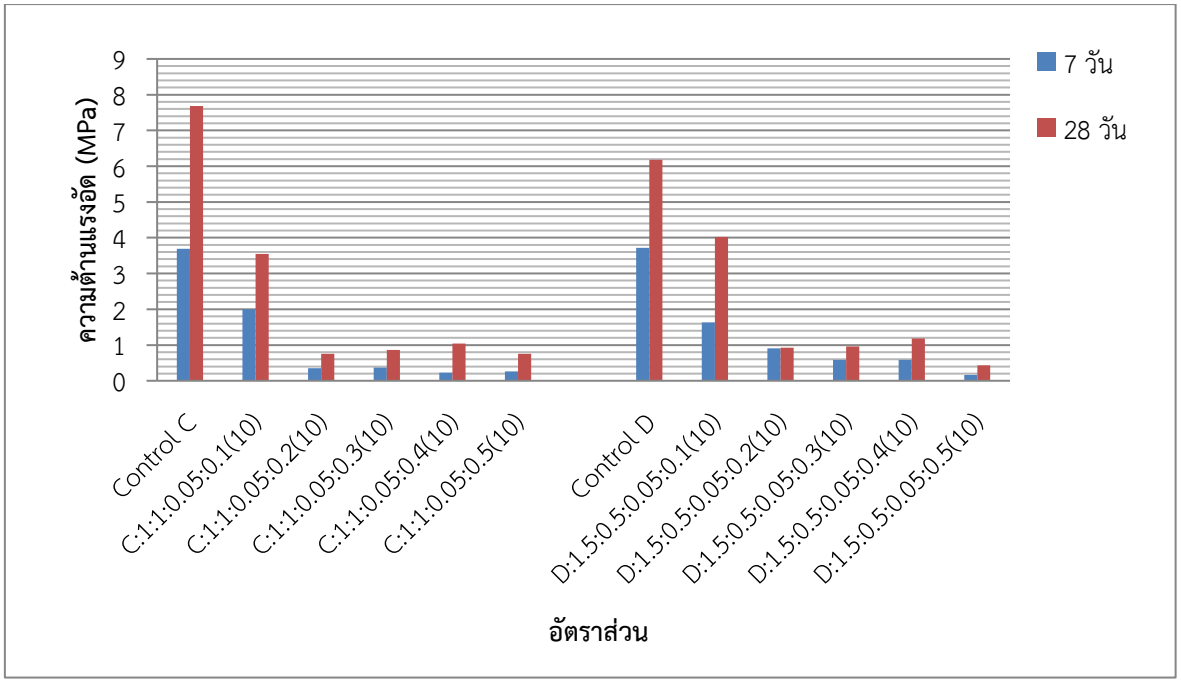
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด

จากการทดสอบพบว่า ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาลดลงตามปริมาณแกนกัญชงที่เพิ่มขึ้น โดยใช้สูตรผสม 2 แบบ คือ ปูนซีเมนต์ต่อเศษอิฐมวลเบาเท่ากับ 1 : 1 และ 1.5 : 0.5 ทั้งสองสูตรใช้ซิลิกาฟูม 0.05 ส่วน และแปรผันปริมาณแกนกัญชงตั้งแต่ 0–0.5 โดยน้ำหนัก

ในสูตร 1 : 1 ความต้านทานแรงอัดเกิน 3.0 MPa เฉพาะที่แกนกัญชงไม่เกิน 0.1 โดยกลุ่มควบคุม (ไม่ใส่กัญชง) มีค่ากำลังอัดสูงสุดที่ 7.68 MPa ขณะที่สูตร 1.5:0.5 ให้กำลังอัดสูงกว่าทุกกรณี โดยกลุ่มไม่มีแกนกัญชงมีค่า 6.18 MPa และยังผ่านเกณฑ์ที่สัดส่วนแกนกัญชง 0.1 (4.02 MPa)

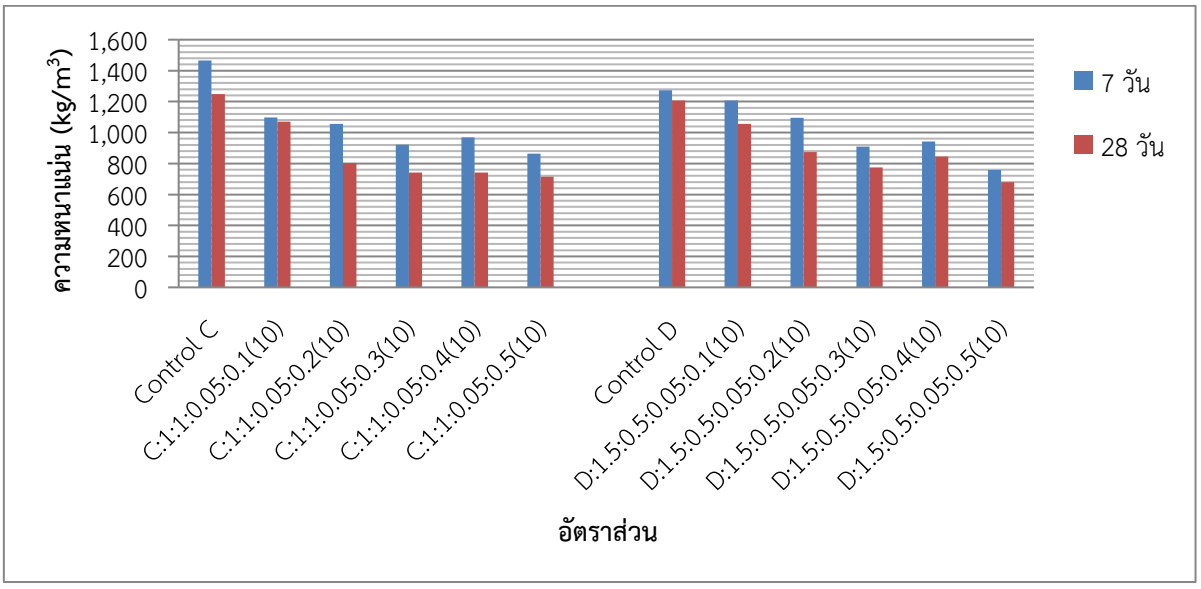
เมื่อใช้แกนกัญชงเกิน 0.1 ส่วนโดยน้ำหนัก ความต้านแรงอัดลดต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. (3.0 MPa) อย่างชัดเจน เนื่องจากแกนกัญชงเป็นพืชที่มีลักษณะพรุน มีความหนาแน่นต่ำกว่ามวลรวมปกติ และการดูดซึมน้ำที่มากของแกนกัญชง ส่งผลต่อการทำงานของปูนซีเมนต์และโครงสร้างภายในคอนกรีต [5]



รูปที่ 3 ความต้านทานแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเศษอิฐมวลเบาและแกนกัญชง

2. ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น

จากผลการทดสอบพบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบามีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณแกนกัญชงที่เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่มีแกนกัญชงให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มแกนกัญชงในอัตราส่วนที่สูงขึ้น เช่น 0.3–0.5 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นของเนื้อวัสดุลดลงอย่างชัดเจน สาเหตุหลักมาจากคุณสมบัติของแกนกัญชงซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลที่มีโครงสร้างพรุน น้ำหนักเบา และสามารถดูดซึมน้ำได้ดี ส่งผลให้เนื้อคอนกรีตที่ผสมแกนกัญชงมีมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรน้อยลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ ช่องว่างภายในเนื้อวัสดุที่เกิดจากการกระจายตัวของเส้นใยชีวมวลยังทำให้ความหนาแน่นลดลงอีกด้วย [6] ลักษณะนี้เป็นผลดีในด้านการพัฒนา วัสดุเบาและฉนวนความร้อน แต่ต้องพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติทางกล เช่น ความต้านทานแรงอัด เพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับประเภทงานก่อสร้างที่ต้องการ



สรุป

จากการศึกษาคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเศษอิฐมวลเบา ร่วมกับการแปรผันปริมาณแกนกัญชง (0–0.5 โดยน้ำหนัก) และใช้ซิลิกาฟูมเป็นสารผสมเพิ่ม พบว่า สูตรที่มีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : อิฐมวลเบา เท่ากับ 1 : 1 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุดที่ 7.68 MPa โดยผ่านเกณฑ์ มอก.3490-2565 เรื่องเฮมป์ครีตบล็อก เฉพาะแบบที่ใช้แกนกัญชงไม่เกิน 0.1 สูตรที่มีอัตราส่วน 1.5 : 0.5 ให้ค่ากำลังอัดโดยรวมสูงกว่า โดยแบบไม่มีแกนกัญชงให้ค่ากำลังอัด 6.18 MPa และยังคงผ่านเกณฑ์ในสัดส่วนแกนกัญชง 0.1 เมื่อปริมาณแกนกัญชงเกิน 0.1 ค่าความต้านแรงอัดลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (3.0 MPa) อย่างชัดเจน แกนกัญชงมีผลลดความหนาแน่นของวัสดุ และเพิ่มการดูดซึมน้ำ เนื่องจากโครงสร้างพรุนและการดูดน้ำสูง อาจรบกวนปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ดังนั้น การใช้แกนกัญชงในคอนกรีตมวลเบาควรควบคุมไม่เกิน 0.1 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่เหมาะสมและผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ 2568 สัญญาเลขที่ N81A680803 เรื่อง “การใช้ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอิฐมวลเบาเป็นวัสดุผสมทดแทนมวลรวมละเอียดสำหรับผลิตวัสดุก่อสร้างและตกแต่งอาคารเพื่อแก้ปัญหาและลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

ได้รับการสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักร ในการดำเนินงานจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และได้รับการสนับสนุนวัสดุเศษอิฐมวลเบาจาก บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัคส์ จำกัด (มหาชน)

เอกสารอ้างอิง

[1] Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., & Goudet, L. (2008). Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hempcrete”) manufactured by a projection process. Construction and Building Materials, 22(10), 2116–2123.

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, (2556). มอก.2594-2556 เรื่องปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2564. มอก.3185-2564 เรื่องแกนกัญชง. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2565. มอก.3490-2565 เรื่องเฮมป์ครีตบล็อก. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[5] ประชุม คำพุฒ, ทวิช กล้าแท้, ชูเกียรติ ชูสกุล, นภดล ศรภักดี, สุพร ฤทธิภักดี และเซาฟีร์ ดือราแม, (2567). กำลังอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 32 ฉบับที่ 4, หน้า 84-97.

[6] Khamput, P., Choosakul, C., Klathae, T., Rittipuakdee, S., Monkeaw, S. (2024). Product of hollow concrete blocks mixed with rice husk ash and cassava fermentation waste. ASEAN J. Sci. Tech. Report. 27(5), e253838. Page (1-13) https://doi.org/10.55164/ajstr.v27i5.253838.

21R3-06

การใช้เถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสมในคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก
Utilization of Bagasse Ash as a Supplementary Material in Non-Load-Bearing Concrete

ประชุม คำพุฒ[1*] อมเรศ บกสุวรรณ[1] ทวิช กล้าแท้[2] และ เกียรติสุดา สมนา[3]
Prachoom Khamput[1*] Amares Boksuwan[1] Tawich Klatae[2] and Kiatsuda Somna[3]
[1*,1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80240
[3]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 02 5493412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th, prachoom.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ เถ้าชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตพลังงานชีวมวล มาเป็นวัสดุทดแทนบางส่วนของปูนซีเมนต์ใน มอร์ตาร์และคอนกรีตสำหรับงานไม่รับน้ำหนัก โดยพิจารณาผลของการแทนที่ในสัดส่วน 10%, 20%, 30%, และ 40% โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พร้อมเปรียบเทียบการใช้วัสดุมวลรวมละเอียด 2 ชนิด ได้แก่ ทรายธรรมชาติ และหินฝุ่น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังอัดของทั้งมอร์ตาร์และคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยสูตรที่ใช้หินฝุ่นให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าสูตรที่ใช้ทรายในทุกช่วงอายุการทดสอบ สำหรับผลของเถ้าชานอ้อย พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในสัดส่วนที่มากกว่า 30% อย่างไรก็ตาม การแทนที่เถ้าชานอ้อยในระดับ ไม่เกิน 20% ยังคงให้ค่ากำลังอัดในระดับที่เหมาะสมสำหรับ งานคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก เช่น กระถางต้นไม้ พื้นตกแต่ง และองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในงานก่อสร้างอย่างมีคุณค่า ช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์ และส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาที่ยั่งยืนในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง

คำสำคัญ : เถ้าชานอ้อย; คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก; วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์; มอร์ตาร์; หินฝุ่น; วัสดุก่อสร้างจากของเสีย

Abstract

This research aimed to investigate the feasibility of utilizing bagasse ash, a by-product from biomass power plants, as a partial replacement for Portland cement in mortar and non-structural concrete applications. The study focused on the effects of replacing cement with bagasse ash at 10%, 20%, 30%, and 40% by weight of the binder, and compared two types of fine aggregates: natural sand and stone dust. The test results revealed that compressive strength increased with curing time in all mixes. Mixes incorporating stone dust exhibited higher compressive strength than those using natural sand at all curing ages. However, increasing the proportion of bagasse ash led to a gradual decrease in compressive strength, particularly when the replacement exceeded 30%. Nevertheless, replacing cement with bagasse ash up to 20% maintained adequate compressive strength levels suitable for non-structural concrete applications, such as plant pots, decorative paving, and architectural elements. This study demonstrates the potential of agricultural waste materials to be repurposed in construction, reducing cement consumption and promoting the principles of the circular economy and sustainable development in the construction material industry.

Keywords : bagasse ash; non-structural concrete; cement replacement material; mortar; stone dust; waste-based construction materials

บทนำ

ในปัจจุบัน วัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะคอนกรีตยังคงเป็นวัสดุหลักที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างทุกประเภท ทั้งงานโครงสร้างและงานตกแต่ง เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ หาง่าย และขึ้นรูปได้สะดวก อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของคอนกรีต มีส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะในกระบวนการเผาหินปูนที่ใช้พลังงานความร้อนสูง การลดการใช้ปูนซีเมนต์จึงถือเป็นแนวทางหนึ่งในการลดผลกระทบจากภาคการก่อสร้างต่อสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืน [1]

ในขณะเดียวกัน ประเทศไทยมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น ชานอ้อย ซึ่งเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาลและพลังงานชีวมวล โดยการเผาชานอ้อยเพื่อผลิตพลังงานทำให้เกิดวัสดุพลอยได้คือ เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และมีคุณสมบัติพอซโซลานิก (pozzolanic) ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเสริมในงานคอนกรีตได้ โดยเฉพาะในงานคอนกรีตประเภทไม่รับน้ำหนัก เช่น ผนัง พื้นทางเดิน หรือชิ้นส่วนตกแต่ง ซึ่งไม่ต้องการกำลังอัดสูงมาก [2]

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุทดแทนบางส่วนของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก โดยประเมินผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ค่าการไหลแผ่ ความหนาแน่น และกำลังอัด เพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรเหลือทิ้งอย่างคุ้มค่า ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้

วัสดุประสาน ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก และเถ้าชานอ้อยได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล บดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325

มวลรวมใช้ ทรายละเอียดและหินฝุ่นสำหรับเป็นมวลรวมละเอียด และหินปูนเป็นมวลรวมหยาบ

2. ส่วนผสมที่ใช้

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การผลิตซีเมนต์มอร์ตาร์ และคอนกรีต โดยแต่ละประเภทจะพิจารณาใช้วัสดุมวลรวมละเอียด 2 ชนิด คือ ทรายธรรมชาติ และ หินฝุ่น ซึ่งมีการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วน ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

ซีเมนต์มอร์ตาร์ ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างทดสอบขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

คอนกรีต ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์:ทราย:หิน เท่ากับ 1:2:4 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:1 เช่นเดียวกัน ด้วยตัวอย่างทดสอบขนาด 10x10x10 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. การทดสอบ

ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานและมวลรวม

ทดสอบค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์และคอนกรีตตามมาตรฐาน มอก.409-2562 [3] ที่อายุ 7 14 21 และ 28 วัน

ผลการทดลองและวิจารณ์

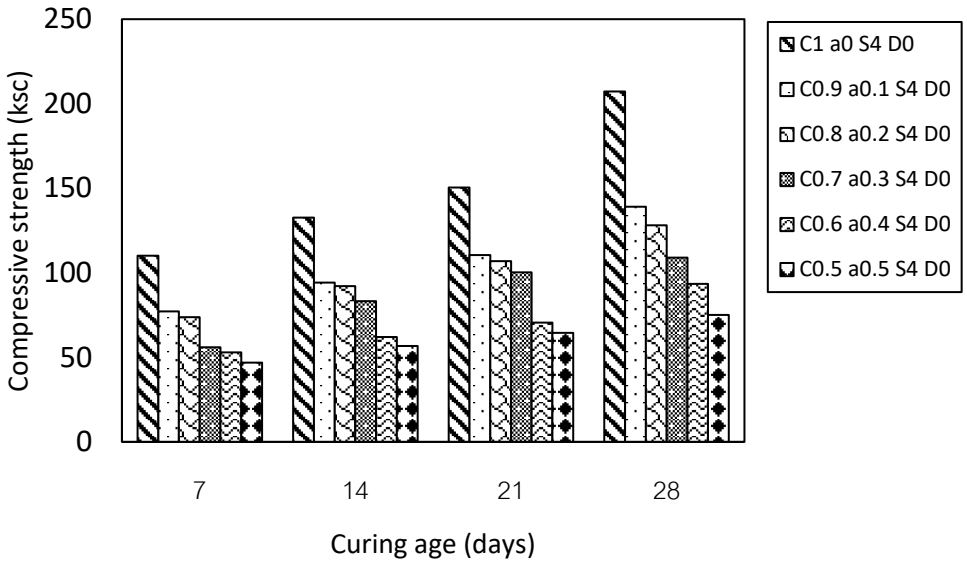
1. คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ตามมาตรฐาน มอก.2594-2556 [4] มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.072 เถ้าชานอ้อยละเอียดมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.7 ทราย หินฝุ่น และหินปูนก่อสร้าง มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.83 3.44 และ 5.57 ตามลำดับ

2. ผลการทดสอบค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนเถ้าชานอ้อยละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งในส่วนผสมที่ใช้ทรายและหินฝุ่น เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีผิวหยาบและรูพรุนสูง ทำให้ดูดซึมน้ำมากและเพิ่มแรงเสียดทาน ส่งผลให้ความสามารถในการไหลลดลง [2]

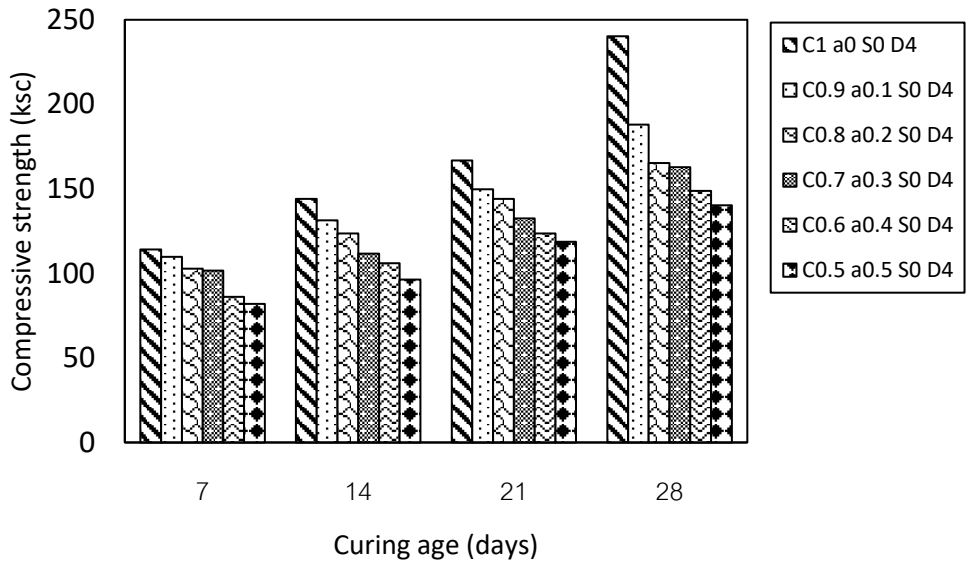
3. ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่มของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด

จากรูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0% (C1 a0), 10% (C0.9 a0.1), 20% (C0.8 a0.2), 30% (C0.7 a0.3), 40% (C0.6 a0.4) และ 50% (C0.5 a0.5) โดยใช้ทรายธรรมชาติเป็นมวลรวมละเอียด และไม่มีการใช้หินฝุ่น (D0) ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยมีค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน ในทุกกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลจากการดำเนินไปอย่างต่อเนื่องของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และในบางสูตรอาจเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจากเถ้าชานอ้อยร่วมด้วย [5] ในด้านผลของการแทนที่ พบว่า สูตรที่ไม่แทนที่เถ้าชานอ้อย (C1 a0) ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดทุกช่วงอายุการบ่ม โดยที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดประมาณ 210 ksc และเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัด ลดลงอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น สูตร C0.9 a0.1 ให้ค่ากำลังอัดประมาณ 140 ksc และ C0.5 a0.5 มีค่ากำลังอัดเหลือเพียงประมาณ 60 ksc

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยจะส่งผลให้กำลังอัดลดลง โดยเฉพาะในสัดส่วนที่สูงกว่า 30% ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยที่มีความสามารถในการประสานต่ำกว่าปูนซีเมนต์ อีกทั้งยังมีโครงสร้างที่พรุนและหยาบส่งผลต่อการพัฒนาโครงสร้างของเนื้อมอร์ตาร์ อย่างไรก็ตาม สูตรที่มีการแทนที่ ไม่เกิน 20% ยังคงให้ค่ากำลังอัดในระดับที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก และมีแนวโน้มเป็นส่วนผสมทางเลือกที่สามารถลดการใช้ปูนซีเมนต์และเพิ่มการใช้วัสดุเหลือทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่มของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด

จากรูปที่ 2 พบว่า ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มในทุกกลุ่มตัวอย่าง โดยค่ากำลังอัดสูงสุดพบที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการบ่มยาวนานขึ้น และอาจมีส่วนของปฏิกิริยาพอซโซลานิกจากเถ้าชานอ้อยร่วมด้วยในบางสูตร โดยสูตรที่ไม่มีการแทนที่เถ้าชานอ้อย (C1 a0 S0 D4) ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดในทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะที่อายุ 28 วัน ซึ่งมีค่ากำลังอัดประมาณ 240 ksc เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วน 10% ถึง 50% พบว่าค่ากำลังอัดลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยสูตรที่แทนที่ในสัดส่วน 10% และ 20% (C0.9 a0.1 และ C0.8 a0.2) ยังคงให้ค่ากำลังอัดในระดับสูงและเหมาะสมกับการใช้งาน ในขณะที่สูตรที่แทนที่มากกว่า 30% ให้ค่ากำลังอัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การลดลงของกำลังอัดในกลุ่มที่ใช้เถ้าชานอ้อยในปริมาณสูง อาจเกิดจากคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยที่มีความสามารถในการประสานต่ำกว่าปูนซีเมนต์ และมีลักษณะผิวที่หยาบและพรุน ทำให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคในเนื้อมอร์ตาร์ไม่แน่นหนาเท่าที่ควร

อย่างไรก็ตาม พบว่า การใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดส่งผลดีต่อค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้ทรายธรรมชาติ หินฝุ่นมีอนุภาคที่ละเอียดกว่าและผิวหยาบ ส่งผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคกับวัสดุประสานได้ดีกว่า ทำให้โครงสร้างภายในของมอร์ตาร์มีความหนาแน่นและสามารถรับแรงอัดได้สูงขึ้น แม้จะมีการใช้เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุทดแทนบางส่วน

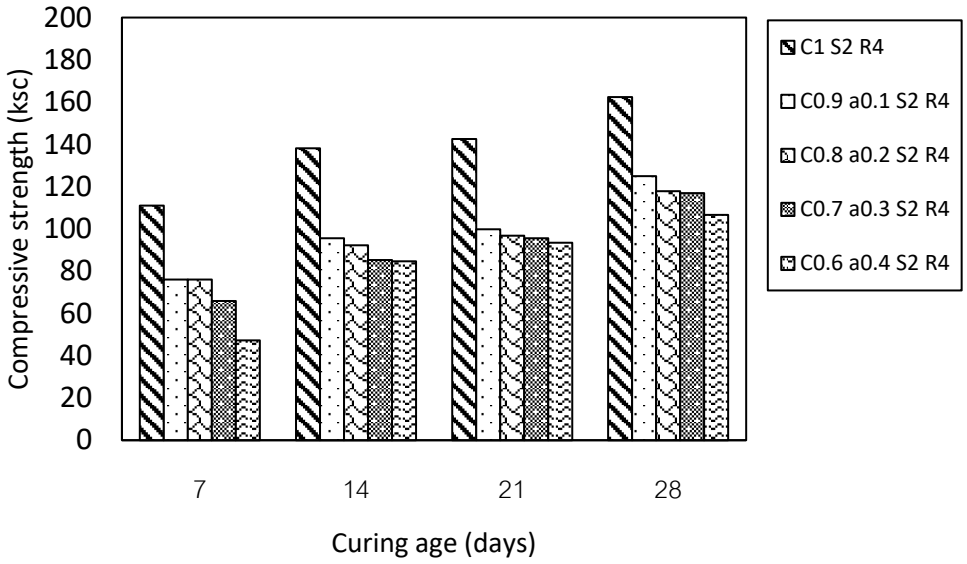
สรุปได้ว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วนไม่เกิน 20% โดยน้ำหนัก และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตมอร์ตาร์สำหรับงานคอนกรีตไม่รับน้ำหนักที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยไม่ลดทอนสมบัติทางกลอย่างมีนัยสำคัญ

4. ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

จากผลการทดสอบในรูปที่ 3 แสดง ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด (S2) และหินเป็นมวลรวมหยาบ (R4) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยค่ากำลังอัดสูงสุดปรากฏที่อายุ 28 วัน ในทุกกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และในบางกรณีอาจมีการเกิดปฏิกิริยาพอซโซลานร่วมด้วยจากเถ้าชานอ้อยในสูตรที่มีการแทนที่ในสัดส่วนที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วน 10% ถึง 40% โดยน้ำหนัก พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น โดยสูตรควบคุมที่ไม่มีการแทนที่ (C1 a0) ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดที่ประมาณ 160 ksc ขณะที่สูตร C0.9 a0.1, C0.8 a0.2 และ C0.6 a0.4 ให้ค่ากำลังอัดลดลงเหลือประมาณ 130, 125 และ 110 ksc ตามลำดับ สาเหตุของการลดลงของค่ากำลังอัดนี้อาจเกิดจากคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาประสานต่ำกว่าปูนซีเมนต์ อีกทั้งยังมีโครงสร้างที่พรุนและหยาบ ส่งผลให้การจัดเรียงตัวของเนื้อคอนกรีตมีประสิทธิภาพลดลง

โดยเฉพาะเมื่อใช้ในปริมาณสูง [6] อย่างไรก็ตาม สูตรที่มีการแทนที่ในระดับไม่เกิน 20% ยังสามารถคงค่ากำลังอัดได้ในระดับที่เหมาะสมกับงานคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก เช่น กระถางต้นไม้ พื้นตกแต่ง หรือผนังเบา ทั้งยังมีข้อดีในด้านการใช้ทรัพยากรเหลือทิ้งอย่างคุ้มค่า และช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



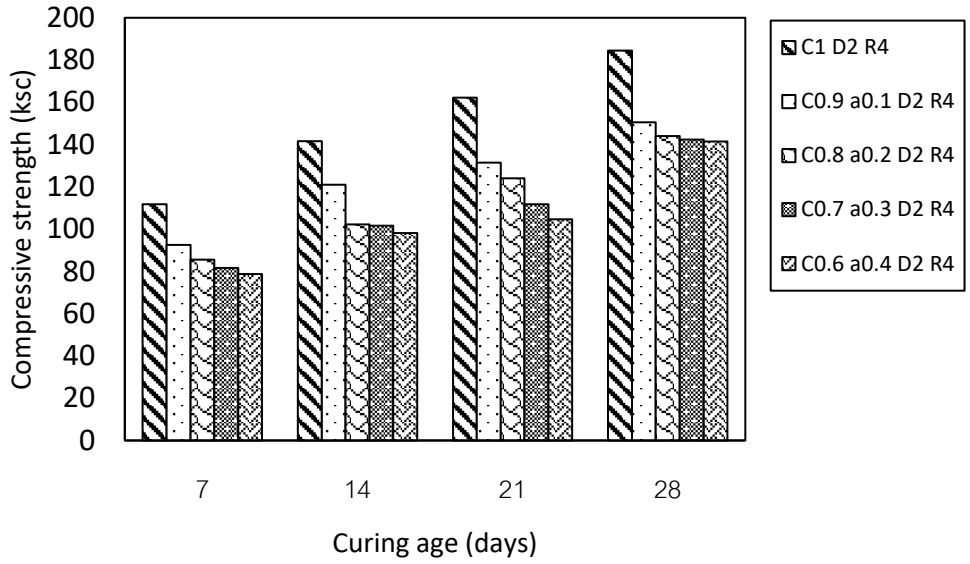
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่มของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด

จากผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มในทุกกลุ่มตัวอย่าง โดยค่ากำลังอัดสูงสุดจะอยู่ที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาโครงสร้างของปูนซีเมนต์ที่มีปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่อง และในบางสูตรอาจมีการเกิดปฏิกิริยาพอซโซลานจากเถ้าชานอ้อยในระดับหนึ่ง สูตรควบคุมที่ไม่มีการแทนที่เถ้าชานอ้อย (C1 a0 D2 R4) ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดในทุกช่วงอายุการบ่ม โดยเฉพาะที่อายุ 28 วัน ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดประมาณ 185 ksc ในขณะที่สูตรที่มีการแทนที่เถ้าชานอ้อยในสัดส่วน 10%–40% พบว่าค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีคุณสมบัติในการประสานต่ำกว่าปูนซีเมนต์ และมีลักษณะทางกายภาพที่หยาบและพรุน ส่งผลให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นลดลง และเกิดโพรงมากขึ้นภายในโครงสร้าง ส่งผลต่อความแข็งแรงโดยรวม

อย่างไรก็ตาม สูตรที่มีการแทนที่เถ้าชานอ้อยในระดับ ไม่เกิน 20% โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ยังคงให้ค่ากำลังอัดในระดับที่น่าพอใจ และเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ใน งานคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก เช่น กระถางต้นไม้ พื้นตกแต่ง หรือชิ้นส่วนภูมิสถาปัตยกรรม

นอกจากนี้ การใช้ หินฝุ่น เป็นมวลรวมละเอียดในสูตรผสมนี้ยังมีส่วนช่วยในการเพิ่มค่ากำลังอัด เนื่องจากหินฝุ่นมีขนาดอนุภาคเล็กและผิวหยาบ ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานกับมวลรวมได้ดี ส่งผลให้เนื้อคอนกรีตมีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น แม้จะมีการใช้วัสดุทดแทนบางส่วน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่มของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด

สรุปผล

จากการศึกษาผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วน 10%, 20%, 30%, และ 40% โดยน้ำหนัก ทั้งในระบบของ มอร์ตาร์ และ คอนกรีต โดยใช้วัสดุมวลรวมละเอียดทั้ง ทราย และ หินฝุ่น พบข้อสรุปที่สำคัญ ดังนี้:

1. ผลการทดสอบมอร์ตาร์ พบว่า ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม อย่างต่อเนื่อง สูตรที่ใช้ หินฝุ่นให้ค่ากำลังอัด สูงกว่าสูตรที่ใช้ทราย เนื่องจากหินฝุ่นมีลักษณะผิวหยาบและสามารถยึดเกาะกับวัสดุประสานได้ดี การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณที่ ไม่เกิน 20% ยังคงให้ค่ากำลังอัดในระดับที่เหมาะสมกับงานมอร์ตาร์ทั่วไป เมื่อสัดส่วนการแทนที่มากกว่า 30% ค่ากำลังอัดเริ่มลดลงอย่างชัดเจน

2. ผลการทดสอบคอนกรีต พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีต พัฒนาอย่างต่อเนื่องตามอายุบ่ม ในทุกสูตรผสม สูตรที่ใช้ หินฝุ่นร่วมกับหิน ให้ค่ากำลังอัดที่ สูงกว่าสูตรที่ใช้ทรายร่วมกับหิน สะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของหินฝุ่นในการเสริมความแข็งแรง การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อย ในระดับ 10–20% ให้ผลที่สมดุลระหว่างความแข็งแรงและการใช้วัสดุเหลือทิ้ง การแทนที่ เกิน 30% ส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลงในระดับที่อาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องรับแรง

3. การประยุกต์ใช้งานในฐานะคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าชานอ้อยในระดับ ≤20% สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานใน งานที่ไม่รับน้ำหนักโดยตรง ได้อย่างเหมาะสม เช่น กระถางต้นไม้ เก้าอี้สนามพื้นทางเดิน ผนังตกแต่ง การใช้เถ้าชานอ้อยช่วย ลดการใช้ปูนซีเมนต์ และ เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนและเศรษฐกิจหมุนเวียน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : ด้านนิเวศและมลพิษในภาคอุตสาหกรรม ปีงบประมาณ: 2567 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) เรื่อง การใช้หินฝุ่นและเถ้าชานอ้อยที่เป็นของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตเป็นคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อทดแทนการใช้ทรายธรรมชาติและปูนซีเมนต์ สำหรับใช้ในงานถนนคอนกรีตและลานคอนกรีตสำหรับตากผลผลิตทางการเกษตร สัญญาเลขที่ N81A670574

และได้รับการสนับสนุนเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการดำเนินงานจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 114, 2–26. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015

[2] Hussein, A. A. E., Shafiq, N., Nuruddin, M. F., & Memon, F. A. (2014). Compressive strength and microstructure of sugar cane bagasse ash concrete. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 7(12), 2569–2577.https://doi.org/10.19026/rjaset.7.569

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562. มอก.409-2562 เรื่องวิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบคอนกรีต. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556. มอก.2594-2556 เรื่องปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[5] Tayeh, B. A., Bakar, B. H. A., Johari, M. A. M., & Voo, Y. L. (2013). Utilization of ultra-high performance fiber concrete in beam–column joints subjected to seismic loading. Construction and Building Materials, 48, 126–135. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.059

[6] Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. (2009). Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. Construction and Building Materials, 23(11), 3352–3358. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.05.002

21R3-07

การเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากไร่กัญชาด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ปาติเคิล

Value-Added Transformation of Cannabis Farm Waste into Particleboard Products

จิตรทิวัส ลาทา[1] รัฐพล สมนา[2] ประชุม คำพุฒ[3] และ เกียรติสุดา สมนา[4*]
Jittiwat lata[1] Rattapon Somna Prachoom Khamput and Kiasuda somna[2*]
[1]นักศึกษาปริญญาโท, [2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ [4*]รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 30000
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12120
โทรศัพท์ 0866030553 Email: kiatsuda.so@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยได้ปลดล็อกกัญชาออกจากบัญชียาเสพติดให้โทษประเภทที่ 5 เมื่อวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2565 ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรมการปลูกกัญชาอย่างรวดเร็ว โดยมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากดอกเพื่อการแพทย์และเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตดังกล่าวส่งผลให้เกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก โดยเฉพาะกิ่งกัญชาที่มักไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกิ่งกัญชามาใช้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยจำแนกวัสดุออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กิ่งที่มีเส้นใยติดจากเปลือก และกิ่งที่ไม่มีเส้นใย จากนั้นนำไปผสมกับกาวสังเคราะห์ชนิดไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนัก ก่อนขึ้นรูปด้วยการอัดร้อนผลการทดสอบพบว่า แผ่นไม้ที่ผลิตจากกิ่งกัญชาที่มีเส้นใยติดจากเปลือก และใช้อัตราส่วนกาวร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังดัดสูงสุดที่ 25 MPa อีกทั้งยังมีค่าความหนาแน่น การพองตัว และค่าการดูดซึมน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 3553-2566 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า กิ่งกัญชาเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีศักยภาพสูงในการนำมาเพิ่มมูลค่าเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรม

คำสำคัญ กัญชา, แผ่นไม้ปาติเคิล

Abstract

Thailand officially removed cannabis from the list of narcotic drugs (Category 5) on June 9, 2022, leading to a rapid expansion of cannabis cultivation for medical and commercial use. However, this growth has resulted in a substantial amount of agricultural waste, particularly cannabis branches, which are often discarded without further utilization. This study investigates the feasibility of using cannabis branches—classified as fiber-attached and fiber-free particles—as raw materials for particleboard production. The materials were mixed with isocyanate adhesive at 8%, 10%, and 12% by weight and hot-pressed into boards. Results showed that particleboards made from fiber-attached branches with 10% adhesive achieved the highest bending strength at 25 MPa, while physical properties met the Thai Industrial Standard (TIS 3553-2566). These findings indicate that cannabis branches are a promising bio-based material for sustainable particleboard production in industrial applications.

Keywords: Cannabis; Particleboard

บทนำ

หลังจากที่ประเทศไทยได้ปลดล็อกกัญชาและกัญชงออกจากบัญชียาเสพติดให้โทษประเภทที่ 5 เมื่อวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2565 [1] มีการขยายตัวของการเพาะปลูกพืชทั้งสองชนิดในระดับอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว โดยมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากดอกของพืชเพื่อการแพทย์ การสกัดน้ำมัน และผลิตภัณฑ์สุขภาพต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การเก็บเกี่ยวดอกมักก่อให้เกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก โดยเฉพาะกิ่งของต้นกัญชาและกัญชง ซึ่งยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มักถูกเผาทิ้งหรือขนย้ายออกจากพื้นที่ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มปริมาณของเสียในภาคการเกษตร

กัญชาและกัญชง เดิมมีชื่อวิทยาศาสตร์เดียวกันคือ Cannabis sativa L. เนื่องจากมีต้นกำเนิดจากพืชชนิดเดียวกัน ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 นักพฤกษศาสตร์ชาวอเมริกันได้จำแนกความแตกต่างทางพฤกษเคมีและสัณฐานวิทยา โดยให้ชื่อว่า Cannabis sativa L. subsp. sativa สำหรับกัญชง และ Cannabis sativa L. subsp. indica สำหรับกัญชา พืชในสกุลนี้มีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคเขตอบอุ่นของทวีปเอเชีย ก่อนจะแพร่กระจายไปยังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงยุโรปตั้งแต่ยุคโรมันโบราณเป็นต้นมา โดยมีการปลูกเพื่อใช้ประโยชน์ทั้งในด้านเส้นใยและวัตถุเสพติด

จากโครงสร้างภายในของกิ่งกัญชาที่คล้ายคลึงกับวัสดุเส้นใยพืชชนิดอื่น จึงมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของวัสดุก่อสร้างชีวภาพ เช่น แผ่นไม้ปาร์ติเกิล เมื่อนำกิ่งผ่านกระบวนการบดย่อย สามารถจำแนกวัสดุออกเป็นสองประเภท ได้แก่ ส่วนที่มีเส้นใยติดจากเปลือก (fiber-attached particles) ซึ่งมีเยื่อใยธรรมชาติที่อาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงและการยึดเกาะของกาว และส่วนที่ไม่มีเส้นใยติด (fiber-free particles) ซึ่งมีลักษณะเนื้อแน่นและเหมาะสำหรับการผลิตแผ่นไม้ที่มีความสม่ำเสมอ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กิ่งกัญชาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต มาผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยประเมินผลกระทบของชนิดวัสดุ (ติดใยและไม่ติดใย) และอัตราส่วนของกาวไอโซไซยาเนตต่อคุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของแผ่นไม้ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 3553-2566) [2] เพื่อพัฒนาแนวทางการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้จากกัญชาอย่างยั่งยืน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.วัตถุดิบและอุปกรณ์

1.1 กิ่ง ของต้นกัญชา นำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดย่อยด้วยเครื่องบดให้มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อให้ได้ตัวอย่างวัสดุ 2 กลุ่ม ได้แก่ กิ่งไม่ติดใย (A) และกิ่งติดใย (B)

1.2 สารประสานกาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate adhesive) เป็นกาวสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติการยึดติดสูง ทนความชื้น และไม่ต้องใช้ความร้อนสูงในการขึ้นรูป ทำให้เหมาะสำหรับการผลิตไม้ปาร์ติเกิลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร



รูปที่ 1 ก้านกัญชา

2. อัตราส่วนผสมและวิธีการขึ้นรูปไม้ปาติเคิล

วัสดุแต่ละกลุ่มถูกนำมาผสมกับกาวไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักของวัสดุแห้ง โดยกระบวนการผสมดำเนินการภายในเครื่องผสมที่ติดตั้งระบบฉีดพ่นแบบสเปรย์ แสดงดังรูปที่ 2 เพื่อให้กาวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งมวลวัสดุ จากนั้นจึงนำวัสดุที่ผสมแล้วอัดลงในแบบหล่อที่มีขนาดความกว้างและความยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นเหล็กประกบบนและล่างของแบบเพื่อควบคุมรูปร่างให้ได้รูปทรงแผ่นที่เรียบสม่ำเสมอ รูปที่ 3 ต่อมา แผ่นวัสดุถูกนำเข้าเครื่องอัดด้วยความร้อน (Hot Press) โดยใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 2 เครื่องผสมและฉีดผ่น



รูปที่ 3 เครื่องอัดรีดร้อน

หลังจากกระบวนการอัดร้อนแล้ว จึงนำแผ่นออกจากเครื่องและปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ก่อนทำการตกแต่งผิวให้เรียบ เพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบคุณสมบัติในขั้นตอนถัดไป รูปที่ 4



รูปที่ 4 แผ่นที่ผ่านการอัดร้อน

3. การทดสอบ

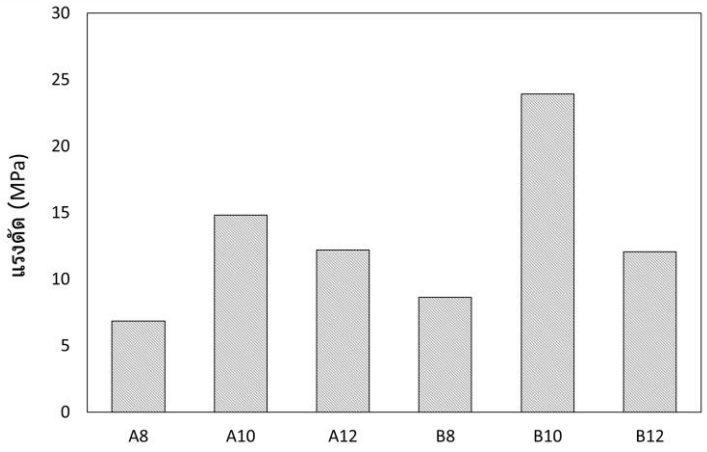
ทดสอบสมบัติของแผ่นไม้ปาติเคิล โดยอ้างอิงจาก มาตรฐาน มอก.เฮมพ์ปาติเคิล (มอก. 3553-2566) [2] ได้แก่ ทดสอบแรงดัด ค่าการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ค่าการพองตัว

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบแรงดัด

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ผลิตจากกิ่งกัญชาโดยจำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กิ่งที่ไม่ติดเส้นใยจากเปลือก (A) และกิ่งที่มีเส้นใยติดเปลือก (B) โดยใช้อัตราส่วนของกาวไอโซไซยาเนตที่ร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุที่ผลิตจากกิ่งกัญชาที่มีเส้นใยติดจากเปลือก (กลุ่ม B) มีค่ากำลังดัดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ติดใย (กลุ่ม A) ในทุกอัตราส่วนของกาว โดยเฉพาะในตัวอย่าง B10 ซึ่งใช้อัตราส่วนกาวร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังดัดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 25 MPa ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยธรรมชาติที่ติดอยู่ในเนื้อวัสดุช่วยเสริมความแข็งแรงเชิงกล และเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะของกาวไอโซไซยาเนตได้อย่างชัดเจน

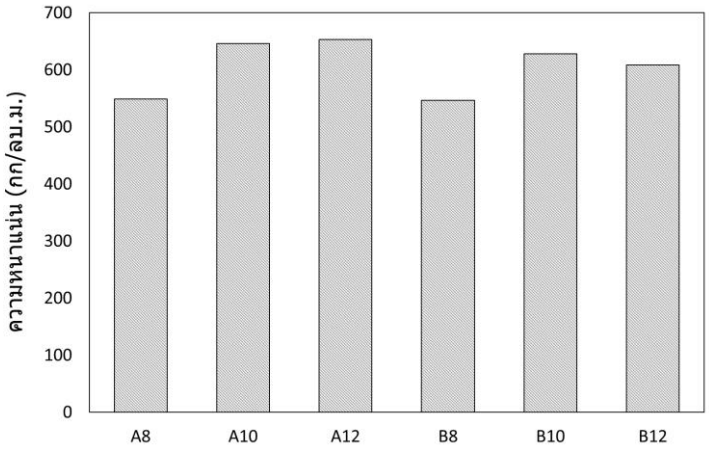
ในกลุ่มวัสดุที่ไม่ติดใย (A) พบว่าค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกาวจาก 8% เป็น 10% แต่กลับลดลงเมื่อเพิ่มกาวเป็น 12% (A12) แนวโน้มนี้สอดคล้องกับกลุ่มวัสดุติดใย ที่ค่ากำลังดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่อัตราส่วนกาว 10% แล้วลดลงที่ 12% เช่นกัน แนวโน้มดังกล่าวอาจอธิบายได้ว่า ปริมาณกาวที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดความเปราะในเนื้อวัสดุ หรือกาวไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้าง ส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานแรงดัดของแผ่นไม้ [3] สรุปได้ว่าวัสดุที่ผลิตจากกิ่งกัญชาที่มีเส้นใยติดเปลือก และใช้อัตราส่วนกาวไอโซไซยาเนตที่ร้อยละ 10 เป็นสูตรที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด และมีแนวโน้มเหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ชีวภาพที่มีสมรรถนะสูง



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัด และอัตราส่วนกาวไอโซไซยาเนต

ค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ผลิตจากกิ่งกัญชามีค่าระหว่างประมาณ 540–660 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามเกณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทไม้ปาร์ติเกิล จากผลการทดลองพบว่า กลุ่มวัสดุที่ไม่ติดใย (A) มีแนวโน้มความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของกาว โดยเฉพาะตัวอย่าง A10 และ A12 ที่มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด ขณะที่กลุ่มวัสดุติดใย (B) แม้จะมีความหนาแน่นในระดับใกล้เคียง แต่ค่าที่ได้โดยรวมต่ำกว่าเล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม ตัวอย่าง B10 ซึ่งให้ค่ากำลังดัดสูงสุดกลับไม่ได้มีความหนาแน่นสูงที่สุด สะท้อนว่าเส้นใยธรรมชาติในกิ่งติดใยสามารถช่วยเสริมความแข็งแรงของแผ่นไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องมีความหนาแน่นสูงมาก ซึ่งเป็นจุดเด่นของการใช้วัสดุเส้นใยธรรมชาติในการผลิตแผ่นไม้ชีวภาพที่มีน้ำหนักเบาแต่ยังคงคุณสมบัติเชิงกลที่ดี [4]

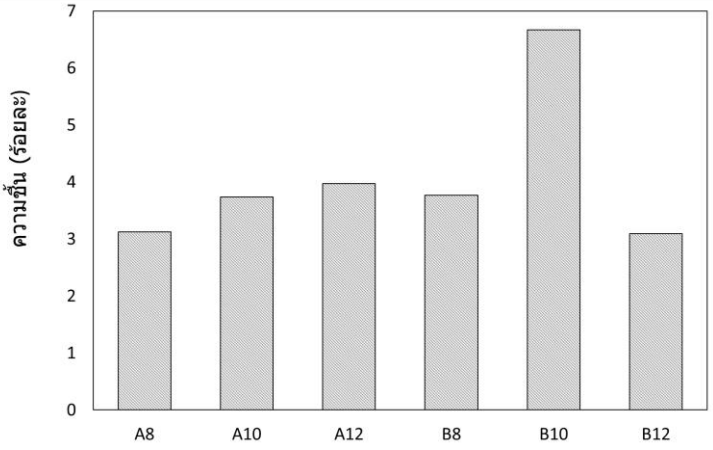


รูปที่ 6 ค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาติเคิล

จากผลการทดสอบค่าความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (แสดงในรูปที่ 7) พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 3–4% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับวัสดุประเภทไม้ปาร์ติเกิล ยกเว้นในกรณีของตัวอย่าง B10 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้กิ่งกัญชาติดใยและกาวไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนร้อยละ 10 กลับแสดงค่าความชื้นสูงผิดปกติ โดยมีค่าความชื้นสูงถึงประมาณ 10% ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจน

สาเหตุของค่าความชื้นที่สูงใน B10 อาจเกิดจากการดูดซับความชื้นของเส้นใยธรรมชาติที่ติดมากับเปลือกกิ่ง ซึ่งอาจมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี หรืออีกปัจจัยที่เป็นไปได้คือการกระจายตัวของกาวภายในเนื้อแผ่นไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดจุดกักเก็บความชื้น นอกจากนี้ ความชื้นที่ตกค้างอาจสะสมมาจากกระบวนการบ่มหรืออบแผ่นไม้ที่ไม่สมบูรณ์หลังการอัดร้อน ส่งผลให้ค่าความชื้นภายในแผ่นสูงกว่าปกติ แม้ว่าตัวอย่าง B10 จะให้ค่ากำลังดัดสูงและค่าการพองตัวต่ำที่สุดในกลุ่ม แต่ความชื้นที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อความคงทนในระยะยาว เช่น การบวมตัว การลดความแข็งแรง หรือการเสื่อมสภาพของวัสดุในสภาวะใช้งานจริง

ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมค่าความชื้นในกระบวนการผลิต ซึ่งควรให้ความสำคัญควบคู่ไปกับการออกแบบสูตรส่วนผสม เพื่อให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีคุณสมบัติที่สมดุลทั้งทางกายภาพและกลศาสตร์

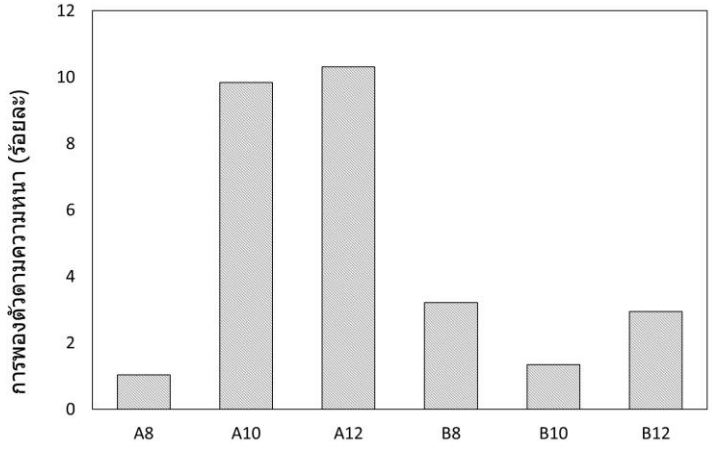


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และอัตราส่วนกาวไอโซไซยาเนต

จากผลการทดสอบค่าการพองตัวหลังการแช่น้ำของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (แสดงในรูปที่ 8) พบว่าแผ่นไม้ที่ผลิตจากกิ่งกัญชาที่มีเส้นใยติดจากเปลือก (กลุ่ม B) มีค่าการพองตัวต่ำกว่าแผ่นไม้ที่ผลิตจากกิ่งกัญชาไม่ติดใย (กลุ่ม A) อย่างชัดเจน โดยเฉพาะตัวอย่าง B10 ซึ่งมีค่าการพองตัวต่ำที่สุดในกลุ่มทั้งหมด สะท้อนถึงความสามารถในการต้านทานความชื้นและการเปลี่ยนแปลงเชิงมิติของแผ่นไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะที่กลุ่ม A ซึ่งไม่มีเส้นใยติด พบว่าค่าการพองตัวสูงมาก โดยเฉพาะในตัวอย่าง A10 และ A12 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่า 10% แม้จะใช้อัตราส่วนกาวไอโซไซยาเนตที่สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของวัสดุที่ไม่มีเส้นใยอาจมีช่องว่างภายในมากกว่าทำให้ดูดซึมน้ำได้มาก และการเพิ่มกาวไม่ได้ช่วยลดการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญ [5]

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การมีเส้นใยธรรมชาติที่ติดอยู่กับเนื้อวัสดุมีบทบาทสำคัญในการเสริมความแข็งแรงเชิงโครงสร้าง ลดช่องว่าง และเพิ่มการกระจายแรงภายในแผ่นไม้ ส่งผลให้เกิดความเสถียรเมื่อแช่น้ำ และช่วยควบคุมค่าการพองตัวให้อยู่ในระดับต่ำอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการผ่องตัวตามความหนา และอัตราส่วนกาวไอโซไซยาเนต

สรุปผล

ค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ผลิตจากกิ่งกัญชามีค่าตั้งแต่ประมาณ 540 ถึง 660 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ปาร์ติเกิลตาม มาตรฐาน มอก. 3553-2566 ซึ่งกำหนดว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ต้องไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักและคงรูปได้อย่างปลอดภัยในการใช้งานทั่วไป (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2566)

ในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ติดเส้นใย (A) พบว่า การเพิ่มปริมาณกาวไอโซไซยาเนตจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวอย่าง A10 และ A12 มีความหนาแน่นสูงสุดในกลุ่ม (~660 กก./ลบ.ม.) แสดงให้เห็นถึงการบีบอัดและการจับตัวที่แน่นขึ้นเมื่อใช้กาวในปริมาณที่มากขึ้น ขณะที่กลุ่มวัสดุติดเส้นใย (B) มีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่าง B10 และ B12 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวเช่นเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม ตัวอย่าง B10 แม้จะไม่ได้มีความหนาแน่นสูงสุด แต่กลับให้ค่ากำลังดัดสูงที่สุดในงานวิจัยนี้ สะท้อนว่า การมีเส้นใยธรรมชาติในวัสดุติดเปลือกมีส่วนช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะภายในแผ่นไม้ได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องมีความหนาแน่นสูงมาก ซึ่งนับเป็นจุดแข็งของการใช้วัสดุชีวภาพที่มีประสิทธิภาพเชิงกลควบคู่กับน้ำหนักที่เบากว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และ งบประมาณจากโครงการวิจัยเรื่อง นวัตกรรมแผ่นไม้ปาติเคิลจากของเหลือทิ้งในแปลงกัญชาเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์สู่เชิงพาณิช ตามคำรับรองการปฏิบัติตามเงื่อนไขของการอนุมัติงบประมาณโครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 เลขที่ FF68/NKR/159

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงสาธารณสุข. (2565). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ระบุชื่อยาเสพติดให้โทษในประเภท 5 พ.ศ. 2565. ราชกิจจานุเบกษา. สืบค้นจาก https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/140D050S000B1110000.pdf

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2566). มอก. 3553-2566: แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากเฮมพ์ (Hemp Particleboard). กระทรวงอุตสาหกรรม.

[3] Thoemen, H., & Irle, M. (2021). Wood-based panels: An introduction for specialists. Brill.

[4] Sulastiningsih, I. M., & Wahyudi, I. (2020). Physical and mechanical properties of particleboard made from natural fiber and recycled wood. Construction and Building Materials, 263, 120144. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120144

[5] Nemli, G., & Kalaycıoğlu, H. (2006). The influence of fiber content and resin type on properties of particleboard. Building and Environment, 41(6), 739–744. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.03.007

21R3-08

ประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศในการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์

Efficiency of Passive Aerated Composter for Organic Waste Decomposition

เจนจิรา ชาติบุตร[1*] และ จีมา ศรลัมพ์[2]

Janjira Chadbood[1*] and Cheema Soralump[2]

[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา; [2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. 10900

[*]โทรศัพท์ : 083-9545478, E-mail : janejira.chad@ku.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยกำลังเผชิญปัญหาการจัดการมูลฝอยชุมชนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะมูลฝอยอินทรีย์ที่มีความชื้นสูง ย่อยสลายได้ง่าย และสร้างมลพิษส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากไม่ถูกกำจัดอย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศตามธรรมชาติ (passive aerated composting) ในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษผักผลไม้ผสมกับเศษใบไม้แห้ง และมูลวัว ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 1:2:1 โดยมีค่า C/N เริ่มต้น 35.04 และความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้น 60.32% ดำเนินการหมักในถังหมักปุ๋ยสแตนเลสขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 38 วัน ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกระบวนการหมักอยู่ในช่วง 33.94-50.92°C ในสภาพอากาศร้อนสามารถลดระยะเวลาหมักในถังเหลือ 2 สัปดาห์และนำไปบ่มต่อภายนอกได้ ปริมาณปุ๋ยหมักที่ได้คือ 48 กิโลกรัม คิดเป็น 35.27% ของปริมาณเริ่มต้น มีค่าอินทรียวัตถุ 48% ไนโตรเจน 1.99% ฟอสฟอรัส 1.27% โพแทสเซียม 1.65% และค่า C/N เท่ากับ 14 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศตามธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการจัดการมูลฝอยอินทรีย์และผลิตปุ๋ยหมักคุณภาพดี เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการจัดการมูลฝอยอินทรีย์

คำสำคัญ : มูลฝอยอินทรีย์; เครื่องหมักปุ๋ย; ปุ๋ยหมัก

Abstract

Thailand is facing ongoing challenges in managing municipal solid waste, particularly organic waste which is typically high in moisture content, easily biodegradable, and causes environmental pollution if not properly treated. This study aims to evaluate the performance of a passive aerated composting system in producing compost from a mixture of fruit and vegetable waste, dry leaves, and cow manure in a volume ratio of 1:2:1. The initial carbon-to-nitrogen (C/N) ratio was 35.04, with an average moisture content of 60.32%. The composting process was carried out in a stainless steel composting tank of approximately 1 cubic meter for 38 days. The experimental results showed that the average temperature during the composting process ranged between 33.94°C and 50.92°C. Under warm weather conditions, the composting period inside the tank could be reduced to 2 weeks, after which the compost could be cured externally. The final compost product weighed 48 kilograms, accounting for 35.27% of the initial input mass. The compost had 48% organic matter, 1.99% total nitrogen, 1.27% total phosphorus, 1.65% total potassium, and a C/N ratio of 14—all meeting the organic fertilizer standards set by the Department of Agriculture of Thailand. The findings of this study indicate that the passive aerated composting system is effective in managing organic waste and producing high-quality compost. This method offers a sustainable and environmentally friendly alternative for community-level organic waste management.

Keywords : organic waste; composter; compost

บทนำ

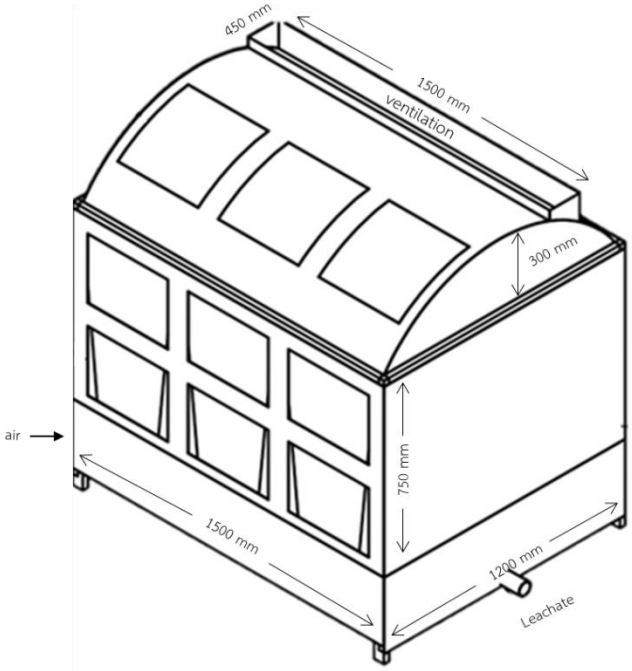
ประเทศไทยกำลังเผชิญปัญหาการจัดการมูลฝอยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในปี 2566 มีมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้นกว่า 26.95 ล้านตัน [1] เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าประมาณ 1.25 ล้านตัน หรือร้อยละ 4.86 โดยส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยอินทรีย์ที่มีความชื้นสูง ย่อยสลายได้ง่าย ถูกทิ้งปนกับมูลฝอยทั่วไป และนำไปกำจัดด้วยวิธีการเทกองหรือฝังกลบเป็นหลัก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง สร้างมลพิษและปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การหมักทำปุ๋ยจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ที่ต้องนำไปกำจัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การทำปุ๋ยหมักแบบใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศ ซึ่งให้ผลผลิตเป็นปุ๋ยหมัก คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน และการทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ ได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก แต่การหมักแบบใช้ออกซิเจนมักนิยมมากกว่าสำหรับการจัดการมูลฝอยอินทรีย์ในชุมชน เนื่องจากมีกลิ่นรบกวนน้อย และใช้เวลาสั้นกว่า โดยถังหมักขนาดเล็กที่มีการเติมอากาศจะให้อุณหภูมิการหมักที่สูงกว่าถังที่ไม่มีการเติมอากาศ แต่ยังไม่สูงพอในการทำลายเชื้อโรค เนื่องจากถังมีขนาดเล็กและเกิดการสูญเสียความร้อน [2] การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ โดยทำการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศตามธรรมชาติ (passive aerated composting) ประเมินคุณภาพปุ๋ยที่ได้เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งคาดว่าจะนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีการหมักปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพ และสามารถจัดการมูลฝอยอินทรีย์อย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และวัสดุหมักที่ใช้ในการศึกษา

1. ถังหมักปุ๋ยสแตนเลสทรงสี่เหลี่ยมมีฝาปิด ขนาดความจุประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ภายในมี 3 ช่องหมัก แต่ละช่องทำจากแผ่นตะแกรงขนาดรู 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 แผ่น ซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (ความสูง 750 มิลลิเมตร ความกว้างด้านบน 450 มิลลิเมตร และด้านล่าง 300 มิลลิเมตร ยาว 1,200 มิลลิเมตร) ยึดติดกับโครงเหล็กด้านล่าง แต่ละช่องมีเซนเซอร์ วัดอุณหภูมิ 5 ตำแหน่ง (สูงจากก้นถังประมาณ 20-60 cm) และระบายน้ำเสียออกจากถังหมักด้วยท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว



รูปที่ 1 เครื่องหมักปุ๋ยที่ใช้ทดลอง

2. วัสดุหมัก ประกอบด้วย เศษผักผลไม้จากโรงอาหาร (47.17% โดยน้ำหนัก) เศษใบไม้แห้งภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (18.08%) และมูลวัว (34.75%) ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 1:2:1 ดังแสดงในตารางที่ 1 และคำนวณค่า C/N เริ่มต้นโดยใช้สมการ (1) มีค่าเท่ากับ 35.04

ตารางที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนัก และค่า C/N ratio ของวัสดุหมักตั้งต้น

วัสดุหมัก	% โดยน้ำหนัก	C/N
เศษผักผลไม้	47.17	32.18 [3]
เศษใบไม้	18.08	75.26 [3]
มูลวัว	34.75	18 [4]
รวม	100	35.04

$$\text{C/N เริ่มต้น} = \frac{(\%A_1 \times \text{C/N ของ } A_1) + (\%A_2 \times \text{C/N ของ } A_2) + (\%A_n \times \text{C/N ของ } A_n)}{(\%A_1 + \%A_2 + \%A_n)} \quad (1)$$

เมื่อ A_1, A_2, A_n คือ วัสดุหมักแต่ละชนิด

วิธีการศึกษา

1. รวบรวมเศษผักผลไม้ที่เหลือทิ้งจากการเตรียมอาหารจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับใช้เป็นวัสดุหลักในการทำปุ๋ยหมัก
2. เตรียมเศษใบไม้ และมูลวัว สำหรับผสม จากนั้นนำวัสดุหมักแต่ละชนิดบรรจุลงในตะกร้าพลาสติก นำมาชั่ง และบันทึกน้ำหนัก
3. ทำการผสมเศษผักผลไม้ เศษใบไม้ และมูลวัว ด้วยอัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 1:2:1 คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำวัสดุหมักเทลงในถังหมักแต่ละช่องจนเต็มถัง ด้านบนสุดโรยด้วยมูลวัวและรดน้ำให้ชุ่มไม่แฉะจนเกินไป
4. ทำการหมักแบบใช้อากาศตามธรรมชาติ รักษาความชื้นในช่วง 40-60% โดยรดน้ำที่ผิวหน้าทุกวัน ไม่ให้มีน้ำไหลออกจากท่อระบายน้ำชะขยะมากจนเกินไป และเจาะรูเติมน้ำลงไปในกองปุ๋ยสัปดาห์ละครั้ง เป็นเวลา 2 สัปดาห์
5. วัดความชื้นโดยใช้มัลติมิเตอร์ Pro's Kit รุ่น MT-1220 และใช้มือกำวัสดุหมักและบีบจะไม่มีน้ำไหลออกมาแสดงว่ามีความชื้นที่เหมาะสม และวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ควบคู่กัน ตลอดกระบวนการหมัก
6. เมื่อปุ๋ยหมักมีปริมาตรลดลงกึ่งหนึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ จะนำปุ๋ยหมักออกมาบ่มตากที่ด้านนอกถังหมักเป็นระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ โดยเกลี่ยเป็นชั้นบางๆ พลิกกลับกองปุ๋ยประมาณสัปดาห์ละ 3 ครั้ง เมื่อปุ๋ยหมักแห้งละเอียด จึงทำการร่อนปุ๋ยด้วยตะกร้าขนาดรูประมาณ 1x1 cm และสุ่มเก็บตัวอย่างจากจุดต่างๆ ทั้งกอง ประมาณ 500-1,000 กรัม ส่งตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์

นำข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ของช่องหมักทั้ง 3 ช่อง และอุณหภูมิบรรยากาศโดยรอบมาวิเคราะห์ โดยนำข้อมูลที่บันทึกทุกๆ 10 วินาที มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รายวัน และสร้างกราฟ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2019 พารามิเตอร์สำหรับใช้วิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมักเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร [5] วิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 2

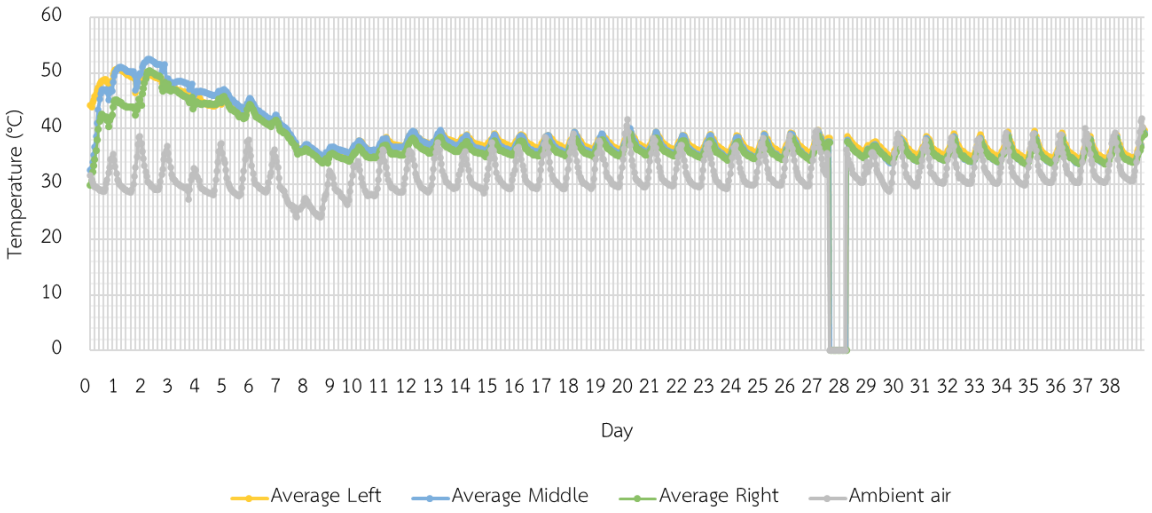
ตารางที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ค่าความชื้น	Oven-dying method
อินทรียวัตถุและคาร์บอนทั้งหมด	Walkley-Black method
ไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl method
โพแทสเซียมทั้งหมด	Flame photometric method
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Spectrophotometric Molybdovanadophosphate method

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. อุณหภูมิ

ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ช่อง มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมักและค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนคงที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของช่องหมักซ้ายอยู่ในช่วง 34.52-50.75℃ ในขณะที่ช่องหมักกลางอยู่ในช่วง 32.58-52.54℃ และช่องหมักขวาอยู่ในช่วง 29.74-50.38℃ แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุณหภูมิปุ๋ยหมักจำแนกรายช่องหมัก

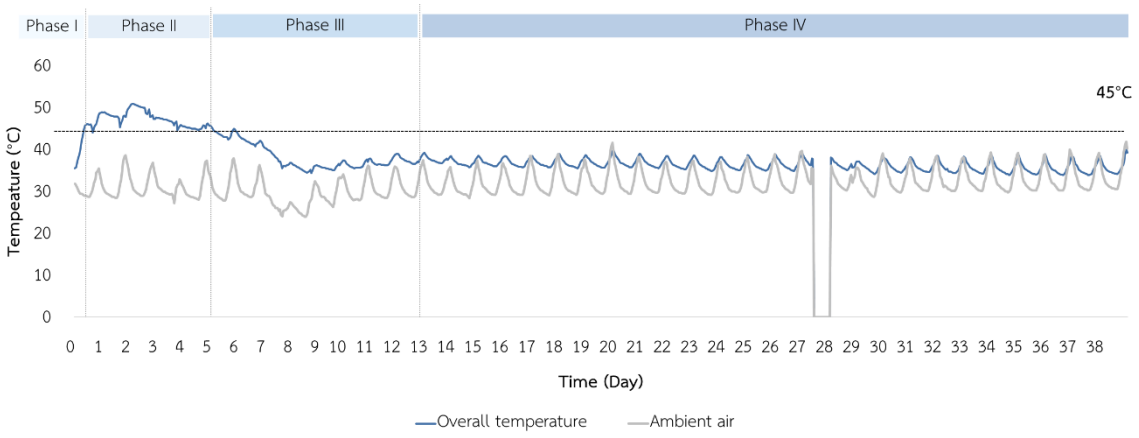
อุณหภูมิเฉลี่ยในภาพรวมของการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศตามธรรมชาติอยู่ในช่วง 33.94-50.92℃ (อุณหภูมิบรรยากาศ 23.98-41.87 ℃) จากรูปที่ 3 สามารถแบ่งอุณหภูมิปุ๋ยหมักได้ 4 phase ดังนี้

Phase I : อุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นภายใน 8 ชั่วโมง (< 45°C) จากอุณหภูมิเริ่มต้น 35.51 ℃

Phase II : อุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-50°C เป็นเวลา 4-5 วัน ซึ่งอาจไม่เพียงพอสำหรับการทำลายเมล็ดพืชที่ปนมากับวัสดุหมักตามการศึกษาของ [6] ซึ่งต้องมีอุณหภูมิประมาณ 55°C ติดต่อกันนาน 3 วัน

Phase III : อุณหภูมิลดลงจาก 45°C เหลือประมาณ 38°C ซึ่งเข้าใกล้อุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient air) ภายใน 1 สัปดาห์

Phase IV : อุณหภูมิคงที่ในช่วง 35-40°C ยังสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศเล็กน้อย สามารถนำมาหมักด้านนอกถังหมักได้



รูปที่ 3 อุณหภูมิปุ๋ยหมักในภาพรวม

2. ความชื้น

การรักษาความชื้นมีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ โดยค่าแนะนำทั่วไปสำหรับการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วง 40-60% กรณีกองปุ๋ยแห้งจนเกินไป จะทำให้การทำปุ๋ยหมักช้าลง ในขณะที่ความชื้นมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้กองปุ๋ยเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนส่งผลต่อการสลายตัวของกองปุ๋ยช้าลงและเกิดกลิ่น [7] การทดลองมีค่าความชื้นเริ่มต้น 60.32% และเพิ่มขึ้นเป็น 63.36% เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการย่อยสลายทางชีวภาพทำให้วัสดุหมักมีขนาดเล็กลง และสามารถอุ้มน้ำได้สูงขึ้นทำให้ค่าความชื้นที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นมากกว่ามาตรฐานกรมวิชาเกษตร (<35%) อาจทำการพลิกกลับกอง หรือบ่มตากเพื่อให้ลดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

3. คุณภาพปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 4 มีการย่อยสลายที่ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ กลิ่นคล้ายดินธรรมชาติ และไม่มีกลิ่นเหม็น ซึ่งเศษใบไม้แห้งซึ่งมีลิกนินและเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบยังไม่สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ในระยะเวลา 38 วัน



รูปที่ 4 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง

การทดลองนี้ให้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักจำนวน 48 กิโลกรัม คิดเป็น 35.27% ของปริมาณเริ่มต้น เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์มีการใช้อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่า C/N เท่ากับ 14 ไนโตรเจน 1.99% ฟอสฟอรัส 1.27% และโพแทสเซียม 1.65% ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งค่า C/N เริ่มต้น ในการทำปุ๋ยหมักนี้อยู่ในช่วง 25-40 สามารถผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ สอดคล้องกับผลการศึกษา [8] โดยคุณภาพไม่ได้รับผลกระทบจากความชื้นสูงในระหว่างกระบวนการหมัก

ตารางที่ 3 คุณภาพตัวอย่างปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน [9]	ตัวอย่างปุ๋ยหมัก	ผลการวิเคราะห์
อินทรียวัตถุ	%	≥30	48	ผ่านมาตรฐาน
อินทรีย์คาร์บอน	%	-	27.8	-
ไนโตรเจนทั้งหมด	%	≥1.0	1.99	ผ่านมาตรฐาน
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	%	≥0.5	1.27	ผ่านมาตรฐาน
โพแทสเซียมทั้งหมด	%	≥0.5	1.65	ผ่านมาตรฐาน
C/N ratio	-	≤20	14	ผ่านมาตรฐาน

สรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศตามธรรมชาติในสภาพอากาศร้อน โดยใช้ระยะเวลาหมักในถังเพียง 2 สัปดาห์ ให้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ มีปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลักและค่า C/N ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิภายในถังอาจยังไม่สูงพอที่จะทำลายเมล็ดพืชที่ปนมากับวัสดุหมักและยังระบายความชื้นได้น้อย จึงควรมีการพัฒนาระบบเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ.ดร.จีมา ศรลัมพ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำ ขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยถ่ายทอดความรู้ และสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. https://www.pcd.go.th/publication/32171/ สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2568.

[2] ตรีรัตน์ เจริญกุล และจรีรัตน์ สกุลรัตน์. (2559). ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์ในถังหมักขนาดเล็กแบบเติมอากาศ. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 : หน้า 85-93 (2559) สามารถเข้าถึงได้จาก https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/download/187564/131751

[3] Rangseesuriyachai, T. ., & Saricheewin, K. . (2018). Study of Organic Waste Composting with Aeration and Use of Crude Enzyme. Frontiers in Engineering Innovation Research, 16(2), 1–12. สามารถเข้าถึงได้จาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt/article/view/241943

[4] Andrew et al. Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review, Ottawa, Ont., IDRC. 132, 1978.

[5] http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00061.pdf สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2568.

[6] Grundy, AC & Green, J.M. & Lennartsson, Margi. (2013). The Effect of Temperature on the Viability Of Weed Seeds in Compost. Compost Science & Utilization. 6. 26-33. 10.1080/1065657X.1998.10701928.

[7] Agriculture, Aquaculture and Fisheries. 2015. "Compost – Basics of On-Farm Composting." In, edited by Aquaculture and Fisheries Agriculture.

[8] Ghinea, C. and A. Leahu. Monitoring of Fruit and Vegetable Waste Composting Process: Relationship between Microorganisms and Physico-Chemical Parameters. 8(3), 302, 2020.

[9] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 122 ตอนพิเศษ 109 ง, หน้า 9-10

21R3-09

การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ สถานีงานของโรงงานผสมกาแฟสำเร็จรูป

Ergonomics Risk Assessment of Coffee Mixing Factory

วราภรณ์ สุวรรณโกมุท[1*] ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช[1] เสรีย์ ตู้ประกาย[1] และสิรภัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย[1]

Waraporn Suwangomut[1*] ,Piyarat Preemanoch[1] ,Seree Tuprakay[1] and Sirapat Ruangchuay Tuprakay[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240

โทรศัพท์ : 061-7988823, , E-mail : 6614350018@rumail.ru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จากท่าทางการทำงานที่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลส่วนบุคคลกับอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างและเพื่อออกแบบปรับปรุงสถานีงานให้ถูกตามหลักการยศาสตร์ของพนักงานโรงงานผสมกาแฟสำเร็จรูปของบริษัทแห่งหนึ่ง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ กลุ่มพนักงานโรงงานผสมกาแฟสำเร็จรูปของบริษัทแห่งหนึ่ง เครื่องมือที่ใช้ในเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามเกี่ยวกับอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง (Standard Nordic questionnaires) และแบบประเมินการยศาสตร์ท่าทางในการทำงานแบบใช้ร่างกายทุกส่วน (REBA : Rapid Entire Body Assessment) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนาโดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมานโดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเป็นเพศชาย สถานะโสด ส่วนใหญ่เป็นโรคอ้วนระดับ 1 ไม่มีโรคประจำตัว พนักงานต้องเคลื่อนไหวที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่คอ ไหล่ ลำตัว ต้นขา เข่า หลัง และมือ/ข้อมือ รวมถึงต้องยืนและเดินมากกว่า 6 ชั่วโมงต่อวัน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างมีความสัมพันธ์กับอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการประเมินท่าทางการทำงานด้วยเทคนิคการยศาสตร์ท่าทางในการทำงานแบบใช้ร่างกายทุกส่วน (REBA) แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ ซึ่งต้องรีบดำเนินการแก้ไขปรับปรุงสถานีงาน จึงทำการปรับปรุงสถานีงานโดยการติดตั้ง Monorail crane ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยยกน้ำหนักและภายหลังการปรับปรุงท่าทางการทำงานให้เป็นไปตามหลักการยศาสตร์ พบว่าความเสี่ยงทางการยศาสตร์ลดลงอยู่ในระดับน้อย แสดงให้เห็นว่า ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของสถานีงานแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูปภายหลังการปรับปรุงสถานีงานร่วมกับการปรับปรุงท่าทางการทำงานมีค่าลดลง

คำสำคัญ : การประเมินความเสี่ยง, การยศาสตร์, สถานีงานผสมกาแฟ

Abstract

This study was a experimental research aiming to assess ergonomic risks associated with working postures that could lead to musculoskeletal disorders. The objectives were to evaluate the relationship between personal information and musculoskeletal symptoms and to redesign and improve workstations in accordance with ergonomic principles for employees in the instant coffee mixing department of a company. The study sample consisted of employees from the instant coffee mixing factory of a specific company. Data collection tools included the Standard Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ) for identifying musculoskeletal symptoms and the Rapid Entire Body Assessment (REBA) method for evaluating ergonomic risks associated with whole-body postures during work. Descriptive statistics, such as mean and standard

deviation, were used to summarize the data. Inferential statistics were employed using Pearson's correlation coefficient to explore relationships between variables. The results showed that all participants were male, single, mostly classified as obese level 1, and had no chronic diseases. The workers were found to be at risk of injuries in areas such as the neck, shoulders, torso, thighs, knees, back, and hands/wrists due to their work postures. Additionally, they had to stand and walk for more than six hours per day. The analysis revealed a statistically significant correlation between age and the prevalence of musculoskeletal disorders. The ergonomic risk assessment using REBA indicated a high level of ergonomic risk, warranting immediate intervention. To address this, the workstation was improved by installing a monorail crane to assist with lifting heavy items. After the ergonomic intervention and posture adjustments, the ergonomic risk level decreased to a low level. This indicates that the ergonomic risks in the instant coffee mixing workstation significantly reduced following the redesign and ergonomic intervention.

Keywords : Risk assessment, Ergonomics, Coffee mixing station

บทนำ

การยศาสตร์ เป็นศาสตร์ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งต่างๆ รอบตัว เพื่อนำไปสู่การออกแบบที่ช่วยให้มนุษย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย โดยยึดหลักการสำคัญคือ การออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลางหรือปรับงานให้เข้ากับคนทำงาน ไม่ใช่ปรับคนให้เข้ากับงาน [1] หากละเลยหลักการยศาสตร์ อาจทำให้เกิด ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (MSDs) ซึ่งส่งผลกระทบต่อกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น เส้นประสาท และข้อต่อ หากปล่อยทิ้งไว้ อาจกลายเป็นโรคเรื้อรัง รบกวนการใช้ชีวิตประจำวันได้ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และสร้างความพึงพอใจในการทำงานให้กับพนักงาน [2] ดังนั้นการปรับปรุงท่าทางในการทำงานของพนักงานจึงต้องใช้หลักวิศวกรรมเข้ามาเกี่ยวข้องรวมไปถึงการออกแบบเครื่องมือ อุปกรณ์ ในการทำงานให้เหมาะสมกับบุคคลและพื้นที่ทำงาน ทฤษฎีการออกแบบตามสรีระ (Anthropometric Design) ทฤษฎีการออกแบบตามจิตวิทยา (Psychological Design) และทฤษฎีการออกแบบตามสรีรวิทยา (Physiological Design) เน้นการออกแบบที่คำนึงถึงปัจจัยทางสรีรวิทยา [3] [4] ศึกษาการวิเคราะห์งานด้านการยศาสตร์ของสถานีงานควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าโรคระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน (MSDs) เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคนทำงาน พนักงานมักต้องทำงานด้วยท่าทางที่อึดอัดและไม่สะดวกสบาย ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรค MSDs ได้ ซึ่งการประเมิน MSDs แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่ม A ประกอบด้วย การประเมินคอ ลำตัว และขา และกลุ่ม B ประกอบ ด้วยการประเมินส่วนแขนและข้อมือ โดยทำการประเมินทั้งหมด 6 ขั้นตอน และ Sue Hignett และ Lynn McAtamney [5] ได้ค้นพบเครื่องมือประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ Rapid Entire Body Assessment (REBA) และเผยแพร่ในปี ค.ศ. 1999 ในวารสาร Applied Ergonomics โดย REBA ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขจุดอ่อนของแบบประเมิน OWAS ที่มีรายละเอียดการประเมินน้อย โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบประเมินที่สามารถประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในหลายด้าน ครอบคลุมการประเมินร่างกายเป็นส่วนๆ และเปรียบเทียบกับแนวอ้างอิง มีการให้คะแนนตามลักษณะการใช้งานของกล้ามเนื้อ ทั้งแบบอยู่นิ่ง (Static)/แบบเคลื่อนที่ (Dynamic) และแบบเคลื่อนไหวเร็วและไม่มั่นคง นอกจากนี้ยังสามารถระบุแรงกระทำที่เกิดขึ้นที่ส่วนอื่นของร่างกายที่ไม่ใช่มือ สามารถระบุระดับความเสี่ยงที่ต้องดำเนินการปรับปรุง (Action level) และเป็นวิธีที่ใช้งานง่าย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน โรงงานผสมกาแฟสำเร็จรูปมีความเสี่ยงด้านการยศาสตร์เกี่ยวกับงานยก และอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ความเสี่ยงเหล่านี้สามารถนำไปสู่อาการปวดเมื่อยเรื้อรัง หรือแม้กระทั่งการบาดเจ็บที่รุนแรง ความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในงานยกที่พบในโรงงานผสมกาแฟสำเร็จรูป การยกถุงวัตถุดิบ เช่น ถุงกาแฟ เมล็ดกาแฟ หรือส่วนผสมอื่นๆ มักมีน้ำหนักมาก การยกถุงเหล่านี้ซ้ำๆ ในท่าทางที่ไม่ถูกต้อง อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บที่หลัง ไหล่ ข้อมือ และส่วนอื่นๆ ของร่างกายได้ การเคลื่อนย้ายกล่องผลิตภัณฑ์ เช่น กล่องกาแฟสำเร็จรูปที่บรรจุแล้วก็มีน้ำหนักมากเช่นกัน การยก ย้าย หรือจัดเรียงกล่องเหล่านี้อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บได้เช่นกัน การทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสม เช่น การก้มตัว เอื้อมตัว หรือบิดตัวในขณะยกของ เป็นท่าทางที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องทำซ้ำๆ เป็นเวลานาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาและประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของพนักงานโรงงานผลิตกาแฟเพื่อลดการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อ

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง (Standard Nordic questionnaires) [4] ตรวจสอบความเที่ยงเชิงเนื้อหาในแบบสอบถามทั้ง 2 ส่วน โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยจากสถานประกอบการ จำนวน 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ (Item Objective Congruence : IOC) โดยมีค่า IOC เท่ากับ 1 จำนวน 21 ข้อ และค่า IOC เท่ากับ 0.67 จำนวน 1 ข้อ และแบบประเมินการยศาสตร์ท่าทางในการทำงานแบบใช้ร่างกายทุกส่วน (REBA) [5] จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบและปรับปรุงสถานีงานแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูปและปรับท่าทางการทำงานให้เหมาะสม โดยสถานีงานติดตั้ง Monorail crane เป็นอุปกรณ์ช่วยยกแทนการใช้คนยกประชากรที่ศึกษา คือ กลุ่มพนักงานแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูป ของบริษัทฯ แห่งหนึ่ง จำนวน 6 คน ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยหรือรับการรักษาอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างที่วินิจฉัยโดยแพทย์



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ข้อมูลทั่วไปและความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย อายุระหว่าง 26-38 ปี อายุงานเฉลี่ย 5.5 ปี ส่วนใหญ่เป็นโรคอ้วนระดับ 1 อยู่ที่ร้อยละ 66.77 และปกติอยู่ที่ร้อยละ 33.33 ไม่มีโรคประจำตัว พนักงานต้องเคลื่อนไหวที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่คอ ไหล่ ลำตัว ต้นขา เข่า หลัง และมือ/ข้อมือ รวมถึงต้องยืนและเดินมากกว่า 6 ชั่วโมงต่อวัน

2. การประเมินอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง

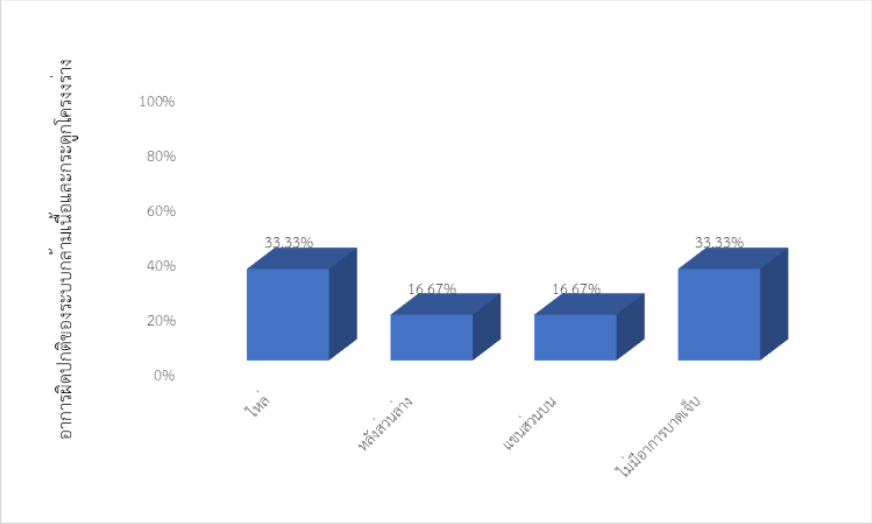
จากการสังเกตท่าทางการทำงานของพนักงานสถานีงานผสมกาแฟสำเร็จรูป จำนวน 6 คน โดยพนักงานยกถุงกาแฟจากพาเลท จำนวนถุงละ 25 กิโลกรัม จำนวน 12 ถุง ใส่ถังผสมกาแฟซึ่งลักษณะท่าทางในการทำงานแบบเดิมซ้ำๆ ในแต่ละขั้นตอนนำมาประเมินทางการยศาสตร์ โดยแบ่งการประเมินเป็น 3 ท่าทาง ดังนี้ ท่าที่ 1 ดึงและยกถุงกาแฟออกจากกล่องกระดาษ ท่าที่ 2 ยกถุงกาแฟไปยังถังผสมกาแฟ ท่าที่ 3 เทกาแฟลงถังผสมกาแฟ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงานยกถุงกาแฟก่อนปรับปรุงสถานีงาน

พนักงานยกถุงกาแฟเพื่อทำการผสมใส่ลงไปในถังผสมกาแฟ โดยกาแฟ 1 ถุงมีน้ำหนัก 25 กิโลกรัม การผสมแต่ละรอบใช้กาแฟเป็นส่วนผสม 300 กิโลกรัม (12 ถุง) โดยคะแนนการประเมินแบบสอบถามเกี่ยวกับอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง (Standard Nordic questionnaires) ผลการประเมิน พบว่า ท่าทางการยกถุงกาแฟมีความสัมพันธ์กับอาการ

ผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง โดยอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ 3 อันดับแรกคือ ไหล่ หลังส่วนล่างและแขนส่วนบน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงข้อมูลอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการปฏิบัติงานยกถุงกาแฟก่อนปรับปรุงสถานีงาน (ภาพที่ 3) แสดงข้อมูลอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน พบว่า ปัจจัยพื้นฐานที่มีค่าความสัมพันธ์กับท่าทางการทำงาน คือท่าทางที่ 2 มีความสัมพันธ์กับอายุ ($r = -0.831$, $p = 0.040$) และหลังส่วนล่าง ($r = -0.878$, $p = 0.021$) ดังนั้นเมื่ออายุมากขึ้นท่าทางการทำงานจะมีผลกระทบกับหลังส่วนล่าง ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่าทางการทำงานกับข้อมูลพื้นฐานของพนักงาน

ข้อมูลพื้นฐาน	ท่าที่ 1		ท่าที่ 2		ท่าที่ 3	
	r	p	r	p	r	p
อายุ	0.770	0.073	-0.831*	0.040	-0.646	0.165
อายุงาน	0.055	0.918	-0.640	0.171	-0.148	0.780
ดัชนีมวลกาย	0.171	0.745	-0.463	0.355	-0.463	0.355

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่าทางการทำงานกับอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง

อาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง	ท่าที่ 1		ท่าที่ 2		ท่าที่ 3	
	r	p	r	p	r	p
ไหล่	0.343	0.506	0.000	1.000	-0.463	0.355
หลังส่วนล่าง	0.542	0.266	-0.878*	0.021	0.293	0.573
แขนส่วนบน	-0.759	0.080	0.293	0.573	-0.293	0.573

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. การประเมินความเสี่ยงการยศาสตร์ท่าทางในการทำงานแบบใช้ร่างกายทุกส่วน (REBA)

จากตารางที่ 2 พบว่าอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง มีความสัมพันธ์กับท่าทางการทำงานโดยเฉพาะท่าที่ 2 ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงสถานีงานโดยการติดตั้ง Monorail crane ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยยกถุงกาแฟและเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์จากกล่องที่สามารถบรรจุกาแฟที่มีน้ำหนัก 25 กิโลกรัม เป็นถุง Big bag ที่สามารถบรรจุกาแฟได้ 300 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งสามารถลดขั้นตอนและเวลาการทำงานของพนักงานลงได้ โดยตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการปฏิบัติงานผสมกาแฟสำเร็จรูปก่อนและหลังปรับปรุงสถานีงาน ผลการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA ก่อนและหลังปรับปรุงสถานีงานพบว่ามีระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 11.17 ซึ่งอยู่ในระดับที่มีความเสี่ยงสูง หลังจากปรับปรุงสถานีงานระดับคะแนนเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 2.06 ซึ่งอยู่ในระดับน้อย แสดงให้เห็นว่า ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของสถานีงานแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูปภายหลังการปรับปรุงสถานีงานร่วมกับการปรับปรุงท่าทางในการทำงานมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 5

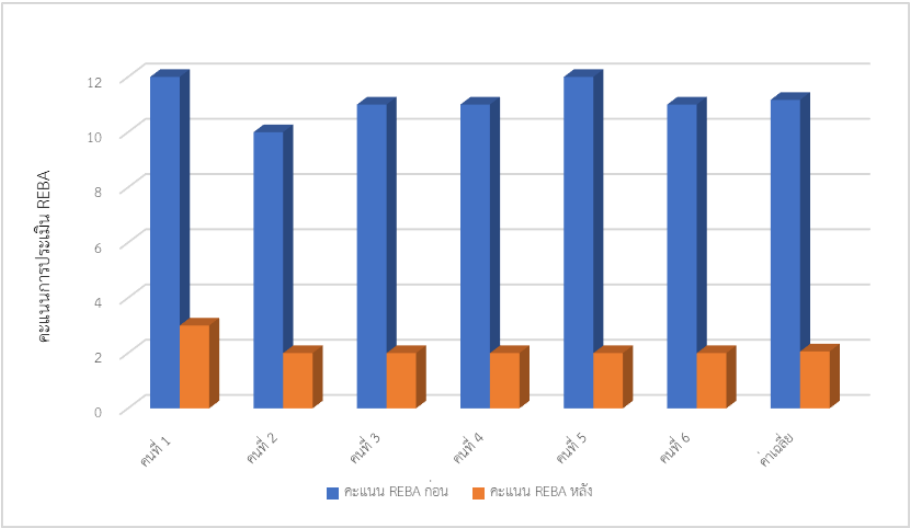


ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 3

ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงานยกถุงกาแฟหลังปรับปรุงสถานีงาน

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานผสมกาแฟสำเร็จรูปก่อนและหลังปรับปรุงสถานีงาน

ขั้นตอนการปฏิบัติงานผสมกาแฟสำเร็จรูป (ก่อนปรับปรุง)	ขั้นตอนการปฏิบัติงานผสมกาแฟสำเร็จรูป (หลังปรับปรุง)
1. ดึงและยกถุงกาแฟออกจากกล่องกระดาษ	1. พนักงานใช้ตะขอเกี่ยวถุงกาแฟเพื่อยกขึ้นสถานีผสม
2. พนักงานยกถุงกาแฟ (น้ำหนัก 25 กิโลกรัม) จากพาเลทไปยังถังผสมกาแฟ จำนวน 12 ถุง โดยยกครั้งละ 1 ถุง	2. พนักงานบังคับเครนเพื่อไปยังถังผสมกาแฟ
3. พนักงานเทกาแฟใส่ถังผสมกาแฟ	3. พนักงานใช้เครนวางถุง big bag ที่จุดวางถุงกาแฟ และเปิดปากถุงกาแฟ เทลงไปยังถังผสมกาแฟ



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการประเมิน REBA ก่อนและหลังปรับปรุงสถานีงาน

4. ผลการประเมินเวลาการทำงานของพนักงานแผนกผสมกาแฟ

ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงานของพนักงานในแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูปก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงสถานีงาน โดยใช้ Monorail crane ในการช่วยยกถุงกาแฟ พบว่า เวลาก่อนปรับปรุงพนักงานทำงาน 3 ขั้นตอน ใช้เวลารวม 444 วินาที ต่อการยก 1 ครั้ง โดยมีการยกใช้น้ำหนักรวม 300 กิโลกรัม และหลังการปรับปรุงสถานีงาน ใช้ Monorail crane ยกถุง Big bag การยก 1 ครั้ง สามารถยกกาแฟได้ 300 กิโลกรัม ใช้เวลาในการยกรวม 58 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเวลาการยกถุงกาแฟก่อนและหลังปรับปรุงสถานีงาน

ขั้นตอนการปฏิบัติงานผสมกาแฟสำเร็จรูป (ก่อนปรับปรุง)		**ขั้นตอนการปฏิบัติงานผสมกาแฟสำเร็จรูป (หลังปรับปรุง)**	
1. ดึงและยกถุงกาแฟออกจากกล่องกระดาษ	17 วินาที	1. พนักงานใช้ตะขอเกี่ยวถุงกาแฟเพื่อยกขึ้นสถานีผสม	33 วินาที
2. พนักงานยกถุงกาแฟ (น้ำหนัก 25 กิโลกรัม) จากพาเลทไปยังถังผสมกาแฟ จำนวน 12 ถุง โดยยกครั้งละ 1 ถุง	5 วินาที	2. พนักงานบังคับเครนเพื่อไปยังถังผสมกาแฟ	17 วินาที
3. พนักงานเทกาแฟใส่ถังผสมกาแฟ	15 วินาที	3. พนักงานใช้เครนวางถุง big bag ที่จุดวางถุงกาแฟ และเปิดปากถุงกาแฟ เทลงไปยังถังผสมกาแฟ	8 วินาที
เวลารวม	37 วินาที		
4. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-3 จำนวน 12 ถุง	444 วินาที		
เวลารวมทั้งกระบวนการ	**444 วินาที**		**58 วินาที**

สรุป

ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย อายุระหว่าง 26-38 ปี อายุงานเฉลี่ย 5.5 ปี ส่วนใหญ่เป็นโรคอ้วนระดับ 1 อยู่ที่ร้อยละ 66.77 และปกติอยู่ที่ร้อยละ 33.33 ไม่มีโรคประจำตัว พนักงานต้องเคลื่อนไหวที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่คอ ไหล่ หลัง แขน ข้อศอก มือ/ข้อมือ และขา รวมถึงต้องยืนและเดินมากกว่า 6 ชั่วโมงต่อวัน พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างท่าทางการทำงานกับอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง โดยเฉพาะอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บที่ไหล่ หลังส่วนล่างและแขนส่วนบน การประเมินความเสี่ยงตามการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ ซึ่งต้องรีบดำเนินการแก้ไขปรับปรุง จึงทำการปรับปรุงสถานีงานโดยการติดตั้ง Monorail crane ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยยกน้ำหนักและปรับปรุงท่าทางการทำงานให้เป็นไปตามหลักการยศาสตร์ พบว่าความเสี่ยงทางการยศาสตร์ลดลงอยู่ในระดับน้อย แสดงให้เห็นว่า ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของสถานีงานแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูปภายหลังการปรับปรุงสถานีงานร่วมกับการปรับปรุงท่าทางการทำงานมีค่าลดลง การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์นี้เป็นเพียงตัวแทนของกลุ่มพนักงานแผนกผสมกาแฟสำเร็จรูป ซึ่งถือเป็นการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจากการสังเกตท่าทางการทำงานของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาอื่นๆ สามารถนำข้อมูลไปปรับปรุง หรือประยุกต์ใช้กับลักษณะงานอื่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ได้ศึกษาประเมินและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ในกระบวนการยกเทกระสอบน้ำตาลที่ระดับความสูงแตกต่างกันด้วยการศึกษากระบวนการและออกแบบอุปกรณ์ช่วยเหลือมาปรับใช้จริง โดยทำการประเมินด้วยการใช้แบบสอบถามเพื่อวัดดัชนีความไม่ปกติ การประเมินคะแนนท่าทางการทำงานด้วยวิธีประเมินทั่วทั้งร่างกาย และการคำนวณภาระทางชีวกลศาสตร์ ประกอบกันเพื่อเป็นตัวชี้วัดความเหมาะสมในการออกแบบเครื่องมือช่วยเหลือให้ถูกต้องตามหลักทางการยศาสตร์ โดยการประเมินก่อนการปรับปรุงพบว่าลักษณะท่าทางการปฏิบัติงานมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูงมากและต้องทำการปรับปรุงแก้ไขในทันที และยังสอดคล้องกับ [7] การประเมินท่าทางการทำงานโดยใช้แบบประเมิน REBA ผลการประเมินพบว่างานยก 4 ท่าทางมีคะแนนความเสี่ยงมากกว่า 10 หมายถึง มีความเสี่ยงสูงมากต้องได้รับการแก้ไขหรือปรับปรุงโดยเร็ว และเมื่อนำคะแนนความเสี่ยงของส่วนของร่างกายที่มีคะแนนความเสี่ยงสูงของแต่ละวิธีการประเมินมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ในแต่ละงานที่มีความเสี่ยงสูงจะมีคะแนนความเสี่ยงสูงบริเวณลำตัวหรือหลัง มือ ข้อมือ ขา และแขนส่วนบน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอาการบาดเจ็บและปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทำงานของพนักงานที่ได้จากแบบสอบถามอาการบาดเจ็บที่เกิดจากการทำงาน และพบว่า พนักงานโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำงานยกต่อเนื่องอย่างน้อย 1 ชั่วโมงต่อวันโดยทำงานกับเครื่องจักรลำเลียง มีความล้าของกล้ามเนื้อบริเวณหลัง

เกิดขึ้นความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อในกลุ่มที่มีความเมื่อยล้ามีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่มีความเมื่อยล้า ทำให้ความสามารถในการออกแรงลดลง [8]

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระเรื่อง การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์สถานีงานแผนกผสมกาแฟก่อนและหลังปรับปรุง ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาจากบริษัท เอส ซี เอ็ม แอล (ประเทศไทย) จำกัด และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ศรุดา จิรัฐกุลธนา. (2564). การยศาสตร์และปัจจัยเสี่ยงทางการยศาสตร์ที่ทำให้เกิด Musculoskeletal Disorders (Ergonomics and the cause of Musculoskeletal Disorders – exposure to risk factors).

[2] จันทร์จารี เกตุมาโร. (2556). อาชีวอนามัย (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[3] Élson Marques, Rui B. Melo & Filipa Carvalho. (2017). Ergonomic Work Analysis of Industrial Quality Control Workstations. Advances in Safety Management and Human Factors, 604, 532-544.

[4] Hignett & McAtamney (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics. 31(2), 201-205.

[5] คงฤทธิ์ ภิญโญวิวัฒน์. (2561). การเปรียบเทียบผลการใช้เครื่องมือประเมินทางการยศาสตร์ระหว่าง Rapid Entire Body Assessment (REBA) และ Quick Exposure Check (QEC) ในโรงงานเหล็กแห่งหนึ่ง [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] ศิรวรรธก์ คำสาร. (2562). การประเมินและการลดความเสียงในกระบวนการยกและเทกระสอบน้ำตาลที่ระดับความสูงหลากหลายโดยใช้หลักการทางการยศาสตร์ [วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[7] รัชนีกร ชมสวน, พีรพล ขุโยชิน, นพดล สนธิ, อรอนงค์ วุฒิยากรกุลและศศิธร ลอเรนซ์ (2565). การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในงานยกม้วนฟิล์ม แพ็คฟิล์ม ของพนักงานบริษัทแห่งหนึ่ง การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 เชื่อมต่อเทคโนโลยีในวิถีชีวิตใหม่, 105-116.

[8] ปริญญาภรณ์ แก้วยศ. (2562). การประเมินภาระงานของกล้ามเนื้อและความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในพนักงานที่มีการยกลำเลียงในโรงงานอุตสาหกรรม. วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม E-Journal 4(2), 62-72.

ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ศรุดา จิรัฐกุลธนา. (2564). การยศาสตร์และปัจจัยเสี่ยงทางการยศาสตร์ที่ทำให้เกิด Musculoskeletal Disorders (Ergonomics and the cause of Musculoskeletal Disorders – exposure to risk factors). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. เผยแพร่เมื่อ 10/07/2564 (ออนไลน์) ค้นหาเมื่อ 1 ต.ค. 2567 เข้าถึงได้จากการค้นหา https://www.ohswa.or.th/Ergonomics-and-Workstation-Design-Series-EP1

21R3-10

เตาอบชุบผิวแข็งด้วยก๊าซแบบต่อเนื่องกับนโยบายความเป็นกลางทางคาร์บอน
Continuous Carburizing Furnace with Carbon neutrality.

สัญชุมากรณ์ เสงี่ยม[1]* วริษา วงศ์เจียมรัตน์[2] นพดล อุดมเวช[3] และ กมลชนก สอนสมยุค[4]
Sanchumakorn Sa-Ngiam[1]* Warisa Wongjeamrat[2] Noppadon Udomwate[3] and Kamonchanok Sonsomyuk[4]
[1]ผู้จัดการหน่วยงานความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด
โทรศัพท์ : 094-0945951, E-mail : Sanchumakorn_S@hinothailand.com
[2] วิศวกรสิ่งแวดล้อม บริษัท บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด
โทรศัพท์ : 061-6509222, E-mail : Warisa_W@hinothailand.com
[3] วิศวกรงานซ้อมและบำรุงรักษา บริษัท บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด
โทรศัพท์ : 087-1394046, E-mail : Noppadon_u@hinothailand.com
[4] วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด
โทรศัพท์ : 066-101-2200, E-mail : Kamonchanok_S@hinothailand.com

บทคัดย่อ

บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด มีเป้าหมายในการสร้างความเป็นกลางทางคาร์บอนให้บรรลุในปี ค.ศ. 2035 บริษัทจึงปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการปล่อยมลพิษในกระบวนการผลิต

ปี ค.ศ. 2023 บริษัทริเริ่มโครงการใหม่ ได้เริ่มธุรกิจการผลิตชิ้นส่วนชุดเฟืองท้ายรถยนต์ ซึ่งมีกระบวนการชุบผิวแข็งและอบโลหะ เพื่อให้ชิ้นส่วนมีความแข็งผิวสูงและทนต่อการสึกหรอได้ดี โดยบริษัทเลือกใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ปลดปล่อยมลพิษน้อยที่สุด และปรับปรุงเตาสำหรับอบเพื่อชุบแข็งชิ้นงานโดยการนำอากาศเสียและพลังงานความร้อนสูญเสียจากเตา วนกลับมาใช้ในการอุ่นชิ้นงาน ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ความร้อนจากหัวเบิร์นเนอร์แก๊ส ,ลดเวลาในการชุบแข็ง และลดการระบายมลพิษทางอากาศ และหลังจากการดำเนินการ ได้เพิ่มกลยุทธ์การปรับรูปแบบการจัดเรียงชิ้นงาน เพื่อให้สามารถลดชั่วโมงการทำงานของเตาชุบแข็งชิ้นงานลง

คำสำคัญ คำสำคัญ : พลังงานความร้อนสูญเสีย; กระบวนการชุบผิวแข็งโลหะ; ความเป็นกลางทางคาร์บอน;

Abstract

Hino Motors Manufacturing (Thailand) Ltd. aims to be carbon neutral by 2035. The company is improving its production techniques to reduce emissions.

In 2023, the company launched a new project: producing gear kit parts using a surface carburizing processes to provide high surface hardness and wear resistance. The company use the Natural gas because it emits lowest levels of pollution. The best and most advanced furnace for hardening workpieces by warming them with waste air and heat energy lost from the furnace, which can replace the usage of gas burner heat, reduce hardening time, and reduce the impact on the environment. And after the operation, the workpiece arrangement format was adjusted to reduce the working hours of the workpiece hardening furnace.

Keywords: Heat loss energy; The carburizing processes; Carbon neutrality;

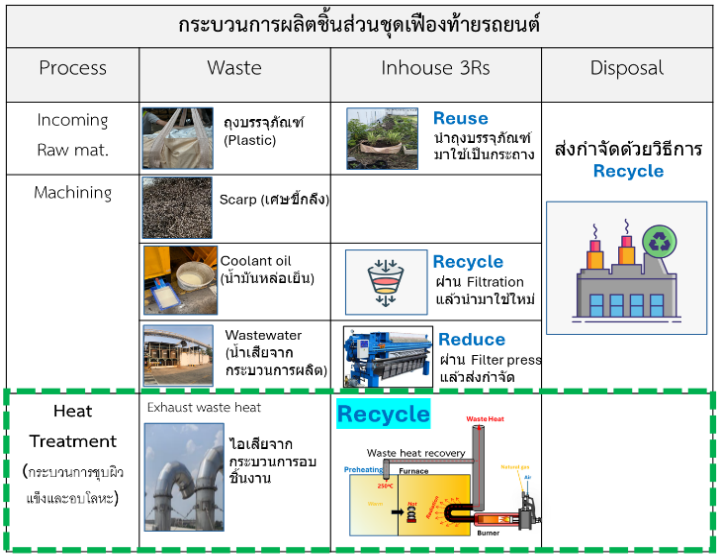
บทนำ

บริษัท ฮีโน่มอเตอร์ส แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด มีเป้าหมายในการสร้างความเป็นกลางทางคาร์บอนให้บรรลุในปี ค.ศ. 2035 บริษัทจึงมีแนวคิดปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการปล่อยมลพิษในกระบวนการผลิตให้ได้มากที่สุด ซึ่งปัจจุบันกระบวนการที่มีการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงมากที่สุดของโรงงาน อยู่ที่กระบวนการอบและชุบแข็งชิ้นงานซึ่งเป็นการเติมคาร์บอนเข้าไปที่ชั้นผิวของเหล็กกล้าเพื่อให้ชิ้นงานทนต่อการสึกหรอได้ดียิ่งขึ้นโดยวิธีการดังกล่าวเรียกว่า คาร์เบอร์ไรซิ่ง (Carburizing) จึงปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวให้ใช้พลังงานให้คุ้มค่าและลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศให้ได้น้อยที่สุด โดยใช้หลักการนำความร้อนสูญเสียที่เกินขึ้นในระบบกลับมาวนใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง และจัดรูปแบบการเรียงชิ้นงานเข้าเตาเพื่อลดชั่วโมงการเปิดเตาลง โดยที่ยังสามารถผลิตชิ้นงานได้ตามแผนการผลิต

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตของการออกแบบและการศึกษาในการปรับปรุงพิจารณาตั้งแต่การออกแบบสืบเนื่องมาจาก กระบวนการชุบแข็งดังกล่าวเดิมมีอยู่ที่ บริษัทแม่ที่ประเทศญี่ปุ่น เมื่อต้องมีการดำเนินธุรกิจการผลิตชิ้นส่วนชุดเฟืองท้ายรถยนต์ ซึ่งมีกระบวนการชุบผิวแข็งและอบโลหะ จึงทำการออกแบบการหมุนเวียนพลังงานความร้อนนำมาอุ่นชิ้นงาน ทดแทนการอุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาโดยอาศัยความร้อนจากหัวเบิร์นเนอร์แก๊ส และหลังจากการผลิตคงที่ ได้มีการจัดเรียงรูปแบบการวางชิ้นงานในเตาให้สามารถลดชั่วโมงการทำงานลง ซึ่งพิจารณาจากความจุของเตาเพื่อจัดสรรการนำชิ้นงานเข้าเตาอบเพื่อชุบแข็งชิ้นงาน

และวิเคราะห์การลดการใช้พลังงานโดยเปรียบเทียบกลับกระบวนการชุบผิวแข็งและอบโลหะที่บริษัทแม่ประเทศญี่ปุ่น และนำมาแปลงเป็นค่าก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emissions) ที่ลดลงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission factor) ในการประเมิน [1], [2]



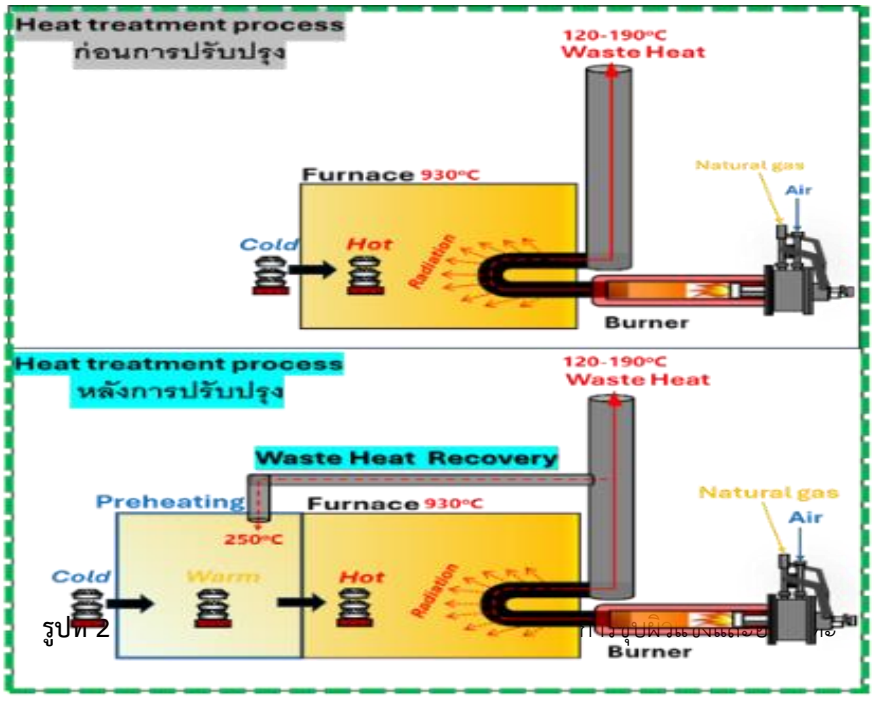
รูปที่ 1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนชุดเฟืองท้ายรถยนต์, ของเสียที่เกิดขึ้นและการจัดการของเสียในกระบวนการผลิต

ผลการทดลองและวิจารณ์

1.การปรับปรุงการวนความร้อนสูญเสียนำกลับมาอุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตา หลังจากการปรับปรุงนำความร้อนที่สูญเสียออกจากเตานำกลับมาเพื่ออุ่นชิ้นงาน ทำให้สามารถลดระยะเวลาชิ้นงานที่อยู่ภายในเตาให้น้อยลงและขณะเดียวกันก็ยังเป็นการรักษาอุณหภูมิภายในเตาให้คงที่ จึงสามารถลดการสูญเสียความร้อนภายในเตาอบเพื่อชุบแข็งชิ้นงานลงได้ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงการออกแบบกระบวนการชุบผิวแข็งและอบโลหะ

	ก่อน	หลัง
แหล่งพลังงาน	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซธรรมชาติ
วิธีการ	ไม่มีการอุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาอบชิ้นงาน	เลือกใช้เตาที่มีการติดตั้ง Waste Heat recovery
	การให้ความร้อนกับชิ้นงานอุณหภูมิห้อง โดยใช้ความร้อนจากหัวเบิร์นเนอร์	วนความร้อนสูญเสีย Recycle กลับมาสำหรับอุ่นชิ้นงานก่อน Preheating โดยชิ้นงานอุ่นขึ้นดูดซับพลังงานความร้อนน้อยลง สามารถยกเลิกหัวเบิร์นเนอร์ในการให้ความร้อนได้จำนวน 2 หัว
Cycle time	17 นาที	12 นาที
พลังงานความร้อน	1,158,000 kcal/h	1,112,000 kcal/h
CO2 emission	210.37 tonCO2/month	173.63 tonCO2/month



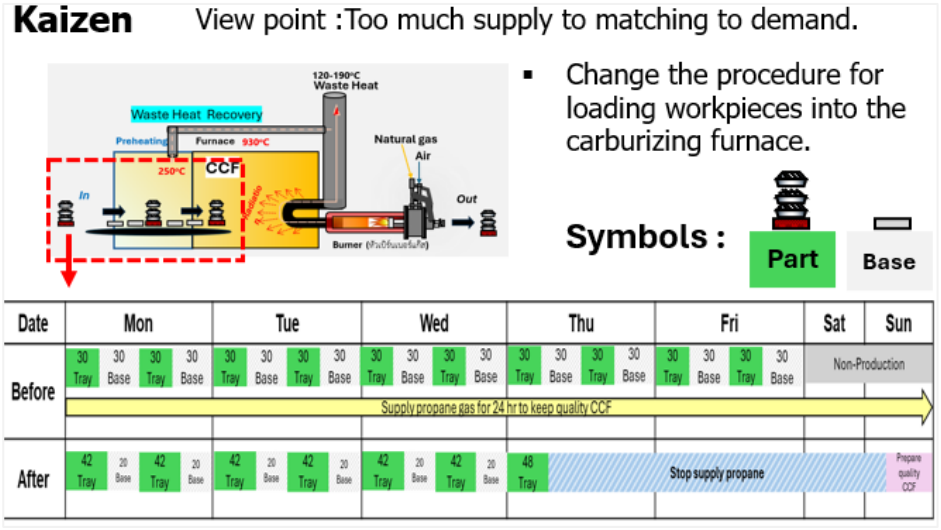
รูปที่ 2 การชุบผิวแข็งและอบโลหะ

ผลการทดลองและวิจารณ์ (ต่อ)

2. การจัดเรียงรูปแบบการวางชิ้นงานเข้าเตาและจัดสรรพื้นที่ในการวางชิ้นงานให้สามารถใช้ความจุของเตาให้ได้มากที่สุด เพื่อลดชั่วโมงการทำงานของเตา

จากเดิมจัดชิ้นงานเข้าเตาถาดละ 30 ชิ้น จำนวนสองกะการทำงาน และเปิดเตาจำนวน 5 วันต่อสัปดาห์

หลังจากจัดเรียงใหม่ จัดชิ้นงานเข้าเตาถาดละ 42 ชิ้น จำนวน สองกะการทำงาน และเปิดเตา 4 วันต่อสัปดาห์ โดยที่ยอดการผลิตเท่าเดิมแต่จำนวนวันในการเปิดเตาลดลง ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงได้ โดยอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมตามรูปภาพด้านล่าง



ตารางที่ 2 ตารางการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับรูปแบบการเรียงชิ้นงานเข้าเตา

	ก่อน	หลัง
ปริมาณการผลิต	300 ถาด	300 ถาด
ชั่วโมงการเปิดเตา	12.8 ชั่วโมง/วัน (5 วัน/สัปดาห์)	12.8 ชั่วโมง/วัน (4 วัน/สัปดาห์)
ชั่วโมงการจ่ายก๊าซ	7 วัน/สัปดาห์	4 วัน/สัปดาห์
ก๊าซธรรมชาติ	1,635,289.69 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน/เดือน	1,353,710.75 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน/เดือน
ไฟฟ้า	203,541.10 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน	159,403.50 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน

สรุป

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตอบและชุบแข็งผิวชิ้นงานโดยการวนความร้อนสูญเสียออกจากเตานำมาอุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาอบชิ้นงานจริงทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 942.8 tonCO2 eq ต่อปี และสามารถลดรอบการผลิตจาก 17 นาทีต่อรอบการผลิต เป็น 12 นาทีต่อรอบการผลิต

เอกสารอ้างอิง

[1] Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5

[2] IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE

20P-01

การคัดกรองเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกจากวัสดุเพาะเห็ด *Lentinus squarrosulus* Mont. เหลือทิ้ง

Screening of lignocellulolytic enzymes from spent mushroom substrate of *Lentinus squarrosulus* Mont.

วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์ จิราภา เกตุนาค และ ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด*
Watcharaporn Tantipanathip Chirapha Ketnak and Pradinunt Eiamsa-ard*
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
พระนครศรีอยุธยา 13000
*โทรศัพท์ : 08 3190 8907, E-mail : pradinunt.e@aru.ac.th

บทคัดย่อ

วัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งเป็นของเสียทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส ซึ่งมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะการผลิตเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์จากสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่ได้จากการสกัดวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งด้วยน้ำกลั่นและสารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส แลคเคส และอะไมเลส โดยศึกษาการย่อยสับสเตรท 0.5% carboxymethyl cellulose (CMC), 0.2 mM 2,2'-azino-bis 3 ethylbenzothiazoline -6-sulphonic acid (ABTS) และสารละลายน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 0.5% ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก ซึ่งสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นแสดงกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสและแลคเคส ได้สูงกว่าการใช้สารละลาย 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) ในขณะที่เอนไซม์อะไมเลสแสดงค่ากิจกรรมสูงสุดในสารสกัดหยาบเอนไซม์จากสารละลายบัฟเฟอร์ ทั้งนี้พบว่าจากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงแนวทางการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดขอนขาวในการพัฒนาเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์ทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : วัสดุเพาะเห็ดเหลือทิ้ง; เห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont.); เอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก

Abstract

The spent white oyster mushroom substrate (*Lentinus squarrosulus* Mont.) cultivation is an agricultural waste rich in lignocellulose components, which is highly promising for further applications, notably in the generation of lignocellulolytic enzymes. This research aimed to investigate the enzyme activities in crude extracts from spent mushroom substrate extracted with distilled water and 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 7.3). The activities of cellulase,l accase and amylase enzyme were determined based on their respective abilities to degrade 0.5% carboxymethyl cellulose (CMC), 0.2 mM 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) and 0.5% starch. The results showed that crude enzyme extracts from the spent mushroom substrate exhibited lignocellulolytic enzyme activities. Notably, the obtained enzyme extracts with distilled water exhibited the high level of cellulase and laccase activities compared to an extract using 0.1 M sodium phosphate buffer (pH

7.3), while the highest amylase activity was observed in buffer-based extractions. The overall study was suggested the potential approach for value-added utilization of spent white oyster mushroom substrate as an alternative enzyme production source for future industrial applications.

Keywords : spent mushroom substrate; white oyster mushroom (*Lentinus squarrosulus* Mont.); lignocellulolytic enzymes

บทนำ

เห็ดที่รับประทานได้ (edible mushroom) เป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากลักษณะเด่นด้านรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะสายพันธุ์แล้วนั้น ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ที่แสดงสมบัติทางเภสัชวิทยาและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอีกด้วย เช่น เบต้ากลูแคน (β-glucan) พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) เทอร์พีนอยด์(terpenoids) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเสริมภูมิคุ้มกัน ต้านอนุมูลอิสระ ต้านอักเสบ ต้านมะเร็ง และลดระดับคอเลสเตอรอล [1, 2] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะปลูกเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont.) ที่พบได้ในหลายประเทศ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยโปรตีน เส้นใย วิตามิน และแร่ธาตุหลายชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดขอนขาวสามารถเจริญได้ดีในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว ซังข้าวโพด และขี้เลื่อย ซึ่งเป็นกลุ่มวัสดุอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสสูง [3, 4] โดยทั่วไปการเตรียมวัสดุเพาะเห็ดมักใช้ชีวมวลจากพืชโดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งประกอบด้วยสารประกอบลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีความต้านทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพตามธรรมชาติ การเลือกใช้วัสดุเพาะเห็ดที่เหมาะสมมีผลต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ด (mycelium growth) น้ำหนักผลผลิต สัดส่วนของโปรตีนในดอกเห็ด และปริมาณผลผลิตโดยรวม [5] อย่างไรก็ตามหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตเห็ดแล้ว วัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด (spent mushroom substrate, SMS) จัดเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับเกษตรกร เนื่องจากต้องจัดหาวิธีการกำจัดอย่างเหมาะสม ทั้งในด้านพื้นที่จัดเก็บและต้นทุนการดำเนินการ อีกทั้งกระบวนการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic degradation) ที่เกิดขึ้นจากการกองวัสดุเพาะเห็ดที่ถูกทิ้งไว้โดยไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม [6] จึงนำไปสู่ความสนใจในการเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก เช่น เซลลูเลส (cellulase) แลคเคส (laccase) และลิกนินเพอร์ออกซิเดส (lignin peroxidase) ที่ได้รับความสนใจอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดยังคงมีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่สามารถนำมาใช้ผลิตเอนไซม์เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายชีวมวล และมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตพลังงานชีวภาพ การบำบัดของเสีย การฟอกเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์เหล่านี้ไม่เพียงแต่เป็นการลดของเสียทางการเกษตรเพียงเท่านั้น ยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง นำไปสู่การส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนอีกด้วย [7, 8] รายงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดหลายชนิด เช่น การสกัดเอนไซม์จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดนางฟ้าภูฏานดำ *Pleurotus ostreatus* และประยุกต์ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมปาล์ม (palm oil mill effluent, POME) โดยให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 302.78 ml H_2 L^{-1} POME หรือคิดเป็น 83.52% ซึ่งจากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในสารสกัดพบกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกประกอบด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ไซแลเนส (xylanase) แลคเคส (laccase) เอนโดกลูคาเนส (endoglucanase) ลิกนินเพอร์ออกซิเดส (lignin peroxidase) และเบต้า-กลูโคซิเดส (β-glucosidase) [9]

ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีการเพาะเห็ดหลากหลายสายพันธุ์โดยเกษตรกรในท้องถิ่น เช่น เห็ดขอนขาว เป็นต้น ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตยังขาดกระบวนการจัดการวัสดุเพาะเห็ดที่เหมาะสม ทำให้เกิดของเสียทางการเกษตรจำนวนมาก จากประเด็นดังกล่าวจึงเกิดความสนใจในการศึกษาศักยภาพของสารสกัดหยาบจากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งในการแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก ได้แก่ เซลลูเลส (cellulase) อะไมเลส (amylase) และแลคเคส (laccase) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งส่งเสริมการเพิ่มมูลค่า และพัฒนาเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมชีวภาพอย่างยั่งยืนในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้ง

เก็บตัวอย่างวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้ง (spent mushroom substrate, SMS) จากโรงเพาะเลี้ยงเห็ดขอนขาวในพื้นที่ตำบลโพสาวหาญ อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยพิจารณาเลือกวัสดุเพาะเห็ดที่ไม่ได้เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว มีลักษณะเป็นก้อนในบรรจุภัณฑ์เพาะเลี้ยงที่สมบูรณ์ เก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิด และเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมสารสกัดหยาบเอนไซม์

สกัดสารสกัดหยาบเอนไซม์จากตัวอย่างวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งด้วยน้ำกลั่น และสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate (pH 7.3) อัตราส่วน 1:3 โดยชั่งน้ำหนักวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้ง 50 g ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 500 ml ที่มีน้ำกลั่นหรือสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate (pH 7.3) ปริมาตร 150 ml เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกตะกอนออกด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น และนำส่วนสารละลายมาปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่อุณหภูมิ 4°C ความเร็วรอบ 9,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำส่วนใสที่ได้มากรองด้วยตัวกรองสารละลาย (0.2 μm minisart syringe filter) เก็บรักษาตัวอย่างสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำไปทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกในขั้นตอนถัดไป [7, 10]

3. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติกขั้นต้นจากสารสกัดหยาบเอนไซม์ด้วยวิธี Plate diffusion assay

3.1 การศึกษากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase activity)

เตรียมสับสเตรท 0.5% carboxymethyl cellulose (CMC) โดยละลาย CMC ในน้ำกลั่น และผสมผงวุ้นที่ความเข้มข้น 2% นำไปทำให้ปราศจากเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเทลงจานเพาะเชื้อและพักให้วุ้นแข็งตัว จากนั้นเจาะหลุมสับสเตรท CMC ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm หยดสารสกัดหยาบเอนไซม์ปริมาตร 20 µl ทั้งที่สกัดด้วยน้ำกลั่นหรือสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate (pH 7.3) บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นเททับบนผิวหน้าซับสเตรท CMC ด้วยสารละลาย สีย้อมคองโกเรด สังเกตการเกิดวงใส (clear zone) บริเวณรอบหลุมที่มีสารสกัดหยาบเอนไซม์ ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ [7]

3.2 การศึกษากิจกรรมเอนไซม์แลคเคส (Laccase activity)

เตรียมสับสเตรท 0.2 mM 2,2'-azino-bis 3 ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) โดยละลาย ABTS และผสมผงวุ้นที่ความเข้มข้น 2% นำไปทำให้ปราศจากเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเทลงจานเพาะเชื้อและพักให้วุ้นแข็งตัว จากนั้นเจาะหลุมสับสเตรท ABTS ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm หยดสารสกัดหยาบเอนไซม์ปริมาตร 20 µl ทั้งที่สกัดด้วยน้ำกลั่นหรือสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate (pH 7.3) บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเกิดวงสีเขียวเข้มบริเวณรอบหลุมที่มีสารสกัดหยาบเอนไซม์ บันทึกผลโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงสีเขียวเข้ม ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ [7, 11]

3.3 การศึกษากิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส (Amylase activity)

เตรียมสับสเตรทน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 0.5% และผงวุ้นที่ความเข้มข้น 2% ผสมให้เข้ากันในน้ำกลั่นก่อนนำไปทำให้ปราศจากเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเทลงจานเพาะเชื้อและพักให้วุ้นแข็งตัว จากนั้นเจาะหลุมสับสเตรทที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm หยดสารสกัดหยาบเอนไซม์ปริมาตร 20 µl ทั้งที่สกัดด้วยน้ำกลั่นหรือสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate (pH 7.3) บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นเททับบนผิวหน้าซับสเตรทด้วยสารละลายไอโอดีน สังเกตการเกิดวงใส (clear zone) บริเวณรอบหลุมที่มีสารสกัดหยาบเอนไซม์ ดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ[7]

ผลการทดลองและวิจารณ์

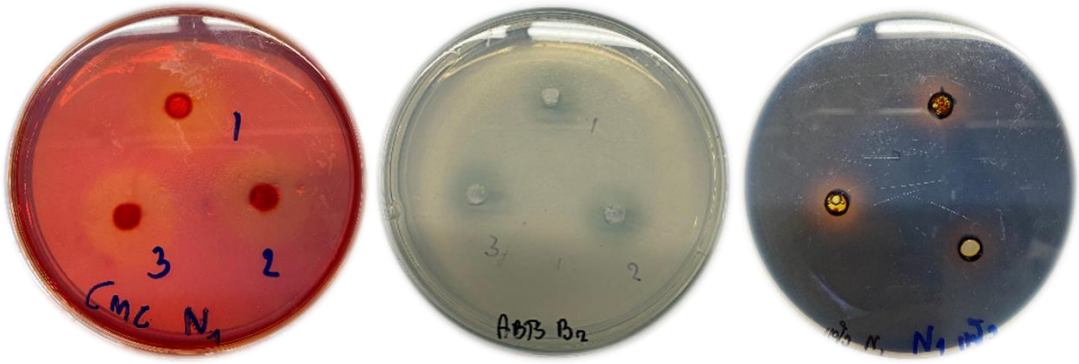
เอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก (lignocellulolytic enzymes) ประกอบด้วยเอนไซม์ 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ เซลลูเลส (cellulases) เฮมิเซลลูเลส (hemicellulases) และลิกนินเนส (ligninases) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายองค์ประกอบหลักของวัสดุลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามลำดับ การทำงานร่วมกันของเอนไซม์ในกลุ่มนี้มีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมชีวภาพ เช่น การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สารเคมีชีวภาพ รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร สิ่งทอ และผลิตภัณฑ์กระดาษ ที่มีความต้องการผลิตอย่างต่อเนื่อง [12] ในการทดลองครั้งนี้จึงสนใจศึกษาศักยภาพของวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งในการเป็นแหล่งของเอนไซม์ในกลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก ได้แก่ เซลลูเลส แลคเคส และอะไมเลส ด้วยการคัดกรอง

กิจกรรมของเอนไซม์จากสารสกัดหยาบเอนไซม์ด้วยวิธี Plate diffusion assay ผลการทดสอบพบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและสารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) แสดงกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส แลคเคส และอะไมเลส จากการย่อยสับสเตรท 0.5% carboxymethyl cellulose (CMC), 0.2 mM 2,2'-azino-bis 3 ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) และ น้ำแป้งที่ความเข้มข้น 0.5% ตามลำดับ (รูปที่ 1) จากการศึกษาผลการทดสอบกิจกรรมการย่อยสับสเตรทในภาพรวมพบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นแสดงกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส และแลคเคสได้สูงกว่าการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) โดยพบว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสรอบบริเวณทดสอบการย่อยสับสเตรท 0.5% CMC ของสารสกัดหยาบเอนไซม์ด้วยน้ำกลั่นและสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ 1.87±0.025 cm และ 1.61±0.04 cm ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงสีเขียวเข้มรอบบริเวณทดสอบการย่อยสับสเตรท 0.2 mM ABTS ที่แสดงค่าเท่ากับ 1.19±0.015 cm และ 0.87±0.025 cm เมื่อทดสอบด้วยสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและสารละลายบัฟเฟอร์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสรอบบริเวณทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส ในการย่อยน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 0.5% เท่ากับ 0.73±0.04 cm และ 0.55 ±0.021 cm ในการทดสอบด้วยสารสกัดหยาบเอนไซม์จากการสกัดด้วยสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) และน้ำกลั่น ซึ่งให้ผลการทดสอบที่แตกต่างจากกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสและแลคเคส (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการย่อยสับสเตรทของสารสกัดหยาบเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้ง

สับสเตรท	น้ำกลั่น	สารละลาย 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3)
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)
0.5% CMC	1.87 ± 0.025	1.61 ± 0.040
0.2 mM ABTS	1.19 ± 0.015	0.87 ± 0.025
สารละลายน้ำแป้ง 0.5%	0.55 ± 0.021	0.73 ± 0.040

หมายเหตุ CMC = carboxymethyl cellulose, ABTS = 2,2'-azino-bis 3 ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid



(a) (b) (c)

รูปที่ 1 กิจกรรมการย่อยสับสเตรทของสารสกัดหยาบเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้ง (a) การเกิดวงใสรอบหลุมทดสอบการย่อยสับสเตรท 0.5% CMC, (b) การเกิดวงสีเขียวเข้มรอบหลุมทดสอบการย่อยสับสเตรท 0.2 mM ABTS และ (c) การเกิดวงใสรอบหลุมทดสอบการย่อยน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 0.5%

จากผลการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้ง (spent mushroom substrate; SMS) ที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำกลั่น แสดงกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสและแลคเคสสูงกว่าการสกัดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) อย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณการย่อยสับสเตรท 0.5% CMC และ 0.2 mM ABTS ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของสภาวะที่มีในการสกัด เช่น pH อุณหภูมิ ระยะเวลา รวมทั้งชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยการสกัดเอนไซม์แลคเคสจากวัสดุเพาะเห็ดนางรม

เหลือทิ้ง (*Pleurotus* spp.) โดยใช้สารละลาย Sodium acetate buffer (pH 5.0) ซึ่งพบว่าสภาวะการสกัด ได้แก่ pH และอุณหภูมิ มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าการสกัดที่ pH 6 - 8 และอุณหภูมิ 50 – 65°C ให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์แลคเคสสูงสุด [13] นอกจากนี้ยังพบรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารละลาย Sodium citrate buffer (pH 4.8) ในการสกัดเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดนางรมขาวเหลือทิ้ง (*Pleurotus florida*) ซึ่งแสดงค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายชนิดอื่น แสดงให้เห็นถึงผลของสภาวะในการสกัดเอนไซม์ เช่น pH และชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่สกัดได้ [14] แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์จากน้ำกลั่นอาจมีผลต่อการคงสภาพโครงสร้างของเอนไซม์เซลลูเลสและแลคเคสให้คงตัวและแสดงกิจกรรมการย่อยสับสเตรทได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของบัฟเฟอร์อาจมีผลต่อความคงตัวของโปรตีน [15] ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงปัจจัยและสภาวะที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์จากวัสดุเพาะเห็ดเหลือทิ้งที่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเอนไซม์ รวมทั้งการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตของเอนไซม์ที่มีความบริสุทธิ์และกิจกรรมสูง เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมชีวภาพต่อไปในอนาคต

สรุป

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์กลุ่มลิกโนเซลลูโลไลติก ได้แก่ เซลลูเลส แลคเคส และอะไมเลส จากวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งโดยการสกัดด้วยน้ำกลั่นและสารละลาย 0.1 M Sodium phosphate buffer (pH 7.3) พบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่ได้จากการสกัดด้วยทำละลายทั้งสองชนิดสามารถแสดงกิจกรรมการย่อยสับสเตรทได้โดยการทดสอบการย่อยสับสเตรท 0.5% carboxymethyl cellulose (CMC), 0.2 mM 2,2'-azino-bis 3 ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) และน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 0.5% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดเอนไซม์หยาบที่สกัดวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งด้วยน้ำกลั่นให้กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสและแลคเคสสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ในขณะที่เอนไซม์อะไมเลสของสารสกัดหยาบเอนไซม์ที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์แสดงค่ากิจกรรมสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อความคงตัวและการแสดงกิจกรรมของเอนไซม์แต่ละชนิด แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองในครั้งนี้พบว่าวัสดุเพาะเห็ดขอนขาวเหลือทิ้งสามารถพัฒนาเป็นแหล่งทางเลือกในการผลิตเอนไซม์ที่สำคัญ นำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมชีวภาพที่มีความต้องการใช้เอนไซม์ทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของประเทศไทยอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Pérez-Chávez, A. M., Alberti, M. M., and Albertó, E. 2022. Evaluation of ligninolytic activity in spent mushroom substrate from four cultivated mushrooms. Journal of Bioresources and Bioproducts. 7(4): 288-294.

[2] Kumar, K., Mehra, R., Guiné, R. P. F., Lima, M. J., Kumar, N., Kaushik, R., Ahmed, N., Yadav, A. N., and Kumar, H. 2021. Edible mushrooms: a comprehensive review on bioactive compounds with health benefits and processing aspects. Foods. 10(12): 2996.

[3] Ugbogu, E. A., Dike, E. D., Okoro, B. C., Adurosakin, O. E., Ibe, C., Uche, M. E., Nosiri, C. I., Agim, C., Nwaru, E. C., Rahman, M. A., and Iweala, E. E. J. 2024. *Lentinus squarrosulus*: nutritional composition, phytochemistry, health-promoting activities and toxicity profile. Food and Humanity. 2: 100296.

[4] Ledoux, A. N., Idriss, N. P., Christopher, S., and Noumbo, T. G. 2020. Cultivation of *Lentinus squarrosulus* Mont. and *Lentinus sajor-caju* Fr. on agroforestry wastes under field conditions. International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. 8(2): 20-25.

[5] Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhrue, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthanarat, S., and Lumyong, S. 2020. Cultivation of mushrooms and their lignocellulolytic enzyme production through the utilization of agro-industrial waste. Molecules. 25(12): 2811.

[6] Martín, C., Zervakis, G. I., Xiong, S., Koutrotsios, G., and Strætkvern, K. O. 2023. Spent substrate from mushroom cultivation: exploitation potential toward various applications and value-added products. Bioengineered. 14(1).

[7] Vats, A., Kurade, A. S., and Mutnuri, S. 2021. Recovery of lignocellulolytic enzymes and valorization of spent mushroom substrate. Environment and Natural Resources Journal. 20(1): 1-9.

[8] Pérez-Contreras, S., Avalos-de la Cruz, D. A., Lizardi-Jiménez, M. A., Herrera-Corredor, J. A., Baltazar-Bernal, O., and Hernández-Martínez, R. 2025. Production of ligninolytic and cellulolytic fungal enzymes for agro-industrial waste valorization: trends and applicability. Catalysts. 15(1): 30.

[9] Yunan, N. A. M., Shin, T. Y., and Sabaratnam, V. 2021. Upcycling the spent mushroom substrate of the grey oyster mushroom *Pleurotus pulmonarius* as a source of lignocellulolytic enzymes for palm oil mill effluent hydrolysis. Journal of Microbiology and Biotechnology. 31: 823-832.

[10] Branà, M. T., Sergio, L., Haidukowski, M., Logrieco, A. F., and Altomare, C. 2020. Degradation of aflatoxin B1 by a sustainable enzymatic extract from spent mushroom substrate of *Pleurotus eryngii*. Toxins. 12: 49.

[11] More, S. S., Renuka, P. S., Pruthvi, K., Swetha, M., Malini, S., and Veena, S. M. 2011. Isolation, purification, and characterization of fungal laccase from *Pleurotus* sp. Enzyme Research. 2011: 248735.

[12] Benatti, A. L. T., and Polizeli, M. L. T. M. 2023. Lignocellulolytic biocatalysts: the main players involved in multiple biotechnological processes for biomass valorization. Microorganisms. 11(1): 162.

[13] Preda, M., Boiangiu, R. S., Gurban, A. M., and Miresan, V. 2020. Optimization of laccase extraction from *Pleurotus* spp. spent mushroom substrate using response surface methodology. Proceedings. 57(1): 77.

[14] Rajavat A. S, Rai S., Pandiyan K., Kushwaha P., Choudhary P., Kumar M., Chakdar H., Singh A., Karthikeyan N., Bagul S. Y., Agnihotri A., Saxena A.K. 2020. Sustainable use of the spent mushroom substrate of *Pleurotus florida* for production of lignocellulolytic enzymes. The Journal of Basic Microbiology. 60(2): 173-184.

[15] Lim, S. H., Lee, Y. H., and Kang, H. W. 2013. Extraction and characterization of hydrolytic enzymes from spent mushroom compost of *Pleurotus ostreatus*. Mycobiology. 41(4): 214-220.

20P-02

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องกร กรณีศึกษาการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

Carbon footprint Assessment of an organization: A case study on fuel consumption for student vehicles at Rajamangala University of Technology Lanna, Tak

ยุทธนา ศรีอุดม[1*] เจษฎา วิเศษมณี[2] สังคม สัพโส และอนุรัตน์ เทวตา[3]
Yuttana Sriudom[1] Jessada Visadmanee[2] Sangkom Suppaso[3] and Anurat Tewata[4]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ตาก 63000
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์; [3,4]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ตาก 63000
*โทรศัพท์ : 0 5551 5900, โทรสาร : 0 5551 1833, E-mail : Yuttana.sriudom@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องกร กรณีศึกษา การใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ระหว่างเดือนมกราคม 2567 ถึง ธันวาคม 2568 จำนวน 4 คณะ ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร และ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ จำนวนนักศึกษาทั้งสิ้น 600 คน โดยแบ่งเป็นชาย 420 คน หญิง 180 คน เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศในระดับองค์กร โดยผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า นักศึกษามีการใช้รถยนต์ และรถจักรยานยนต์ จำนวน 35 คัน และ 586 คัน ตามลำดับ มีปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตลอดทั้งปีของรถยนต์ ประกอบไปด้วย ดีเซล แก๊สโซฮอล์ 95 และ แก๊สโซฮอล์ E20 จำนวน 323 ลิตร 222 ลิตร และ 808 ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี เท่ากับ 0.87, 0.47 และ 1.56 ตามลำดับ และ มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตลอดทั้งปีของรถจักรยานยนต์ ประกอบไปด้วย เบนซิน 95 แก๊สโซฮอล์ 95 แก๊สโซฮอล์ 91 แก๊สโซโฮอล์ E85 และ แก๊สโซฮอล์ E20 จำนวน 445 ลิตร 999 ลิตร 2,764 ลิตร 52 ลิตร และ 17,056 ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี 0.99, 2.10, 5.81, 0.07 และ 20.55 โดยผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จากกรณีการใช้รถยนต์ และรถจักรยานยนต์มีค่า เท่ากับ 2.94 Ton CO_2e/yr. และ 29.51 Ton CO_2e/yr.

คำสำคัญ : คาร์บอนฟุตพริ้นท์; องกรณ์; เชื้อเพลิง; การประเมิน

Abstract

The aimed of this research to assess the carbon footprint of an organization, with a case study on fuel consumption for student vehicles at Rajamangala University of Technology Lanna, Tak. Data was collected through questionnaires regarding the amount of fuel used by students at the university between January 2024 and December 2025. The study covered four faculties: the Faculty of Engineering, the Faculty of

Business Administration and Liberal Arts, the Faculty of Science and Agricultural Technology, and the Faculty of Arts and Architecture, with a total of 600 students of 420 males and 180 females. The collected data was analyzed to determine the amount of carbon dioxide emissions at the organizational level. The findings revealed that students used 35 cars and 586 motorcycles. The total annual fuel consumption for cars included 323 liters of diesel, 222 liters of Gasohol 95, and 808 liters of Gasohol E20, which resulted in carbon dioxide equivalent (CO2e) emissions of 0.87, 0.47, and 1.56 tons per year, respectively. For motorcycles, the total annual fuel consumption included 445 liters of Benzene 95, 999 liters of Gasohol 95, 2,764 liters of Gasohol 91, 52 liters of Gasohol E85, and 17,056 liters of Gasohol E20, leading to CO2e emissions of 0.99, 2.10, 5.81, 0.07, and 20.55 tons per year, respectively. The total greenhouse gas emissions from student vehicle fuel consumption at Rajamangala University of Technology Lanna, Tak, were found to be 2.94 tons CO_2e per year for cars and 29.51 tons CO_2e per year for motorcycles.

Keywords : Carbon footprint; Organization; Fuel; Assessment

บทนำ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทั้งการใช้พลังงานการเกษตรกรรม การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่นๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งนับเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญระดับสากล ผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ทำให้ ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกตื่นตัวในการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งจากการคำนวณหาปริมาณ การติดตามตรวจสอบ การรายงานผล การทวนสอบ การปล่อย และ/หรือการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการริเริ่มแผนงานเพื่อจำกัดความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นวิธีการหนึ่งที่แสดงข้อมูลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กรจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งการผลิตและการบริการขององค์กรนั้น และจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับหน่วยงาน บริษัท โรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และระดับประเทศ อีกทั้งสามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น และช่วยเสริมสร้างศักยภาพให้แก่ผู้ประกอบการและธุรกิจของไทยให้สามารถแข่งขันได้ในเวทีการค้าโลก ตลอดจนเป็นการเตรียมความพร้อม ในกรณีที่ภาครัฐต้องรายงานปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Reporting) ขององค์กรต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางบริหาร จัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรฉบับนี้ อ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 14064-1 (2006) GHG Protocol (2001, 2004) และตัวอย่างบางส่วนจาก ISO/PDTR 14069 (2013) โดยนำมาปรับปรุงให้เข้ากับบริบทของไทย และนำเสนอสาระสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ หลักการพัฒนา และจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กรหรือบริษัท การกำหนดขอบเขต และการหาปริมาณการปล่อยหรือลดก๊าซเรือนกระจก วิธีการจัดทำรายงาน การจัดการความไม่แน่นอนของข้อมูล ตลอดจนการทวนสอบข้อมูล ดังนั้น หากองค์กรใดต้องการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร หรือแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็สามารถใช้แนวทาง ฯ ฉบับนี้ ประกอบกับการปฏิบัติตามข้อกำหนดใน ISO 14064-1 (2006) เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น จากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่กล่าวมาข้างต้น ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในรูปแบบต่าง ๆ อาทิ เช่น Suanmali and Limmechokchai (2013) [1] ได้นำแบบจำลองปัจจัยการผลิต–ผลผลิต (Input–Output Model) มาใช้ในการประเมินผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์มหภาคของนโยบายการใช้ประโยชน์เชื้อเพลิงชีวภาพต่อผลผลิตโดยรวม (Total output) และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 emissions) เพื่อใช้เป็นแนวทางการวางแผนและกำหนดนโยบายการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับประเทศไทยต่อไป Wattana (2010) [2] ได้ทำการประเมินผลกระทบผลกระทบในเชิงมหภาคของการปฏิรูปกิจการไฟฟ้าโดยได้แบ่งการพิจารณาผลกระทบออกเป็น 4 ด้าน คือ ด้านเศรษฐกิจระดับมหภาค ด้านพลังงาน ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม โดยนำเสนอในรูปแบบของดัชนีที่บ่งบอกถึงสภาพทางเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงาน เช่น ผลผลิตรายภาคการผลิต การบริโภคและการลงทุนภายในประเทศ การส่งออก-นำเข้า รายได้ทั้งของภาครัฐและภาคครัวเรือน อัตราการจ้างงานปริมาณการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองดุลยภาพพลังงาน-เศรษฐกิจ (Energy-oriented Input-Output

Model) มาใช้ในการทำการประเมินผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตทั้ง 4 ด้าน โดยระยะเวลาที่ทำการวิเคราะห์ และประเมินจะอยู่ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2553–พ.ศ.2563 Limmechokchai and Suksuntornsiri (2007) [3] ได้นำแบบจำลองปัจจัยการผลิต–ผลผลิต (Input–Output Model) มาใช้ในการประเมินผลกระทบของการน าเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินสะอาดมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยที่มีต่อการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 mitigations) ในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ.2546 – พ.ศ.2559 ตามแผน PDP2003 Kofoworola and Gheewala (2006) [4] ได้ทำการคาดประมาณความเข้มข้นในการใช้พลังงาน (Energy intensity) และความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission intensity) ของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยการนำแบบจำลองปัจจัยการผลิต–ผลผลิต (Input–Output Model) มาใช้ด้วยการนำตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Table) ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2541 และ ปี พ.ศ.2543 มาใช้ในการประเมินและวิเคราะห์ถึงลักษณะการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป Suksuntornsiri and Limmechokchai (2005) [5] ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เปลี่ยนแปลงไปของภาคการผลิตไฟฟ้าโดยพิจารณาทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการเพิ่มสัดส่วนของพลังงานทดแทนในภาคการผลิตไฟฟ้าโดยพิจารณาถึงแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า ปี พ.ศ.2544 (PDP2001) โดยได้นำแบบจำลองปัจจัยการผลิต–ผลผลิต (Input–Output Model) มาใช้ในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซทางอ้อมจากการใช้ส่วนประกอบปัจจัยการผลิตต่างๆ เช่น พลังงาน วัสดุ หรือ บริการ เป็นต้น การุณย์ ชัยวณิชย์ (2562) [6] ทำการศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในด้านปัญหาภาวะโลกร้อน โดยมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรตามแนวทางประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) จำแนกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่ ขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 คือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้เก็บข้อมูลในปี พ.ศ.2562 ผลวิจัยพบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรเท่ากับ 79.027 tCO_2e โดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 21.247 37.757 และ 20.107 tCO_2e ตามลำดับ ซึ่งขอบเขตที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรมากที่สุดถึง 47.777 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรต่อคนเท่ากับ 1.341 tCO_2e เป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นอันจะนำไปสู่การลดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฐิติกร หมายมั่น และคณะ (2559) [7] ได้จัดทำวิจัยเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยจำแนกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า และ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ตามลำดับ ทำการเก็บข้อมูลปี พ.ศ.2559 พบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย เท่ากับ 5,553.17 tCO_2e โดยขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 มีปริมาณก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1,125.77 4,383.47 และ 43.93 tCO_2e ตามลำดับ โดยขอบเขตที่ 2 เป็นกิจกรรมที่เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรมากที่สุด คิดเป็น 78.94 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อประเมินเป็นประมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรต่อคน เท่ากับ 1.61 tCO_2e ดังนั้นจึงต้องมีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเร่งด่วน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก มีเป้าหมายที่มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน รวมไปถึงการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นในระดับองค์กรของมหาวิทยาลัย เพื่อเป็นข้อมูลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศในระดับองค์กร และเพื่อการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศในมิติการจัดการโดยบุคลากร ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องกร กรณีศึกษาการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก เพื่อเป็นแนวทางในการมุ่งสู่การลดก๊าซคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero) ของมหาวิทยาลัยในภาพรวมต่อไป

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ก๊าซเรือนกระจก [8]

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือที่เรียกว่า “รังสีอินฟาเรด” ซึ่งก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ หากชั้นบรรยากาศของโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศนั้นจะทำให้อุณหภูมิตอนกลางวันร้อนจัด และตอนกลางคืนหนาวจัด แต่ถ้ามีก๊าซเรือนกระจกมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต(Kyoto Protocol) มี 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC)

และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC) เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์สารชนิดนี้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ได้ถูดจัดให้อยู่ในพิธีสารเกียวโต

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่แต่ละชนิดยังมีศักยภาพที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) ซึ่งมีค่าต่างกัน ซึ่งคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลาหนึ่ง (ดังแสดงใน**ตาราง 1**)

ตาราง 1 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

ก๊าซเรือนกระจก	GWP100 (CO_2-equivalent)
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1
ก๊าซมีเทน (CH_4)	25
ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	298
กลุ่มก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCS)	675 – 14,800
กลุ่มก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC)	7,390 – 12,200
ก๊าซซัลเฟอร์เฮ็กซะฟลูออไรด์ (SF_6)	22,800

2. หลักการแสดงผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับจากกิจกรรมขององค์กรประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 5 ประการ [8] ได้แก่

2.1 ความตรงประเด็น (Relevance) การเลือกแหล่งที่มาของข้อมูล และวิธีการคำนวณ ควรเลือกให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เก็บรวบรวมได้ ควรแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในองค์กรอย่างชัดเจน

2.2 ความสมบูรณ์ (Completeness) ปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ทำการเก็บรวบรวมได้ควรเป็นปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในองค์กร

2.3 ความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency) ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้วต้องไม่ขัดแย้งกัน

2.4 ความถูกต้อง (Accuracy) ลดความความไม่แน่นอนในการรวบรวมปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกให้ได้มากที่สุด

2.5 ความโปร่งใส (Transparency) มีการเปิดเผยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมปริมาณการก๊าซเรือนกระจกที่เพียงพอและเหมาะสม สามารถตรวจสอบข้อมูลได้เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล

3. ชนิดและหน่วยการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจก

3.1 ชนิดของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) กลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮ็กซาฟลูโอไรด์ (SF6) และก๊าซอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจก

3.2 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) โดยคำนวณได้จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปล่อยออกมา และแปลงค่าก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยจะใช้ค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปีของ IPCC (GWP 100)

3.3 หน่วยการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งจะแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจก หรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องอยู่ในหน่วยตัน (กิโลกรัม) ของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด และรวมอยู่ในหน่วยตันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าควรแสดงด้วยตัวเลขจำนวนเต็ม ในกรณีที่มีตัวเลขทศนิยม ควรปัดเศษตัวเลขให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดเลขที่มอก 999-2533

4. หลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร [8]

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มีเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง กิจกรรมต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน โดยส่งผลกระทบกับทุกส่วนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนับเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนทำให้หลาย ๆ หน่วยงาน รวมทั้งทั่วโลกตื่นตระหนกในการดำเนินงานเพื่อลด

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งจากการคำนวณปริมาณ การติดตามผล การรายงานผล การทวนสอบ การปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเริ่มแผนงานเพื่อจำกัดความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ

องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้ทำจัดโครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร แสดงผลในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) การแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับขององค์กร หรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องอยู่ในหน่วยตันคาร์บอนได้ออกไซด์เทียบเท่าปัจจุบันองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจกมีการกำหนดกิจกรรมการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยพิจารณาตามการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆภายในองค์กร อาทิ เช่น 1. การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ เช่น การผลิตไฟฟ้า ความร้อน และไอน้ำ เพื่อใช้เองภายในองค์กรหรือเพื่อการส่งออกหรือแจกจ่ายให้แก่ผู้ใช้งานนอกขอบเขตองค์กร 2. การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีภายในกระบวนการผลิต 3. การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ตัวอย่าง เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมการขนส่งของยานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของหรือเช่าเหมามาแต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง 4. การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่นๆ (Fugitive Emissions) ตัวอย่าง เช่น การรั่วซึมของสารทำความเย็นออกสู่บรรยากาศภายนอกที่ และ 5. การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ชีวมวล

ประเภทที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอก

ประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ซึ่งองค์กรสามารถวัดหรือประเมินเพื่อการรายงานผลเพิ่มเติมได้โดยไม่ถือเป็นข้อบังคับ ตัวอย่างของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ [2] ได้แก่ 1. การเดินทางของพนักงานเพื่อการประชุม สัมมนา และติดต่อธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับองค์กร ด้วยระบบการขนส่งประเภทต่างๆ เช่น ยานพาหนะส่วนตัว ยานพาหนะที่ใช้ภายในองค์กรแต่จ้างเหมารวมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภายนอกองค์กร รถไฟ เรือโดยสาร เครื่องบิน และ 2. การเดินทางไป - กลับ จากที่พักถึงองค์กรของพนักงาน ด้วยยานพาหนะส่วนตัวหรือยานพาหนะที่ใช้ภายในองค์กร แต่จ้างเหมาบริการรวมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภายนอกองค์กร

5. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ภายในองค์กร สามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลจากกิจกรรม คูณกับค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงดังสมการที่ (1)

$$CFO = GHG\ Emission = Activity\ data \times EF \qquad (1)$$

โดยที่ GHG คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

Activity data คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

EF (GHG Emission Factor) คือ ค่าคงที่ที่เปลี่ยนใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนวิธีการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องกร กรณีศึกษาการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ประกอบด้วย

1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิจัยครั้งนี้จะเริ่มจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มุ่งเน้นไปที่การใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล จากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 600 คน ของจำนวนนักศึกษาทั้งสิ้น 3,052 คน ของ 4 คณะ ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2,037 คน คณะบริหารธุรกิจและศิลปะศาสตร์ 758 คน คณะวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยีการเกษตร 216 คน และคณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ 41 คน แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อนำมารวบรวมทำรายการแสดงผลการคำนวณหาค่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรต่อไป

1.2 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ปัจจุบันองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกกำหนดการดำเนินกิจกรรมการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรโดยพิจารณาการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก 3 ขอบเขต

1.3 การคานวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยคำนวณจากสมการ (1)

2. ระยะเวลาศึกษา

ระยะเวลาดำเนินการศึกษาโดยเก็บข้อมูล และคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ในระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2567 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2567

ผลการวิจัย

1. ผลการรวบรวมข้อมูลการเดินทางของนักศึกษาตัวอย่าง ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โดยรายละเอียดผลการรวบรวมข้อมูลดัง**ตารางที่ 2 - 5**

ตารางที่ 2 จำนวนนักศึกษาประชากรตัวอย่าง คิดเป็น 20% ของนักศึกษาทั้งหมด

ประชากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร	คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์	รวม (คน)
จำนวน นศ. ทั้งสิ้น (คน)	2,037	758	216	41	3052
จำนวน นศ. ตัวอย่าง (คน)	400	150	42	8	600

ตารางที่ 3 จำนวนยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

ประเภทรถ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร	คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์	รวม (คัน)
รถจักรยานยนต์ (คัน)	389	147	40	8	584
รถยนต์ (คัน)	27	5	4	1	37

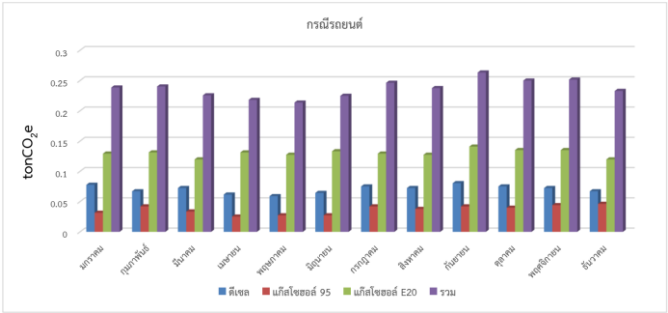
ตารางที่ 4 ประเภทของเชื้อเพลิงกรณีรถจักรยานยนต์ สำหรับยานพาหนะของของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

ประเภทของเชื้อเพลิง (รถจักรยานยนต์)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร	คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์	รวม (คัน)
เบนซิน 95	9	3	1		**13**
แก๊สโซฮอล์ 95	19	7	2		**28**
แก๊สโซฮอล์ 91	55	15	5	2	**77**
แก๊สโซโฮอล์ E85	1		1		**2**
แก๊สโซฮอล์ E20	305	122	33	6	**466**
รวม	**389**	**147**	**42**	**8**	**586**

ตารางที่ 5 ประเภทของเชื้อเพลิงกรณีรถยนต์ สำหรับยานพาหนะของของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

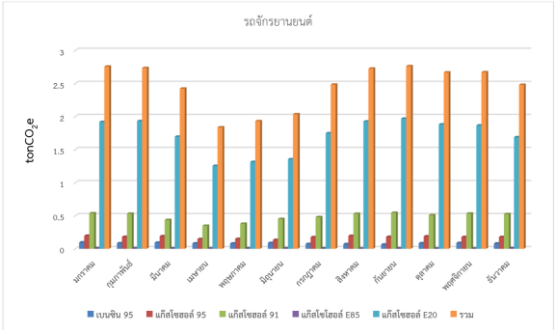
ประเภทของเชื้อเพลิง (รถยนต์)	คณะ วิศวกรรมศาสตร์	คณะบริหารธุรกิจ และศิลปศาสตร์	คณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการเกษตร	คณะศิลปกรรมและ สถาปัตยกรรมศาสตร์	รวม (คัน)
แก๊สโซฮอล์ 95	5				**5**
แก๊สโซฮอล์ E20	17	4	1	1	**23**
ดีเซล	5	1	1		**7**
รวม	**27**	**5**	**2**	**1**	**35**

2. ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร จากการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จำนวน 600 คน คิดเป็น 20% ของจำนวนนักศึกษาทั้งหมด ในระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2567 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2567 โดยรายละเอียดผลการรวบรวมข้อมูลดัง **รูปที่ 1** และ **รูปที่ 2**



รูปที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

จาก**รูปที่ 1** พบว่า ปริมาณการใช้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก กรณีรถยนต์ พบว่า ปริมาณตันคาร์บอนเทียบเท่าของเดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.23, 0.24, 0.23, 0.22, 0.21, 0.22, 0.25, 0.24, 0.26, 0.25, 0.25 และ 0.23 ตามลำดับ โดยในเดือนพฤษภาคม มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด และ ในเดือนกันยายน มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด



รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงสำหรับรถจักรยานยนต์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

จาก**รูปที่ 2** พบว่า ปริมาณการใช้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก กรณีรถจักรยานยนต์ พบว่า ปริมาณตันคาร์บอนเทียบเท่าของเดือนมกราคม ถึง

เดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 2.76, 2.74, 2.42, 1.84, 1.93, 2.04, 2.48, 2.73, 2.76, 2.67, 2.67 และ 2.48 ตามลำดับ โดยในเดือนเมษายน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด และ ในเดือนกันยายน มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด

สรุป

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ระหว่างเดือนมกราคม 2567 ถึง ธันวาคม 2568 จำนวน 4 คณะ ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร และ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ จำนวนนักศึกษาทั้งสิ้น 600 คน โดยแบ่งเป็นชาย 420 คน หญิง 180 คน เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศในระดับองค์กร โดยผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า นักศึกษามีการใช้รถยนต์ และรถจักรยานยนต์ จำนวน 35 คัน และ 586 คัน ตามลำดับ มีปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตลอดทั้งปีของรถยนต์ ประกอบไปด้วย ดีเซล แก๊สโซฮอล์ 95 และ แก๊สโซฮอล์ E20 จำนวน 323 ลิตร 222 ลิตร และ 808 ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี เท่ากับ 0.87, 0.47 และ 1.56 ตามลำดับ และ มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตลอดทั้งปีของรถจักรยานยนต์ ประกอบไปด้วย เบนซิน 95 แก๊สโซฮอล์ 95 แก๊สโซฮอล์ 91 แก๊สโซโฮอล์ E85 และ แก๊สโซฮอล์ E20 จำนวน 445 ลิตร 999 ลิตร 2,764 ลิตร 52 ลิตร และ 17,056 ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี 0.99, 2.10, 5.81, 0.07 และ 20.55 โดยผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จากกรณีการใช้รถยนต์ และรถจักรยานยนต์มีค่า เท่ากับ 2.84 Ton CO_2e/yr. และ 29.51 Ton CO_2e/yr.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้พื้นที่สำหรับจัดทำและทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Suanmali, S. and B. Limmechokchai. (2013). The Assessment of Biofuel Utilization Policy on the Total Output and CO2 Emissions in Thailand. Journal of engineering. 3(2): p. 57-64.

[2] Wattana, S. (2010), Electricity Industry Reforms in Thailand: A Comprehensive Review. Ph.D. Thesis, University of Technology, Sydney (UTS), Sydney, Australia.

[3] Limmeechokchai, B. and P. Suksuntornsiri. (2007). Assessment of cleaner electricity generation technologies for net CO2 mitigation in Thailand. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 11(2): p. 315-330.

[4] Kofoworola, O.F. and S.H. Gheewala. (2006). An Input–output Analysis of Total Requirements of Energy and Greenhouse Gases for all Industrial Sectors in Thailand. in The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE2006). Bangkok.

[5] Suksuntornsiri, P. and B. Limmeechockchai. (2005). Implications of Renewable Energy on Total CO2 Emissions in the Power Sector: The Full-Energy-Chains Analysis in Thailand. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 27(3): p. 549–562.

[6] Chaivanich, K., (2020). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธส่วน การศึกษา โรงเรียนนายร้อย พระจุลจอมเกล้า. SCIENCE AND TECHNOLOGY NAKHON SAWAN RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL. 12(15): p. 48-57.

[7] Maimun, T., et al., (2018). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. EAU Heritage Journal Science and Technology. 12(2): p. 195-209.

[8] TGO. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร พิมพ์ครั้งที่ 1 (กรกฎาคม 2554). 1 สิงหาคม 2567]; Available from : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyb Ho.

20P-03

การสำรวจอันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

A Survey of Occupational Hazards among Pottery Workers at Ban MonKhaoKaew, Pichai Subdistrict, Muang District, Lampang Province

อนิรุจน์ มะโนธรรม[1*] ศิริมา เอมวงษ์[2] ธนวรกฤต โอฬารธนพร[3] และ มัตติกา บุญมา[4]
Aniruth Manothum[1*] Sirima Emwong[2] Tanaworakit Orantanaporn[3] and Mattika Bunma[4]
[*1-4]อาจารย์ สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
โทรศัพท์ : 054-237352, โทรสาร : 054-241079, E-mail : aniruth_m@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจอันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา กลุ่มตัวอย่างเป็นคนงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาบ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 40 คน วิธีการสุ่มตัวอย่างใช้แบบเจาะจง เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การสำรวจสภาพการทำงานและแบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างรับรู้ถึงอันตรายในการทำงานในด้านกายภาพ ได้แก่ ความร้อนจากกระบวนการผลิต (ร้อยละ 65) ด้านเคมี ได้แก่ การสัมผัสควัน/ก๊าซจากการเผาชิ้นงาน (ร้อยละ 72.50) ด้านการยศาสตร์ ได้แก่ มีการบิดเอี้ยวตัวขณะทำงาน (ร้อยละ 87.50) และด้านจิตสังคม ได้แก่ ความกังวลถึงรายได้ไม่แน่นอน (ร้อยละ 90) ในส่วนพฤติกรรมด้านสุขภาพ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการดื่มแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 20) ในภาพรวมของการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นถึงอันตรายในการทำงานทั้งจากการทำงานและสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่ปลอดภัย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญในด้านสุขภาพโดยเฉพาะในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อการเสริมสร้างสุขภาวะการทำงานที่ดีของแรงงานในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : อันตรายในการทำงาน; ความเสี่ยง; เครื่องปั้นดินเผา

Abstract

This research surveyed the occupational hazards of pottery workers. The participants were 40 pottery workers at Ban MonKhaoKaew, Pichai Sub-District, Muang District, Lampang Province. The random sampling technique used was purposive random sampling. Data collection included a walkthrough survey and a questionnaire. Data was analyzed using descriptive statistics. The results revealed the sample group's perception of occupational hazards. The physical hazards mentioned were heat from the production process (65%), chemical hazards, and exposure to smoke/gas from burning workpieces (72.50%). The ergonomic hazard revealed was twisting while working (87.50%). There were psychosocial hazards and concerns about uncertain income (90%). In terms of health behavior, twenty percent of the sample group drank alcohol. Overall, the research study shows occupational hazards from both unsafe acts and unsafe conditions. Relevant agencies should give importance to health, especially in small and micro community enterprises, to sustainably promote the good working health of local workers.

Keywords : occupational hazard; risk; pottery

บทนำ

เครื่องปั้นดินเผาและเซรามิกถือเป็นงานศิลปหัตถกรรมที่มีเอกลักษณ์และความโดดเด่น ผูกพันกับวิถีไทยมายาวนาน สร้างงานสร้างรายได้ให้กับชุมชน ปัจจุบันมีการผลิตที่หลากหลายรูปแบบ ทำให้งานหัตถกรรมดังกล่าวเป็นสินค้าส่งออกที่สามารถสร้างชื่อเสียงในต่างประเทศ จากข้อมูลการส่งออกผลิตภัณฑ์ศิลปหัตถกรรมไทย ปี พ.ศ. 2565 พบว่ามีมูลค่าการส่งออกรวมถึง 340,820 ล้านบาท [1] จังหวัดลำปางมีชื่อเสียงเรื่องเครื่องปั้นดินเผาและเซรามิกด้วยปัจจัยและองค์ประกอบหลายประการที่เอื้ออำนวยต่อระบบการผลิต อาทิ เป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีคุณภาพและมีความพร้อมด้านแรงงาน หนึ่งในแหล่งผลิตงานที่มีชื่อเสียงคือชุมชนหัตถกรรมบ้านม่อนเขาแก้ว ที่อนุรักษ์สืบสานภูมิปัญญางานปั้นมาแต่บรรพบุรุษและมีการรวมกลุ่มกันอย่างแข็งแกร่ง โดยมีการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือโดยใช้แป้นหมุนเป็นตัวช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นมีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นไม่ซ้ำแบบ [2]

บ้านม่อนเขาแก้ว ตั้งอยู่ที่หมู่ที่ 3 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง หมู่บ้านดังกล่าวได้รับการจดทะเบียนให้เป็นหมู่บ้านท่องเที่ยว OTOP ของจังหวัดลำปาง มีความโดดเด่นด้านหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผามาอย่างยาวนาน ลักษณะการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแห่งนี้จะยึดรูปแบบที่สืบทอดและเรียนรู้จากรุ่นสู่รุ่นจนกลายเป็นอัตลักษณ์ของท้องถิ่น กระบวนการผลิตจะใช้วิธีการปั้นขึ้นรูปด้วยแท่นหมุนด้วยมือ ในส่วนของการเผานั้นยังคงใช้กรรมวิธีการเผาแบบโบราณด้วยการใช้ฟาง แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีจากท้องถิ่นเป็นหลัก

อย่างไรก็ตาม ลักษณะการผลิตงานในชุมชนบ้านม่อนเขาแก้ว ส่วนใหญ่จะใช้ทักษะฝีมือจากแรงงาน มีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน มีลักษณะท่าทางในการทำงานที่ไม่เหมาะสมและเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ [3] ลักษณะดังกล่าวทำให้แรงงานกลุ่มนี้มีโอกาสสัมผัสกับความเสี่ยงจากการทำงานที่ไม่ปลอดภัย คณะผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสำรวจอันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มเป้าหมาย ผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลในการพัฒนาแนวทางในการป้องกันอุบัติเหตุและโรคจากการทำงานต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้เทคนิคการสำรวจงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Walkthrough Survey) และแบบสอบถาม รายละเอียดมีดังนี้

ขอบเขตการวิจัย

1. ด้านเนื้อหา : สำรวจอันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา โดยใช้เทคนิคการการสำรวจงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานร่วมกับการใช้แบบสอบถาม

2. ด้านพื้นที่ : ใช้พื้นที่หมู่ที่ 3 บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เป็นพื้นที่ในการศึกษาวิจัย

3. ด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง : ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาคือกลุ่มแรงงานเครื่องปั้นดินเผา กลุ่มหม้อปั้นดินมือบ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง จำนวนสมาชิก 40 คน โดยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามคุณสมบัติดังนี้ (1) มีประสบการณ์ในการทำงานไม่น้อยกว่า 1 ปี (2) มีสุขภาพปกติ ไม่มีโรคประจำตัว และ (3) เป็นอาสาสมัครที่มีความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เทคนิคการสำรวจงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Walkthrough Survey) [4] ในกลุ่มแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง

3. แบบสอบถาม โดยประยุกต์จากแบบสอบถามภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงจากการทำงานและความรอบรู้ของแรงงานนอกระบบ [5] ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านการสำรวจอันตรายและสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงาน ซึ่งแบบสอบถามได้ถูกตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน วิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องด้วยค่า IOC เท่ากับ 0.96 และได้ทำการทดลองใช้แบบสอบถามกลุ่มแรงงานนอกระบบในพื้นที่อื่นเพื่อตรวจสอบความเข้าใจในแบบสอบถาม

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ผู้วิจัยติดต่อประสานงานขอเข้าเก็บข้อมูล ชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินโครงการวิจัยต่อผู้นำกลุ่มเครื่องปั้นดินเผากลุ่มหม้อปั้นดินมือ บ้านม่อนเขาแก้ว และผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่

2. สำรวจสภาพพื้นที่และบริบทในชุมชน ในชุมชนเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

3. สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล และข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงาน โดยใช้แบบสอบถาม 1 ชุดต่อคน

4. ใช้เทคนิคการสำรวจงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ในการปฏิบัติงาน เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์การทำงาน - การนวดดิน - การปั้นขึ้นรูปชิ้นงาน - การตกแต่งชิ้นงาน - การตากชิ้นงาน - การเผา – การนำผลิตภัณฑ์ออกจากการเผา

5. ตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูลที่ทำการสำรวจ และรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาวิจัยนี้ใช้เทคนิคการสำรวจงาน/สภาพแวดล้อมในการทำงานและแบบสอบถาม โดยข้อมูลการวิเคราะห์พบรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไป พบรายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของแรงงานกลุ่มตัวอย่าง (n = 40)

ปัจจัย	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	-	-
หญิง	40	100
อายุ (ปี)		
< 30	-	-
30-40	-	-
41-50	5	12.50
51-60	15	37.50
> 60	20	50.00
สถานภาพ		
โสด	3	7.50
สมรส	28	70.00
หม้าย/หย่าร้าง	9	22.50
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้เรียนหนังสือ	1	2.50
ประถมศึกษา	20	50.00
มัธยมศึกษาตอนต้น	6	15.00
มัธยมศึกษาตอนปลาย	10	25.00
ปวช./ปวส.	3	7.50
ประสบการณ์การทำงาน (ปี)		
< 5	2	5.00
5-10	2	5.00
11-15	1	2.50
16-20	5	12.50
> 20	30	75.00

จากตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 40 คน สมาชิกทั้งหมดเป็นเพศหญิง ร้อยละ 100 โดยมีอายุ > 60 ปี มากที่สุด ร้อยละ 50 สถานภาพสมรส ร้อยละ 70 ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษา ร้อยละ 50 และกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการทำงาน > 20 ปี คิดเป็นร้อยละ 75 ซึ่งรายละเอียดสำคัญในบางประเด็นพบว่ามีความสอดคล้องกับงานการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านในภาคเหนือประเทศไทย [6] ที่พบว่า ผู้ประกอบอาชีพช่างปั้นส่วนใหญ่เป็นผู้หญิงและเป็นผู้หญิงล้วนถึง 2 หมู่บ้าน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งจากการสังเกตพบว่าแรงงานหญิงสามารถทำงานได้ในทุกขั้นตอนของการผลิต นอกจากนี้ส่วนหนึ่งของการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นลักษณะงานประเภทศิลปหัตถกรรม-หัตถศิลป์ ต้องใช้ความละเอียดและระยะเวลาในการทำงานที่ต่อเนื่อง จึงมักจะพบเพศหญิงในกลุ่มแรงงานกลุ่มดังกล่าวเป็นจำนวนมาก

ข้อมูลการรับรู้อันตรายในการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง

จากการศึกษาวิจัย พบรายละเอียดของการรับรู้เกี่ยวกับปัจจัยอันตรายในการทำงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การรับรู้อันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มตัวอย่าง (n = 40)

ปัจจัยอันตราย ในการทำงาน	มี จำนวน (ร้อยละ)	ไม่มี จำนวน (ร้อยละ)
ด้านกายภาพ		
1)ความร้อนจากกระบวนการผลิต	26(65.00)	14(35.00)
2)แสงสว่างไม่เพียงพอ	8(20.00)	32(80.00)
3)อันตรายจากเครื่องมือ/อุปกรณ์	9(22.50)	31(77.50)
ด้านเคมี		
1)ฝุ่นจากวัตถุดิบ/กระบวนการผลิต	22(55.00)	18(45.00)
2)ควัน/ก๊าซจากการเผาชิ้นงาน	29(72.50)	11(27.50)
ด้านการยศาสตร์		
1)ท่าทางการทำงานซ้ำ ๆ	34(85.00)	6(15.00)
2)บิดเอี้ยวตัวขณะทำงาน	35(87.50)	5(12.50)
3)นั่งหรือยืนนาน	33(82.50)	7(17.50)
ด้านจิตวิทยาสังคม		
1)ปริมาณงานที่ทำมากไป	9(22.50)	31(77.50)
2)งานซับซ้อนเกินความสามารถ	10(25.00)	30(75.00)
3)รายได้ไม่แน่นอน	36(90.00)	4(10.00)
พฤติกรรมสุขภาพ		
1)สูบบุหรี่	-	40(100.00)
2)ดื่มแอลกอฮอล์	8(20.00)	32(80.00)

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของการรับรู้อันตรายในการทำงานของขั้นตอนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ในพื้นที่บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ดังนี้ ปัจจัยด้านกายภาพ กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 65 ระบุว่ามีการสัมผัสความร้อนจากกระบวนการทำงานในขั้นตอนการเผาชิ้นงาน และร้อยละ 22.50 พบอันตรายจากเครื่องมือและอุปกรณ์การทำงาน สำหรับปัจจัยด้านเคมี พบว่า ร้อยละ 72.50 สัมผัสควัน/ก๊าซจากขั้นตอนการเผาชิ้นงาน และร้อยละ 55 สัมผัสฝุ่นจากวัตถุดิบ/กระบวนการผลิต ในส่วนของปัจจัยด้านการยศาสตร์พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 87.50 มีลักษณะการทำงานบิดเอี้ยวตัวขณะทำงาน และรองลงมาคือ ร้อยละ 85 ทำงานด้วยท่าทางการทำงานที่ซ้ำ ๆ สำหรับปัจจัยด้านจิตวิทยาสังคม พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 90 มีการกังวลถึงรายได้ที่ไม่แน่นอน และรองลงมา ร้อยละ 25 มีการทำงานที่ซับซ้อนเกินความสามารถ และสำหรับประเด็นด้านพฤติกรรมสุขภาพ พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 20 มีการดื่มแอลกอฮอล์ ในภาพรวมชี้ให้เห็นว่า กลุ่มตัวอย่างได้รับรู้ถึงอันตรายและความเสี่ยงจากการทำงานทั้งจากการปฏิบัติงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานการศึกษาปัจจัยอันตรายในการทำงานและภาวะสุขภาพของคนงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดเชียงใหม่ ที่พบปัจจัยอันตรายในการทำงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ ฝุ่น เสียงดัง ท่าทางการทำงานซ้ำๆ และการบิดเอี้ยวตัวในขณะทำงาน [7]

โดยเฉพาะปัจจัยเสี่ยงด้านการยศาสตร์ อาทิ การบิดเอี้ยวตัวและท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมพบในรายงานการวิจัยในหลายพื้นที่ เช่น กลุ่มแรงงานผลิตเซรามิกของโรงงานในจังหวัดลำปาง ที่พบว่ากลุ่มคนงานมีความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง เนื่องจากกระบวนการผลิตฯ มีลักษณะท่าทางในการทำงานที่ไม่เหมาะสม [8] และสอดคล้องกับรายงานของกลุ่มผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพศหญิง ในจังหวัดสุโขทัยที่พบว่ามีความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างร้อยละ 72.60 และร้อยละ 59.10 ตามลำดับ [9]



รูปที่ 1 แสดงภาพตัวอย่างสภาพแวดล้อมในการทำงานของกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

สรุป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นการสำรวจอันตรายในการทำงานของแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง อาชีพเครื่องปั้นดินเผาของแรงงานกลุ่มดังกล่าวช่วยสร้างงานสร้างรายให้กับชุมชน ช่วยส่งเสริมความเข้มแข็งของเศรษฐกิจชุมชน นอกจากนี้ยังถือเป็นการสืบสานภูมิปัญญาด้านหัตถศิลป์ของท้องถิ่นอีกด้วย อย่างไรก็ตามจากการสำรวจ พบว่ารูปแบบการทำงานของอาชีพเครื่องปั้นดินเผาล้วนแต่เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ฝีมือและทักษะการทำงานของแรงงานเป็นหลัก ทำให้แรงงานกลุ่มดังกล่าวมีโอกาสในการสัมผัสปัจจัยอันตรายในการทำงาน ทั้งปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Hazard) ด้านเคมี (Chemical Hazard) ด้านการยศาสตร์ (Ergonomic Hazard) และด้านจิตวิทยาสังคม (Psychosocial Hazard) ซึ่งในระยะยาวล้วนแต่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อมของกลุ่มแรงงาน ดังนั้นกลุ่มแรงงานดังกล่าวควรจะได้รับข้อเสนอแนะและแนวทางการปฏิบัติงานที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อสุขภาพ อาทิ ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย การออกแบบสถานีงานหรือการออกแบบงานที่คำนึงถึงสัดส่วนและท่าทางการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน และการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ปราศจากความเสี่ยง รวมทั้งการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอย่างถูกต้องและเหมาะสม เป็นต้น ผลของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปเป็นส่วนหนึ่งของแผนงานในการส่งเสริมสุขภาพชุมชนและกำหนดแนวทางในการลดความเสี่ยงและอันตรายจากการทำงาน ซึ่งการสร้างความตระหนักและให้ความสำคัญกับแรงงานในชุมชนจะช่วยให้เกิดคุณภาพชีวิตที่ดีในภาพรวมของแรงงานทั่วประเทศอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่สนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณแรงงานกลุ่มเครื่องปั้นดินเผา บ้านม่อนเขาแก้ว ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านสำหรับข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันส่งเสริมศิลปหัตถกรรมไทย (องค์การมหาชน). 2566. สรุปรายงานการส่งออกผลิตภัณฑ์ศิลปหัตถกรรมไทย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://web.sacit.or.th/th/detail/2024-03-26-11-50-49. สืบค้น 27 มกราคม 2568.

[2] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2562. เครื่องปั้นดินเผาม่อนเขาแก้ว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://www.dip.go.th/th/category/2019-05-10-16-17-44/2022-03-22-14-41-11.สืบค้น 27 มกราคม 2568.

[3] Kentawai W., Kongtawelert A., Sujirarat D., and Bhuanantanondh P. 2019. Prevalence of Musculoskeletal Disorders Among Female Pottery Workers in Khiri Mat, Sukhothai Province, Thailand. Journal of Science and Technology Mahasarakham University. 38(3): 282-291.

[4] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน. 2563. แนวปฏิบัติการชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Job Safety Analysis. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://www.tosh.or.th/index.php/media-relations/e-book/item/825-job-safety-analysis-jsa. สืบค้น 27 มกราคม 2568.

[5] คณะทำงานระบบพัฒนาระบบข้อมูล, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2563. แบบสอบถามภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงจากการทำงานและความรอบรู้ของแรงงานนอกระบบ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.sadathai.org/wp-content/uploads/2020/07/แบบเก็บข้อมูลความเสี่ยงฯ.pdf. สืบค้น 27 มกราคม 2568.

[6] ประกรณ์ วิไล และอภิญญา วิไล. 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านในภาคเหนือประเทศไทย. การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4. วันที่ 11-13 มิถุนายน 2557.

[7] Songkham W., Chanprasit C., and Kaewthummanukul T. 2014. Occupational Hazards and Health Status Among Pottery Workers. Journal of Safety and Health. 7(26): 6-16.

[8] Ooneklabh K., Leelarungrayub J., and Chamnongkich S. 2020. Preliminary Report: Modified and Innovative Workstation and Tools in a Male Wood Carver at Chiang Mai Province, Thailand. Journal of Associated Medical Sciences. 53(3): 72-77.

[9] Raktrakul P., Bhuanantanondh P., Sujirarat D., Chaikittiporn C., and Kongtawelert A. 2021. Related Factors of Musculoskeletal Disorders Among Large-Scale Manufacturing Ceramic Workers in Lampang Province. Thai Journal of Health Education. 44(1): 152-161.

20P-04

ประสิทธิภาพของสารสกัดจากดีปลีและดาหลาในการยับยั้งเชื้อ *Aspergillus fumigatus*

Antifungal Activity of Crude Extracts of *Piper retrofractum* Vahl. and *Etlingera elatior* (Jack) R.M. Smith against *Aspergillus fumigatus*

ซากีนะห์ อาแว[1] นูรีซัน ซาเมาะ[1] วีรยุทธ ทองคง[2] และ นิศากร วิทจิตสมบูรณ์[3*]
Sakeenq Awaa[1] Nureesun Samoa[1] Veerayuth Thongkhong[2] and Nisakorn Witthajitsomboon[3*]
[1]นักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรจุลชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[2]อาจารย์ หลักสูตรชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[3*]อาจารย์ ศูนย์ทรัพยากรจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ SKRU คณะวิทยาศาสตร์ฯ มรภ.ราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[*]โทรศัพท์ : 074-260-260, โทรสาร : 074-260-261, E-mail : nisakorn.wi@skru.ac.th

บทคัดย่อ

Aspergillus fumigatus เป็นเชื้อราก่อโรคฉวยโอกาสที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมหลากหลายประเภท ทั้งในอาคาร กลางแจ้ง และในพื้นที่เกษตรกรรม ปัจจุบันพบว่าการดื้อต่อยาต้านเชื้อราชนิดไตรอะโซลของ *A. fumigatus* เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการรักษา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของสารสกัดหยาบจากดีปลี (*Piper retrofractum* Vahl.) และดาหลา (*Etlingera elatior* (Jack) R.M. Smith) ต่อเชื้อ *A. fumigatus* โดยนำตัวอย่างพืชมาอบให้แห้ง บดเป็นผง และสกัดด้วยเอทานอล 95% การทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธี agar dilution แสดงให้เห็นว่าสารสกัดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ที่ความเข้มข้น 200–400 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อราได้ (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อราได้ (MFC) ถูกตรวจสอบด้วยวิธี broth microdilution ผลการทดลองพบว่า MIC และ MFC ของสารสกัดจากดีปลีอยู่ที่ 25 มก./มล. และ 50 มก./มล. ตามลำดับ ส่วนของดาหลาอยู่ที่ 50 มก./มล. และ 100 มก./มล. ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของสารสกัดหยาบจากพืชทั้งสองชนิด โดยเฉพาะสารสกัดหยาบจากดีปลี ซึ่งสามารถนำมาเป็นหนึ่งในสารต้านเชื้อรา เพื่อนำมาใช้ควบคุม *A. fumigatus* ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์อาจจะเป็นการทำลายโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ และการยับยั้งการสังเคราะห์เออร์โกสเตอรอล ส่งผลให้เซลล์ของเชื้อราตายในที่สุด

คำสำคัญ : *Aspergillus fumigatus, Piper retrofractum* Vahl., *Etlingera elatior* (Jack) R.M. Smith, สารสกัดหยาบ, agar dilution, MIC

Abstract

Aspergillus fumigatus is a ubiquitous opportunistic fungal pathogen commonly found in diverse environments, including indoor, outdoor, and agricultural settings. At present, the rising resistance of *A. fumigatus* to triazole antifungal agents, increasing concerns regarding effective treatment. This study aimed to evaluate the antifungal activity of crude extracts from long pepper (*Piper retrofractum* Vahl.) and torch ginger (*Etlingera elatior* (Jack) R.M. Smith) against *A. fumigatus*. The plant materials were dried, powdered, and extracted using 95% ethanol. The agar dilution method revealed complete inhibition of fungal growth at concentrations of 200–400 mg/ml. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) were investigated via broth microdilution. The results showed that MIC and MFC of long

pepper extract were 25 mg/ml and 50 mg/ml, respectively, while those of torch ginger were 50 mg/ml and 100 mg/ml. The findings indicate the potential of these plant extracts, particularly long pepper, as alternative antifungal agents for managing *A. fumigatus*, potentially through mechanisms involving disruption of cell membrane integrity and inhibition of ergosterol synthesis. As a result, The fungal cells finally death.

Keywords : *Aspergillus fumigatus, Piper retrofractum* Vahl*., Etlingera elatior (*Jack) R.M. Smith, crude extracts, agar dilution, MIC

บทนำ

Aspergillus fumigatus เป็นเชื้อราก่อโรคที่พบได้บ่อยในสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร รวมถึงพื้นที่ทางการเกษตร สามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ที่ประกอบอาชีพในบริเวณดังกล่าว โดยเฉพาะในผู้ที่มีภูมิคุ้มกันอ่อนแอ เช่น ผู้มีโรคประจำตัว ผู้ป่วยโรคปอดเรื้อรัง หรือผู้ที่ได้รับการปลูกถ่ายอวัยวะ เชื้อราชนิดนี้สามารถสร้างสปอร์ที่ฟุ้งกระจายในอากาศ และอาจเป็นสาเหตุของโรค aspergillosis ซึ่งเป็นภาวะติดเชื้อราที่อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต การรักษาการติดเชื้อ *A. fumigatus* มักใช้ยาต้านเชื้อรากลุ่มไตรอะโซล อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันพบปัญหาเชื้อดื้อต่อยากลุ่มไตรอะโซลเพิ่มมากขึ้น การดื้อยานี้อาจเกิดจากการกลายพันธุ์ของยีนในเชื้อราหรือจากการใช้ยาต้านเชื้อราในทางการเกษตรที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้เชื้อราปรับตัวและดื้อต่อยา ทำให้มีความต้องการยาหรือสารออกฤทธิ์ต้านทานการเจริญของเชื้อชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น [1] ดีปลี (*Piper retrofractum* Vahl.) และดาหลา (*Etlingera elatior* (Jack) R.M. Smith) เป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทยและแผนโบราณ มีรายงานวิจัยพบว่าสารสกัดจากดีปลีและดาหลามีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ดี [2] อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชทั้งสองชนิดในการยับยั้งเชื้อ *A. fumigatus* ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากดีปลีและดาหลาในการยับยั้งการเจริญของเชื้อดังกล่าว ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการดื้อยา ลดผลข้างเคียง และไม่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสกัดสารด้วยวิธีแช่หมัก (maceration)

เก็บตัวอย่างผลของดีปลีและเหง้าของดาหลาจากจังหวัดยะลา นำมาทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นบาง จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างอบแห้งปั่นให้เป็นผงละเอียด ชั่งให้ได้ 500 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่เติมเอทานอล 95% ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:3) นำไปเขย่าด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน กรองด้วยผ้าขาวบาง ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยระบบสูญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2550 [3]) เมื่อจะทดสอบละลายสารสกัดด้วย 10% DMSO

2. การทดสอบสารสกัดด้วยวิธี agar dilution

เพาะเลี้ยงเชื้อรา *Aspergillus fumigatus* ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์มาจากศูนย์ทรัพยากรจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ SKRU คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำมาทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบด้วยวิธี agar dilution โดยผสมสารสกัดหยาบกับอาหาร PDA ให้ได้ความเข้มข้น 400, 300, 200, และ 150 mg/ml ตัดชิ้นส่วนเส้นใยราด้วย cock borer ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm วางลงบนอาหาร PDA ที่ผสมสารสกัดความเข้มข้นดังกล่าว บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีชุดควบคุมเชิงลบและเชิงบวกคือ เชื้อราที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ที่ไม่ผสมสารสกัด และ PDA ที่ผสม itraconazole ความเข้มข้น 10 µg/ml ตามลำดับ บันทึกผลเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อราที่เจริญบนอาหารเทียบระหว่างชุดทดลองกับชุดควบคุมเชิงลบ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งดังสมการ (ดัดแปลงจาก วาสินี ธรรมสถิต, สุจิตรา สุคนธมัต, และ ดุษณี ธนะบริพัฒน์, 2560 [4])

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง} = \frac{(A-B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราที่เลี้ยงบนจานควบคุมเชิงลบ

B = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราที่เลี้ยงบนจานอาหารทดสอบ

3. การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อและฆ่าเชื้อ

หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อรา (Minimum Inhibitory Concentration; MIC) ด้วยวิธี broth micro dilution และหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อรา (Minimum Fungicidal Concentration; MFC) โดยทดสอบที่ความเข้มข้น 200-12.5 mg/ml (ดัดแปลงจาก EUCAST 2022 [5]) โดยเพาะเลี้ยงเชื้อราบน PDA เป็นเวลา 5 วัน เพื่อเตรียมสารละลายสปอร์ เตรียมสารละลายสารสกัดผสมอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose broth (PDB) pH 7.0 เติมในแต่ละหลุมที่ต้องการทดสอบของจานเพาะเชื้อแบบ 96 หลุม โดยความเข้มข้นสุดท้ายของสปอร์ในหลุมทดสอบเท่ากับ 1-2.5 x 10^5 CFU/ml และความเข้มข้นสุดท้ายของสารสกัดเท่ากับ 200, 100, 50, 25, และ 12.5 mg/ml ชุดควบคุมเชิงบวกได้แก่ หลุมที่ผสม DMSO ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย 10% และชุดควบคุมเชิงลบได้แก่ หลุมที่ผสมยาปฏิชีวนะ itraconazole ความเข้มข้นสุดท้าย 10 µg/ml บ่มที่ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 h บันทึกค่า MIC จากความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดในหลุมที่ไม่พบการเจริญของเชื้อ และค่า MFC จากความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดในหลุมที่ไม่พบการเจริญของเชื้อหลังจากเพาะเชื้อบน PDA เป็นเวลา 72 h

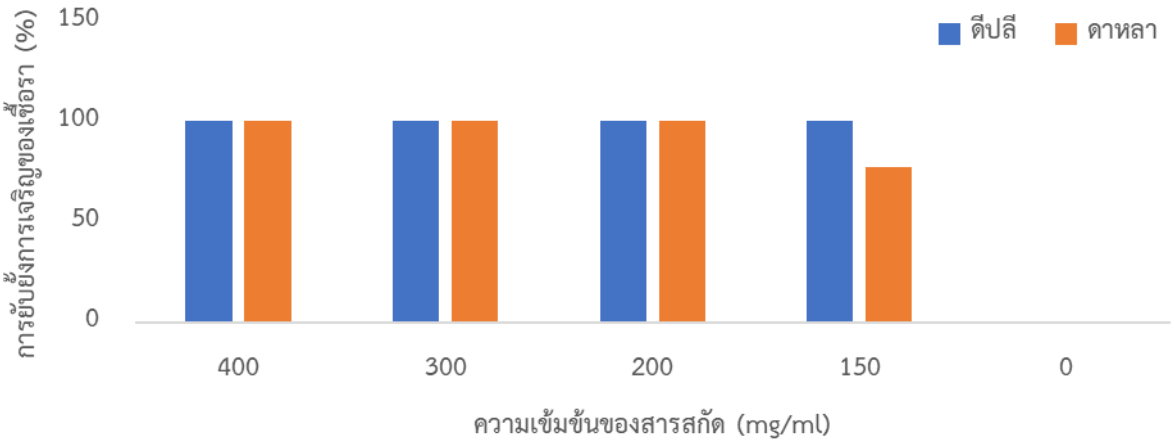
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลาต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *A. fumigatus* พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 400 , 300 , 200 , และ 150 mg/ml สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *A. fumigatus* ได้ โดยสารสกัดหยาบดีปลีสามารถยับยั้งเชื้อได้ 100% ที่ความเข้มข้น 150-400 mg/ml ขณะที่สารสกัดหยาบจากดาหลายับยั้งได้ 100% ที่ความเข้มข้น 200-400 mg/ml และสารสกัดจากดาหลายับยั้งได้ที่ 77.36% ที่ความเข้มข้น 150 mg/ml ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ทั้งนี้พบการยับยั้งการเจริญ 100% ในชุดทดลองเชิงบวก และไม่พบการยับยั้งการเจริญในชุดทดลองเชิงลบ จากนั้นได้หาค่า MIC และ MFC ของสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลาต่อเชื้อ *A. fumigatus* โดยทดสอบที่ความเข้มข้น 200, 100, 50, 25, และ 12.5 mg/ml พบว่าค่า MIC และ MFC ของสารสกัดหยาบดีปลีเท่ากับ 25 mg/ml และ 50 mg/ml ตามลำดับ และค่า MIC และ MFC ของสารสกัดหยาบดาหลาเท่ากับ 50 mg/ml และ 100 mg/ml ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้ไม่พบการเจริญในชุดทดลองเชิงลบ และพบการเจริญในชุดทดลองเชิงลบ

ตารางที่ 1 ผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Aspergillus fumigatus* ด้วยสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลาโดยวิธี agar dilution

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/ml)	การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (%)	
	ดีปลี	ดาหลา
400	100	100
300	100	100
200	100	100
150	100	77.36
0	0	0

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wijekoon และคณะ ซึ่งพบว่าสารสกัดจากดอกดาหลาด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Candida albicans* และ *Cryptococcus neoformans* [6] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sarami และคณะ ซึ่งพบว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากยี่หร่าด้วยวิธี hydrodistillation สามารถยับยั้งการเจริญของ *A. fumigatus* ได้เช่นกัน [7] การออกฤทธิ์คาดว่าจะทำให้โครงสร้างของเชื้อราเปลี่ยนแปลงไป โดยการทำลายโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของเส้นใยเชื้อรา ซึ่งอาจเกิดจากกลไกการรบกวนการสังเคราะห์ ergosterol และการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ของสารออกฤทธิ์ ซึ่งสารที่มักสกัดได้จากพืชโดยใช้เอทานอลมักจะเป็นสารในกลุ่ม Tannins, Polyphenols, Flavonoids, Terpenoids, และ Alkaloids [7] โดยสารกลุ่ม Alkaloids ถูกพบมากในดีปลี และกลุ่ม Flavonoids พบมากในดาหลา จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นกลุ่มสารที่ออกฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *A. fumigatus*



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Aspergillus fumigatus* ด้วยสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลา

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลาในการยับยั้งการเจริญเชื้อ *Aspergillus fumigatus* ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยวิธี broth microdilution

ชนิดของสารสกัดหยาบ	ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *A. fumigatus*	
	MIC (mg/ml)	MFC (mg/ml)
ดีปลี	25	50
ดาหลา	50	100

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลาด้วยเอทานอล 95% ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *A. fumigatus* เบื้องต้นโดยวิธี agar dilution พบว่าสารสกัดหยาบดีปลีและดาหลาที่ระดับความเข้มข้น 400-150 mg/ml สามารถยับยั้งเชื้อ *A. fumigatus* ได้ โดยที่สารสกัดหยาบดีปลียับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ 100% ทุกความเข้มข้นที่ทำการทดสอบ ขณะที่สารสกัดหยาบดาหลายับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ 100% ที่ความเข้มข้น 400-200 mg/ml และลดลงเป็น 77.36% ที่ความเข้มข้น 150 mg/ml และเมื่อหาค่า MIC และ MFC ด้วยวิธี broth microdilution พบว่าค่า MIC และ MFC ของดีปลีคือ 25 mg/ml และ 50 mg/ml ตามลำดับ และพบว่าค่า MIC และ MFC ของดาหลาคือ 50 mg/ml และ 100 mg/ml ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากการทำลายโครงสร้างเซลล์ของเชื้อราดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ทรัพยากรจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ SKRU และหลักสูตรจุลชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้จนประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] เมธี ชยะกุลศีรี. 2559. การดื้อยาต้านเชื้อรา. https://cimjournal.com/wp-content/uploads/2022/01 สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2568.

[2] สุจริต ยาหอม และรุ่งฤดี ทิวทอง. 2562. ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดหยาบใบเพกา. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 47(3):461-467.

[3] รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2550. การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสกัดจากสมุนไพร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ.

[4] วาสินี ธรรมสถิต, สุจิตรา สุคนธมัต, และ ดุษณี ธนะบริพัฒน์. 2560. การคัดเลือกสมุนไพรที่มีฤทธิ์ควบคุมเชื้อรา *Phytophthora* sp. ที่แยกจากทุเรียนในจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดชุมพร. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 26(2):1-14.

[5] Guinea J, et al. 2022. EUCAST definitive document E. Def 9.4 method for the determination of broth dilution minimum inhibitory concentrations of antifungal agents for conidia forming moulds. EUCAST. https://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/AFST/Files/EUCAST_EDef_9.4_method_for_susceptibility_testing_of_moulds.pdf สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2565.

[6] Wijekoon, MM Jeevani Osadee, et al. 2013. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil and solvent extracts of torch ginger inflorescence (*Etlingera elatior* Jack.). International Journal of Food Properties. 16(6):1200-1210.

[7] Golbarg S, Masoomeh S, Ali E, Fatemehsadat J, Mehdi R. 2024. Antifungal activity, synergistic effect and mode of action of Caraway (*Carum carvi* L.) essential oil and carvone against *Aspergillus fumigatus*, South African Journal of Botany. 168:588-594.

20P-05

ผลกระทบของฤดูกาลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในลุ่มน้ำบางปะกง

Seasonal Influence on Microplastic Distribution in the Bang Pakong River Basin, Thailand

สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์[1*] ขวัญฤทัย เรณูหอม[1] สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์[1] อภิสิทธิ์ พวงมาลัย[1] อำนวยชัย คงดี[2] เจนยุกต์ โลห์วัชรินทร์[3]
Suttisak Narongsak[1*] Khwanruthai Renuhom[1] Suda Ittisupornrat[1] Apisit Phuangmalai[1] Amnuaychai Kongdee[2]
Jenyuk Lohwacharin[3]
[1] ศูนย์วิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม
[2] สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน [3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
* โทรศัพท์ : 08 8839 5880, โทรสาร : 0 2577 1138, Email: n.suttisak@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษจากพลาสติกนับเป็นประเด็นสิ่งแวดล้อมระดับโลกที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะไมโครพลาสติกในประเทศไทย การศึกษาส่วนใหญ่เน้นที่การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทะเล แต่ข้อมูลในระบบนิเวศน้ำจืดยังมีจำกัด ลุ่มน้ำบางปะกงเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่รองรับกิจกรรมอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชน ซึ่งอาจเป็นแหล่งสะสมไมโครพลาสติก โดยฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำผิวดินของลุ่มน้ำบางปะกงระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ปี พ.ศ. 2567 ทำการเก็บตัวอย่างจาก 12 จุดตรวจวัด ใช้กระบวนการกรอง 4 ระดับ (5 มม., 1 มม., 300 ไมโครเมตร และ 100 ไมโครเมตร) และวิเคราะห์ชนิดของพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค FTIR ผลการศึกษาพบว่า ฤดูแล้งมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงกว่าฤดูฝน โดยเฉพาะที่จุด P07 และ P08 ขณะที่ฤดูฝนช่วยพัดพาไมโครพลาสติกบางส่วนออกจากระบบ แม้ว่าบางจุด เช่น P05 และ P06 จะพบปริมาณสูงขึ้นในฤดูฝน ไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ PET และ PP โดย PET มีปริมาณสูงสุดในฤดูแล้งผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของไมโครพลาสติก ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ใช้วางแผนจัดการขยะพลาสติกและพัฒนาระบบเฝ้าระวังในระดับลุ่มน้ำเพื่อลดการสะสมของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก / ลุ่มน้ำบางปะกง / ฤดูกาล / น้ำผิวดิน / ขยะพลาสติก

Abstract

Plastic pollution is a growing global environmental concern, particularly microplastic contamination. In Thailand, most studies have focused on marine environments, while data on freshwater ecosystems remain limited. The Bang Pakong River Basin is a vital water resource that supports industrial, agricultural, and urban activities, making it a potential hotspot for microplastic accumulation. Seasonal variations significantly influence the distribution of microplastics. This study aims to analyze and compare microplastic concentrations in surface water across the dry and wet seasons of 2024. Water samples were collected from 12 monitoring sites, filtered through four size fractions (5 mm, 1 mm, 300 µm, and 100 µm), and analyzed for polymer composition using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results indicate that microplastic concentrations were higher in the dry season, particularly at sites P07 and P08. In contrast, the wet season contributed to the transport of microplastics out of the system, although some sites, such as P05 and P06, exhibited increased concentrations. The most common microplastic types identified were PET and PP, with PET being most abundant in the dry season. This study highlights the significant role of seasonal changes in microplastic distribution. The findings can inform waste management strategies and support the development of watershed-scale monitoring systems to mitigate microplastic accumulation in the environment effectively.

Keywords: Microplastics / Bang Pakong River Basin / Seasonal Variation / Surface Water / Plastic Waste

บทนำ

ปัญหามลพิษจากพลาสติกเป็นประเด็นสิ่งแวดล้อมระดับโลกที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา พลาสติกมีคุณสมบัติย่อยสลายยากสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน และก่อให้เกิดผลกระทบในหลากหลายมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไมโครพลาสติก (Microplastics) ซึ่งเป็นอนุภาคพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสำคัญต่อไมโครพลาสติกเนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กทำให้สามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต ทั้งในระบบนิเวศน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยสามารถแพร่กระจายเข้าสู่แหล่งน้ำ ระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง [1] ไมโครพลาสติกเกิดขึ้นจากสองแหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ การเสื่อมสภาพของพลาสติกขนาดใหญ่ภายใต้ปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แสงแดดและการเสียดสี (secondary microplastics) และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตไมโครพลาสติกมาโดยตรง เช่น เม็ดขัดในเครื่องสำอางหรือเส้นใยจากสิ่งทอ (primary microplastics) [2]

งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าไมโครพลาสติกไม่ได้เป็นเพียงเศษพลาสติกขนาดเล็กในสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทเป็นพาหะของสารเคมีอันตราย เช่น สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติก (plasticizers), สารหน่วงการติดไฟ (flame retardants) รวมถึงโลหะหนักและมลพิษอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งสามารถดูดซับเข้าสู่ผิวของไมโครพลาสติกและเคลื่อนย้ายไปพร้อมกัน [1,3] เมื่อสิ่งมีชีวิตในน้ำกินอนุภาคเหล่านี้เข้าไป อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย เช่น ระบบย่อยอาหาร ระบบสืบพันธุ์ หรือแม้แต่ระดับฮอร์โมน นอกจากนี้ยังมีความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการบริโภคอาหารทะเลหรือแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนไมโครพลาสติก ซึ่งยังเป็นประเด็นที่อยู่ระหว่างการศึกษาอย่างต่อเนื่อง

ในประเทศไทย แม้ว่าจะมีการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้นในช่วงหลัง โดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งทะเลและในสิ่งมีชีวิตน้ำเค็ม เช่น ปลาหรือหอยแมลงภู่ แต่การศึกษาระบบนิเวศน้ำจืด เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำต้นทางยังมีจำนวนน้อย [4] แม่น้ำและลุ่มน้ำมีบทบาทสำคัญในการเป็นทางผ่านของพลาสติกจากแหล่งกำเนิดบนบกสู่ทะเล โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลายและมีโครงสร้างพื้นฐานด้านการจัดการขยะที่ยังไม่ทั่วถึง ปัจจัยด้านฤดูกาล เช่น ปริมาณฝน การไหลบ่าของน้ำผิวดิน การชะล้างของตะกอน และการไหลของน้ำในแม่น้ำ มีผลโดยตรงต่อความเข้มข้นและรูปแบบของการแพร่กระจายของไมโครพลาสติก [5] อีกทั้งประเทศไทย มีความแตกต่างของฤดูกาลอย่างชัดเจนระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน การศึกษาผลกระทบของฤดูกาลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากฤดูฝนอาจนำพาไมโครพลาสติกจากแหล่งบน

บกลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ขณะที่ฤดูแล้งอาจทำให้เกิดการสะสมของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำจากอัตราการไหลของน้ำที่ลดลง

ลุ่มน้ำบางปะกงเป็นหนึ่งในลุ่มน้ำสำคัญของประเทศไทย ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออก ครอบคลุมหลายจังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี นครนายก ชลบุรี สมุทรปราการ และระยอง โดยมีบทบาทเป็นทั้งแหล่งน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภค แหล่งเพาะปลูกและปศุสัตว์ รวมถึงรองรับกิจกรรมเศรษฐกิจอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ก่อนที่แม่น้ำบางปะกงจะไหลลงสู่ทะเลอ่าวไทยตอนบน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าลุ่มน้ำแห่งนี้จะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิเวศวิทยาอย่างมาก ยังไม่มีงานศึกษาที่มุ่งเปรียบเทียบการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ และลักษณะเฉพาะของไมโครพลาสติก เช่น ชนิด สี และรูปร่าง

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นเพื่อเติมเต็มช่องว่างทางองค์ความรู้ดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและลักษณะของไมโครพลาสติกในลุ่มน้ำบางปะกง เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน และศึกษาผลกระทบของฤดูกาลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการสนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อมเชิงพื้นที่ และการวางแผนเชิงนโยบายด้านขยะพลาสติกในแหล่งน้ำจืดของประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไมโครพลาสติกในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง โดยเก็บตัวอย่างน้ำจาก 12 จุดในลุ่มน้ำย่อยในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2567 โดยเริ่มจากการตรวจวัด คุณภาพน้ำภาคสนาม ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids: TSS) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon: TOC) ด้วยเครื่อง Multi-parameter จากนั้นดำเนินการทำ Blank Field Control ใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์ปริมาตร 10 ลิตรให้ไหลผ่านตะแกรง 4 ชั้นตามลำดับความละเอียด จากนั้นใช้น้ำกลั่นชะล้างผิวหน้าตะแกรงแต่ละชั้นให้ไหลรวมลงในขวดเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างไมโครพลาสติกในนำ กำหนดความลึกในการเก็บที่ประมาณ 30 เซนติเมตรจากผิวน้ำ โดยใช้เครื่องสูบน้ำดูดน้ำในปริมาตรรวม 1,000 ลิตรให้ไหลผ่านตะแกรงเหล็ก ขนาด 4 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยตะแกรงที่มีขนาดช่อง 5 มิลลิเมตร , 1 มิลลิเมตร, 300 ไมโครเมตร และ 100 ไมโครเมตร ตามลำดับ เพื่อคัดแยกอนุภาคไมโครพลาสติกตามขนาดที่กำหนด หลังจากน้ำไหลผ่านตะแกรงในแต่ละชั้น จะใช้น้ำกลั่นชะล้างผิวหน้าตะแกรงเพื่อรวบรวมอนุภาคไมโครพลาสติกลงในขวดเก็บตัวอย่าง โดยมีการรวมตัวอย่างขนาด 1,000 และ 300 ไมโครเมตรไว้ด้วยกัน เนื่องจากอนุภาคขนาด 1,000 ไมโครเมตรพบในปริมาณน้อย ขณะที่อนุภาคขนาด 100–300 ไมโครเมตร แยกเก็บไว้ต่างหาก จึงได้ ขวดเก็บตัวอย่าง 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่กว่า 300 ไมโครเมตร และขนาด 100–300 ไมโครเมตร ขวดตัวอย่างแต่ละใบปิดฝาและพันขอบฝาด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการปนเปื้อนภายนอก

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไมโครพลาสติกในห้องปฏิบัติการ ดัดแปลงจากแนวทางของ NOAA [6] โดยเริ่มจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตัวอย่างภายในตู้ดูดควัน ตัวอย่างไมโครพลาสติกในน้ำจะถูกเทลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายเฟอรัส (Fe^{2+}) ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% ปริมาตร 40 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันและปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำบีกเกอร์ขึ้นตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนเกิดฟองก๊าซจำนวนมาก เมื่อตั้งทิ้งไว้แล้วพบว่ายังมีสารอินทรีย์ตกค้าง ให้เติม H_2O_2 เพิ่มอีก 20 มิลลิลิตรและทำซ้ำจนไม่เกิดปฏิกิริยาเพิ่มเติม จากนั้นตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ให้เย็นและเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในอัตราส่วน 6 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร เพื่อสร้างสภาวะความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการแยกไมโครพลาสติก

เมื่อละลาย NaCl จนสมบูรณ์แล้ว ตัวอย่างจะถูกเทลงในกรวยแยก ปิดฝาด้วยกระจกนาฬิกา และตั้งทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้อนุภาคตกตะกอน ส่วนของไมโครพลาสติกซึ่งลอยอยู่ด้านบนจะถูกแยกเก็บลงในภาชนะสะอาด แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองขนาดความละเอียด 0.25 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องดูดสูญญากาศ หลังการกรองจะนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท จากนั้นบันทึกข้อมูล รูปร่าง สีและขนาดจากการส่องด้วยกล้อง microscope และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ชนิดพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยเปรียบเทียบสเปกตรัมกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อจำแนกชนิดของไมโครพลาสติกที่ตรวจพบ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำจาก 12 จุดบริเวณลุ่มน้ำบางปะกง แสดงตารางที่ 1 พบว่า ค่า pH อยู่ในช่วง 6.31–7.97 โดยฤดูฝนมีค่า pH เฉลี่ยต่ำกว่าฤดูแล้งเล็กน้อย อาจเกิดจากการชะล้างสารอินทรีย์หรือกรดอินทรีย์จากต้นน้ำ ซึ่งอาจมีผลต่อการย่อยสลายของพลาสติกในระยะยาว แต่ผลกระทบต่อไมโครพลาสติกโดยตรงอาจไม่ชัดเจนมากนักในแง่ของปริมาณ ขณะที่ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 10 mg/L และค่าสูงสุดที่ 220 mg/L ดังนั้น ในช่วงฤดูฝนที่มี TSS สูงกว่าฤดูแล้ง ไมโครพลาสติกอาจมีแนวโน้มสะสมหรือพบในปริมาณที่มากขึ้นในตะกอน แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ($p = 0.16$) แต่ก็สะท้อนให้เห็นผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนและการไหลบ่าจากพื้นที่ต้นน้ำ ที่แสดงถึงการชะล้างตะกอนจากผิวดินลงแม่น้ำมากขึ้น ซึ่งไมโครพลาสติกส่วนใหญ่จะจับตัวหรือสะสมร่วมกับของแข็งแขวนลอย โดยเฉพาะพลาสติกที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ ส่วนค่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) พบค่าสูงสุดที่ 12.59 mg/L โดยฤดูแล้งมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าฤดูฝนเล็กน้อยในทุกจุดเก็บตัวอย่าง อาจบ่งชี้ว่าในฤดูแล้งมีการย่อยสลายของอินทรียวัตถุมากขึ้น หรือการระเหยของน้ำทำให้ความเข้มข้นของ TOC สูงขึ้น เพิ่มโอกาสที่สารเหล่านี้จะเข้าไปยึดเกาะบนพื้นผิวของไมโครพลาสติก ส่งผลให้ไมโครพลาสติก

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	pH	pH	TSS (mg/L)	TSS (mg/L)	TOC (mg/L))	TOC (mg/L))
	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน
P01	7.06	6.56	93.00	31	5.64	2.849
P02	7.80	7.56	29.00	53.00	5.61	4.73
P03	6.83	7.16	10.00	21.00	7.44	4.94
P04	7.88	7.75	10.00	39.00	7.50	4.61
P05	7.70	6.97	61.00	50.00	6.81	4.98
P06	7.97	6.85	61.00	39.00	7.00	5.26
P07	7.23	6.87	35.00	183.00	9.07	4.64
P08	7.06	6.90	88.00	220.00	7.12	5.02
P09	7.31	7.08	85.00	132.00	9.09	5.13
P10	7.41	7.31	31.00	152.00	12.59	8.67
P11	6.72	6.62	59.00	11.00	3.97	3.06
P12	7.00	6.31	25.00	23.00	8.83	2.48
เฉลี่ย ± SD	7.33 ± 0.35	7.00 ± 0.31	48.92 ± 25.58	79.50 ± 61.50	7.56 ± 1.56	4.70 ± 0.97
p-value	0.01		0.16		0.00	

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าแม้ในฤดูฝนจะไม่ได้มีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่แนวโน้มการสะสมในตะกอนดินหรือชั้นล่างของแม่น้ำอาจเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยด้าน TSS ที่สูง และ TOC สูง มักพบไมโครพลาสติก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wang et al. (2022) ที่ระบุว่า TOC เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญต่อศักยภาพของการยึดเกาะไมโครพลาสติกและสารปนเปื้อนบนผิวของไมโครพลาสติก [6]

ผลการศึกษาปริมาณไมโครพลาสติก

จุดที่มีปริมาณไมโครพลาสติกสูงที่สุดในฤดูแล้ง คือ P07 และ P08 โดยมีค่ามากกว่า 160 ชิ้น/ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าจุดอื่นอย่างชัดเจนจุดที่มี ค่าต่างกันมากที่สุดระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ได้แก่ P07, P08 และ P10,จุด P05 และ P06 มีแนวโน้มที่ ฤดูฝนมีปริมาณใกล้เคียงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับฤดูแล้ง,จุดที่มีค่าต่ำสุดคือ P12 ในฤดูฝน และมีค่าไม่สูงในฤดูแล้งเช่นกัน แนวโน้มข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ฤดูแล้งเอื้อต่อการสะสมของไมโครพลาสติกในลำน้ำ เนื่องจากระดับน้ำลดต่ำลง อุณหภูมิสูง และอัตราการไหลของน้ำลดลง จึงทำให้อนุภาคพลาสติกไม่ถูกพัดพาออกจากพื้นที่ ส่วนในฤดูฝน จากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณน้ำที่

เพิ่มขึ้นจากฝนตกอาจช่วยเจือจางหรือพัดพาไมโครพลาสติกไปยังพื้นที่ปลายน้ำหรือนอกลุ่มน้ำ อย่างไรก็ตาม จุด P05 และ P06 ที่มีค่าสูงขึ้นในฤดูฝนอาจเกิดจากอิทธิพลของแหล่งกำเนิดขยะพลาสติกในพื้นที่ต้นน้ำ หรือระบบระบายน้ำในชุมชนที่มีการไหลผ่านของขยะลงสู่แม่น้ำในช่วงฝนตกหนัก ผลการศึกษานี้ยืนยันสอดคล้องกับ Su et al. (2021) และ Zhang et al. (2020) ที่ชี้ให้เห็นถึง ฤดูกาลมีผลต่อปริมาณไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำจืดอย่างมีนัยสำคัญ และควรใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อวางแผนจัดการขยะพลาสติกเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในลุ่มน้ำบางปะกงอย่างเหมาะสม [7-8]

ตารางที่ 2 ปริมาณไมโครพลาสติก

จุดเก็บตัวอย่าง	ฤดูแล้ง (ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร)	ฤดูฝน (ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร)
P01	59	10
P02	64	9
P03	66	4
P04	59	10
P05	49	34
P06	54	19
P07	169	10
P08	163	43
P09	37	21
P10	72	9
P11	46	7
P12	20	0
เฉลี่ย ± SD	71.50 ± 31.58	14.67 ± 9.72
p-value	0.00	

จากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณไมโครพลาสติกมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนในฤดูฝนเมื่อเทียบกับฤดูแล้ง อาจเกิดจากการเจือจางและการพัดพาของน้ำฝน โดยฤดูแล้งมีการกระจายตัวของข้อมูลที่มากกว่า สะท้อนถึงแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกที่หลากหลายและอาจมีความเข้มข้นในบางพื้นที่ ถ้าพิจารณาค่าความแปรปรวน (SD) ฤดูแล้ง: SD = 31.58 ความแปรปรวนสูง แสดงว่าบางจุดพบไมโครพลาสติกสูงผิดปกติ (อาจมีแหล่งปนเปื้อนเฉพาะ) และ ฤดูฝน: SD = 9.72 ค่าความแปรปรวนต่ำกว่า แสดงว่าปริมาณไมโครพลาสติกในแต่ละจุดมีความใกล้เคียงกันมาก

เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของปริมาณไมโครพลาสติกในแต่ละฤดู ได้ทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า F = 35.5 และ ค่า p-value < 0.001 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ปริมาณไมโครพลาสติกในฤดูแล้งและฤดูฝนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (p < 0.001) ฤดูกาลมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำ โดยฤดูแล้งมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงกว่าฤดูฝนอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ลดลงและกิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง ในขณะที่ฤดูฝนมีปริมาณน้ำมากขึ้นและการไหลบ่าของน้ำช่วยพัดพาสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่

ใช้สูตรสำหรับ F:

$$F = \frac{SS_{\text{between}}/df_{\text{between}}}{SS_{\text{within}}/df_{\text{within}}}$$

แต่เพื่อความง่าย ในกรณีแค่ 2 กลุ่ม เราใช้สูตร:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

แทนค่า:

- $\bar{X}_1 = 71.50, s_1 = 31.58, n_1 = 12$
- $\bar{X}_2 = 14.67, s_2 = 9.72, n_2 = 12$

$$t = \frac{71.50 - 14.67}{\sqrt{\frac{31.58^2}{12} + \frac{9.72^2}{12}}} = \frac{56.83}{\sqrt{\frac{997.30}{12} + \frac{94.51}{12}}} = \frac{56.83}{\sqrt{82.94 + 7.88}} = \frac{56.83}{\sqrt{90.82}} \approx \frac{56.83}{9.53} \approx 5.96$$

$$F = t^2 = 5.96^2 \approx 35.5$$

รูปที่ 1 ทดสอบทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA

ผลการศึกษาชนิด สีและรูปร่างของไมโครพลาสติก

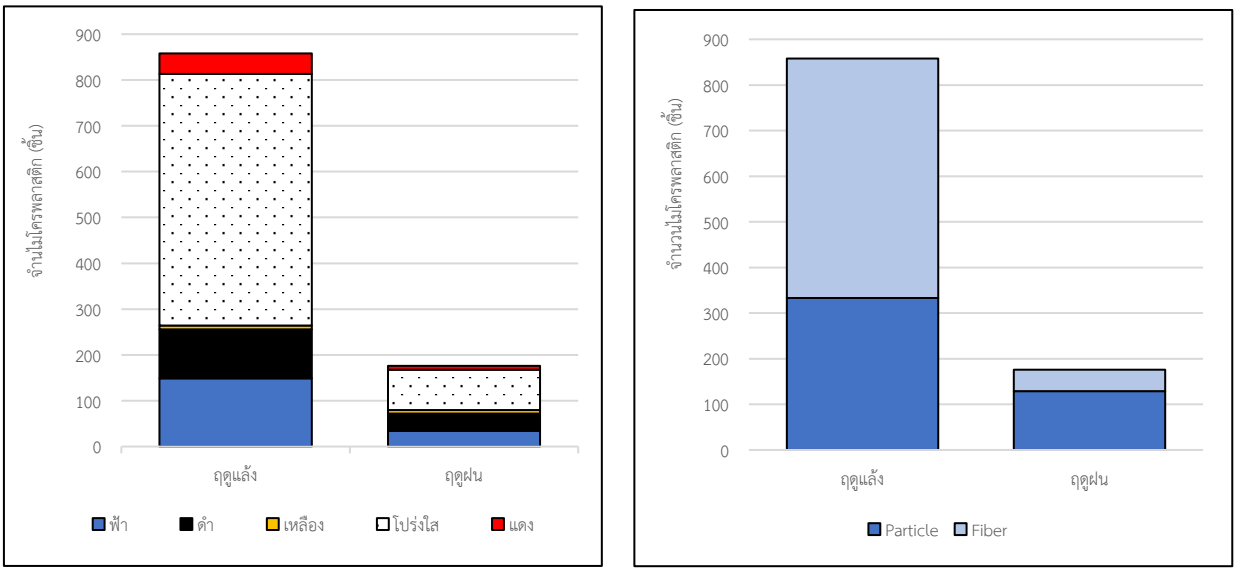
จากการศึกษาชนิดของไมโครพลาสติกที่พบในน้ำในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่า ฤดูแล้ง เป็นช่วงที่ตรวจพบปริมาณไมโครพลาสติกสูงที่สุด ดังตารางที่ 2 โดยมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 858 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร ไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็น ชนิด Polyethylene terephthalate (PET) คิดเป็นร้อยละ 46.5 รองลงมาคือ Polypropylene (PP) ร้อยละ 32.28 ขณะที่ในฤดูฝนพบไมโครพลาสติกทั้งหมดจำนวน 176 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร โดยชนิดที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene (PP) คิดเป็นร้อยละ 65.9 รองลงมาคือ Polyethylene terephthalate (PET) ร้อยละ 21.0 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของชนิดพอลิเมอร์ตามฤดูกาล

สีของไมโครพลาสติกที่พบในน้ำ ฤดูแล้ง (รูปที่ 2 (ก)) พบว่าสีที่พบมากที่สุดคือ สีโปร่งใส จำนวน 549 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 63.99 รองลงมาคือ สีฟ้า จำนวน 149 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 17.4 และ สีดำ จำนวน 107 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 12.5 ส่วนในฤดูฝน พบว่าไมโครพลาสติกสีโปร่งใสเป็นสีที่พบมากที่สุด จำนวน 88 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็น ร้อยละ 50.0 รองลงมาคือสีดำ จำนวน 38 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 21.6 และสีฟ้า จำนวน 34 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 19.3 โดยรวมแล้วไมโครพลาสติกสีโปร่งใสเป็นชนิดที่พบมากที่สุดในทั้งสองฤดู

สำหรับ ลักษณะรูปร่างของไมโครพลาสติก (รูปที่ 2 (ข)) พบว่าในฤดูแล้ง รูปร่างส่วนใหญ่เป็นแบบ Fiber (เส้นใย) จำนวน 525 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 61.2 ขณะที่ในฤดูฝน รูปร่างที่พบมากที่สุดคือ Particle (อนุภาค เช่น แผ่น ก้อน แท่ง) จำนวน 129 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 73.3 แสดงให้เห็นว่าลักษณะรูปร่างของไมโครพลาสติกมีความแตกต่างกันตามฤดูกาล ซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดและกระบวนการเสื่อมสภาพของพลาสติกในสภาพแวดล้อม

ตารางที่ 3 ชนิด สี และรูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบในลุ่มน้ำบางปะกง

ชนิดของไมโครพลาสติก	ฤดูแล้ง (ร้อยละ)	ฤดูฝน (ร้อยละ)
Polypropylene (PP)	32.28	65.91
Polyethylene (PE)	6.18	10.23
Polyethylene Terephthalate (PET)	46.50	21.02
Polyester Fiber	6.18	0
Other	8.86	2.84
สีของไมโครพลาสติก		
สีฟ้า (Blue)	17.37	19.32
สีดำ (Black)	12.47	21.59
สีเหลือง (Yellow)	0.93	4.55
สีโปร่งใส (Transparent)	63.99	50.00
สีแดง (Red)	5.24	4.55
สีของไมโครพลาสติก		
อนุภาค (Particle)	38.81	73.30
เส้นใย (Fiber)	61.19	26.70



(ก) สีของไมโครพลาสติก (ข) รูปร่างของไมโครพลาสติก

รูปที่ 1 แสดง (ก) สีของไมโครพลาสติกและ (ข) รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบในลุ่มน้ำบางปะกง

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำผิวดินของลุ่มน้ำบางปะกงระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ปี พ.ศ. 2567 จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 12 จุด พบว่า ฤดูแล้งมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงกว่าฤดูฝน ในเกือบทุกพื้นที่ โดยเฉพาะในจุด P07 และ P08 ที่มีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ยสูงในระดับที่มีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแสดงให้เห็นว่า ค่าความขุ่นแขวนลอยรวม (TSS) ที่ต่ำ และ ค่าคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ที่สูง มีผลต่อการสะสมของไมโครพลาสติกได้ง่าย ในส่วนของฤดูกาลก็มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ปริมาณไมโครพลาสติกกลับลดลงในบางพื้นที่ ซึ่งอาจเกิดจากการเจือจางของน้ำและการพัดพาออกจากระบบแม่น้ำ ในขณะที่ฤดูแล้งมีแนวโน้มสะสมไมโครพลาสติกมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากระดับน้ำลดลงและการไหลของน้ำช้าลง ในส่วนของ ชนิดของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุด ได้แก่ PET และ PP โดย PET มีปริมาณสูงสุดในฤดูแล้ง ขณะที่ PP พบมากทั้งสองฤดู แต่ลดลงในฤดูฝน ส่วน PE และ Polyester พบในปริมาณน้อยกว่า ซึ่งอาจสะท้อนถึงผลของการไหลบ่าของน้ำฝนที่อาจพัดพาไมโครพลาสติกออกจากแหล่งน้ำหรือทำให้เกิดการเจือจาง จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระดับการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในแม่น้ำ ทั้งในแง่ปริมาณและลักษณะอนุภาคโดยฤดูแล้งเอื้อต่อการสะสมของไมโครพลาสติก ในขณะที่ฤดูฝนอาจช่วยชะล้างบางส่วนของไมโครพลาสติก ออกจากระบบน้ำ อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าบางจุดมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงในฤดูฝน ซึ่งอาจเกิดจากการพัดพาของพลาสติกจากพื้นที่เมืองหรือต้นน้ำ

ดังนั้น ควรนำข้อมูลเชิงฤดูกาลนี้ไปใช้ประกอบ การวางแผนจัดการขยะพลาสติกและพัฒนาระบบเฝ้าระวังในระดับลุ่มน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมและลดการสะสมของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการเรื่อง ผลกระทบของฤดูกาลต่อการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในลุ่มน้ำบางปะกง เป็นส่วนหนึ่งของผลการศึกษาโครงการการปนเปื้อนและการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของไมโครพลาสติกในน้ำและตะกอนดินในลุ่มน้ำบางปะกง รหัสโครงการ 198400 โดยกรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ที่ได้รับงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

[1] Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin. 62(8), 1596–1605.

[2] Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban river. Environmental Chemistry. 12(5), 592–599.

[3] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2564). รายงานการประชุมเครือข่ายวิจัยไมโครพลาสติกแห่งชาติ.

[4] Klein, S., Worch, E., & Knepper, T. P. (2015). Analysis, occurrence, and degradation of microplastics in the aquatic environment. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 407(23), 6255–6265.

[5] Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Marine Debris Program.

[6] Wang, J., Li, J., Lu, H., et al. (2022). Interaction between microplastics and dissolved organic matter: Implications for microplastic fate and transport. Chemosphere, 288, 132591.

[7] Su, L., Xue, Y., Li, L., et al. (2021). Influence of hydrological conditions on microplastic occurrence in a river system. Water Research, 197, 117036.

[8] Zhang, C., Wang, W., Liu, X., et al. (2020). Seasonal variation and source identification of microplastics in a freshwater river in China. Environmental Pollution, 259, 113896.

20P-06

การศึกษาเชิงทดสอบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อน

An Experimental study and investment value analysis of Solar Chili Dryer with Volcanic Rock Thermal Storage

ยุทธนา ศรีอุดม[1*] อนุรัตน์ เทวตา[2] สังคม สัพโส[3] และ เจษฎา วิเศษมณี[4]
Yuttana Sriudom[1] Anurat Tewata[2] Sangkom Suppaso[3] and Jessada Visadmanee[4]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ตาก 63000
[2,3]อาจารย์; [4]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ตาก 63000
โทรศัพท์ : 0 5551 5900, โทรสาร : 0 5551 1833, E-mail : Yuttana.sriudom@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวสะสมความร้อนกับเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน ซึ่งจะแบ่งชุดทดสอบออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ 1. เครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน 2. เครื่องอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และ 3. เครื่องอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน โดยทำการทดสอบอบแห้งพริกที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 75%w.b. จนกระทั้งมีความชื้นสุดท้ายเป็น 13%w.b. ที่อัตราการระบายอากาศ 3 ระดับ ได้แก่ 0.0142 m^3/s 0.0208 m^3/s และ 0.0279 m^3/s ผลจาการทดสอบอบแห้ง พบว่า เมื่ออัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งสูงขึ้นทั้ง 3 ชุดทดสอบ โดยจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราการไหล 0.0279 m^3/s ซึ่งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์ และ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนจะมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 25.34%, 28.00% และ 30.73% ตามลำดับ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน จะใช้เวลาในการอบแห้งต่ำสุด คือ 23.20 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 30.73% ส่วนการวิเคราะห์ความคุ้มทุนในการลงทุนจากการทดลองทั้ง 2 กรณี พบว่า การใช้หินเป็นตัวสะสมความร้อนนั้นยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน โดยค่า IRR ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์ และ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน มีค่าต่ำกว่า กรณีไม่มีตัวสะสมความร้อน 4.1% และ 4.4% ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้ง; พริก; สะสมความร้อน; เศรษฐศาสตร์

Abstract

The aimed of this research to experimentally study of chili solar dryer efficiency with volcanic rock thermal storage. The first solar dryer was a solar dryer without volcanic rock thermal storage (SD1). The second solar dryer was a solar dryer with basalt rock thermal storage (SD2). The last solar dryer was a solar dryer with pumice rock thermal storage (SD3). The air flow rate was varied to 0.0142 m^3/s 0.0208 m^3/s and 0.0279 m^3/s. The chili was dried to final moisture content of 13% (w.b.) from the initial moisture content was

75% (w.b.). The result from drying found that the solar dryer efficiency increased when the air flow rate was increased for all test set. The maximum solar dryer efficiency in this test when the air flow rate of 0.0279 m3/sec. The average efficiency of the solar dryer without volcanic rock thermal storage, the solar dryer with basalt rock thermal storage and the solar dryer with pumice rock thermal storage were 25.34%, 28.00% and 30.73%, respectively. The lowest drying time of solar dryer with pumice rock thermal storage was 23.20 hours and the highest efficiency was 30.73% For the result of value for investment analysis, it was found that using volcanic rock thermal storage was not worth its cost in this test. The IRRs of the solar dryer with basalt rock thermal storage and the solar dryer with pumice rock thermal storage were lower than the solar dryer without volcanic rock thermal storage for 4.1 and 4.4% respectively.

Keywords : Dried; Chili; Thermal Storage; Economics

บทนำ

พริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม วงศ์มะเขือ พริกเป็นเครื่องเทศที่มี ความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง และมีความสัมพันธ์ต่อความเป็นอยู่ของชาวไทย เป็นเวลาช้านาน เนื่องจากอาหารไทยมีความกลมกล่อม เผ็ดร้อน สีสัน และความเข้มข้น ซึ่งถือเป็นเอกลักษณ์ของ อาหารไทย พริกจึงถูกใช้ในการประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ และพริกยังมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคบางชนิด เช่น ช่วยกระตุ้นให้เจริญอาหารยิ่งขึ้นช่วยรักษาสายตา ช่วยรักษาโรคหิด ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจล้มเหลว ช่วยลดความดันโลหิต เป็นต้น พริกที่ปลูกในไทยโดยส่วนใหญ่เป็นพริกขี้หนูผลใหญ่ พริกขี้หนูสวน และพริกพื้นที่เพาะปลูกโดยส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ เลย ศรีสะเกษ อุบลราชธานี และนครพนม ในเขตจังหวัดนครพนม ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปจากพริกที่เห็นกันมากในไทย เช่น พริกแห้ง) พริกป่นและน้ำพริก เป็นต้น ซึ่งพริกที่เรานำมาใช้ในการอบแห้งคือพริก เป็นสายพันธุ์พริกที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย ส่วนมากมักจะใช้เพื่อประกอบอาหารสดและแปรรูปทำซอสพริก ซึ่งพริกเหล่านี้มีการเน่าเสียได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพสด ดังนั้น จึงมีการเก็บรักษาพริกเพื่อคงรสชาติไว้ดังเดิม ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำพริกมาตาก หรืออบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการตาก และอบเพื่อให้ความชื้นในพริกน้อยลงจะทำให้เก็บรักษาพริกไว้ได้นานยิ่งขึ้น

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศที่ดี ซึ่งจะได้รับพลังงานแสงค่อนข้างสูง เพราะประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตร โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 4.5-5.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (4.5 - 5.5 kWh/m^2/day) (2553) [1] ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะกับการนำมาใช้เป็นพลังงานในการอบได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดีไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ลดค่าใช้จ่ายในการอบและตากได้เป็นอย่างดี การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อนำแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งจึงเป็นหนทางหนึ่งในการใช้พลังงานหมุนเวียนให้เกิดประโยชน์สูงสุด การตากแห้งเป็นกระบวนการที่ง่ายที่เกษตรกรทำกันมาตั้งแต่โบราณและมีการใช้อย่างแพร่หลายการตากแห้ง พืช ผัก ผลไม้ ส่วนใหญ่ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงขบวนการคือ มีการตากแห้งผลิตภัณฑ์โดยตรงกับแสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่จะทำกันในพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งทันทีหลังจากทำการตากแห้ง

การอบแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง ที่สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบโดยการทำให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์โดยใช้ความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง ผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสียง่าย กระบวนการแบบนี้เป็นตัวอย่างที่เด่นชัด การอบแห้งทำได้หลายวิธีเช่น ตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Hot air drier) ตู้อบแบบสุญญากาศ (Vacuum shelf drier) การตากแดด (Sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar drying) การทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) การอบแห้ง (Baking) ซึ่งอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะมีปริมาณน้ำและความชื้นที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์หรืออาหารลดลง จึงทำให้ยืดอายุตัวผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน เพราะเมื่อผลิตภัณฑ์มีน้ำลดลงก็จะทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย โดยปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจในการพัฒนาการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก อาทิเช่น Islam, et al (2019) [2] ได้ศึกษาผลกระทบของการถ่ายเทความชื้นของผลไม้เมื่อใช้ส่วนวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 3 แบบ แบบที่ 1 คือแบบใช้ท่ออากาศขนาดเล็กเป็นช่องทางเข้าของอากาศและใช้กระจกแผ่นเรียบปิดคลุมซึ่งมีรูเป็นช่องทางออกของอากาศ แบบที่ 2 คือใช้กระจกสองชิ้นประกอบเป็นรูปหลังคาสามเหลี่ยมที่มีช่องว่างให้อากาศออกและมีรูตรงหน้าจั่วให้อากาศเข้า แบบที่ 3 คือแบบใช้กระจกแผ่นเรียบปิดด้านบน ด้านข้างมีรูอากาศ 2 รู ทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้เป็นช่องอากาศเข้าออก จากการทดลองปรากฏว่า ส่วนวางผลิตภัณฑ์แบบที่ 3 มีการถ่ายเทความชื้นได้ดีที่สุด เนื่องจากมีอัตราการระเหยน้ำสูงที่สุด

เท่ากับ 58.9% ณัฐวุฒิ หงส์จันทร์ และคณะ (2564) [3] ได้สร้างและหาประสิทธิภาพของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะการใช้งานของเครื่องกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร วัสดุหลักที่ใช้คือเหล็ก และอะลูมิเนียม ซึ่งตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถอบแห้งพริกได้สมบูรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ ควบคุมอุณหภูมิด้วยการควบคุมด้วยโทรศัพท์มือถือ จากการทดสอบ พบว่า ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถอบแห้งพริก ได้สมบูรณ์ตามที่กำหนดไว้ โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และ วิจิตรา ภูมิสวัสดิ์ (2560) [4] ได้ทำการสร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง การอบแห้งใช้ใบมันสำปะหลังสดในการทดลอง ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิลานตาก อุณหภูมิผิวท่อทองแดง จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิผิวท่อทองแดงที่ใช้ในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงสุด 200 ℃ ทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งแบบมีรางพาราโบลิกเพิ่มขึ้นเป็น 50 ℃ เมื่อเทียบกับแบบไม่มีรางพาราโบลิก ที่มีอุณหภูมิ 40 ℃ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 16.4% รองลงมา คือ เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้รางพาราโบลิก คือ 10.7% และประสิทธิภาพของการตากแห้งบนลานตากโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีค่าน้อยที่สุด 7.4% ตามลำดับ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้รางรูปพาราโบลิก

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเชิงทดสอบ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้หินภูเขาไฟและไม่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [5]

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลักการ คือ แสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้าไปในตู้จะทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง น้ำที่ระเหยจากวัตถุดิบจะลอยตัว และไหลออกอากาศเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่เกิดการหมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง โดยปกติจะมีอุณหภูมิ 60 – 70 ℃ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ1. การอบแห้งระบบ (Passive) 2. การอบแห้งระบบ (Active) และ 3. การอบแห้งระบบ (Hybrid)

2. หลักการวัดความชื้นในวัสดุ [6]

กระบวนการอบแห้งวัสดุชื้นใด ๆ ตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของวัสดุที่ผ่านการอบแห้งว่ามีมาตรฐานตามที่กำหนดหรือไม่ นั่นคือ ปริมาณความชื้นที่เหลือในวัสดุ ซึ่งเป็นการวัดปริมาณน้ำที่เหลือในวัสดุจะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

2.1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{w-d}{w} x100 \qquad (1)$$

เมื่อ M_w คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก, w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น (kg) และ d คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง (kg)

2.2 อัตราการอบแห้ง

การอบแห้งวัสดุชื้นใด ๆ ระยะเวลาในการอบแห้งถือเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องศึกษา เนื่องจากการอบแห้งด้วยระยะเวลานานจะส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์และค่าใช้จ่าย ซึ่งระยะเวลาในการอบแห้งจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของการลดปริมาณความชื้นในวัสดุ ถ้าค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งมีค่าสูง แสดงว่าปริมาณความชื้นที่แพร่กระจายออกจากวัสดุต่อเวลามีปริมาณสูงมาก ดังสมการที่ (3)

Drying rate $$\frac{dX}{dt} = \frac{X_0 - X}{t - t_0} x100 \qquad (2)$$

เมื่อ $X_0 - X$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของความชื้น

$t - t_0$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา

2.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง (Thermal efficiency) [5]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเป็นตัวบอกสมรรถนะของเครื่องอบแห้งได้ซึ่ง สามารถหาได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อพลังงานที่ให้กับระบบอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{th} = \frac{m_w h_{fg}}{I_T A_t (3600)} x100 \quad (3)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง (%), m_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg), I_T คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2), h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (kJ/kg) และ η_{th} คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแสงอาทิตย์ (m^2)

2.4 การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี (Annual Cost Method) [7]

การคิดค่าใช้จ่าย หรือ เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีของระบบ โดยเปลี่ยนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น เงินลงทุนเริ่มต้น ค่าดำเนินงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าเสื่อมราคาให้มาอยู่ในรูปค่าใช้จ่ายรายปี ถ้าระบบใดมีค่าใช้จ่ายปีต่ำกว่า แสดงว่าระบบนั้นน่าลงทุนมากกว่า โดยสมการในการคำนวณหาต้นทุนรายปี แสดงดังสมการ

$$AC = (P_1 + P_2)(CRF) + OM - (SSF) \quad (4)$$

โดยที่

$$CRF = \left[i(1+i)^n \right] / \left[(1+i)^n - 1 \right] \quad (5)$$

$$SFF = i / \left[(1+i)^n - 1 \right] \quad (6)$$

เมื่อ AC คือ ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บาท/ปี), P_1 คือ ค่าอุปกรณ์อื่น ๆ (บาท), P_2 คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ (บาท), OM คือ ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี (บาท/ปี), S คือ มูลค่าซากของระบบ (บาท), i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี, n คือ อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ปี), CRF คือ Capital recovery factor และ SFF คือ Sinking fund factor

2.5 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR) [9]

อัตราผลตอบแทนการลงทุน คือ อัตราส่วนลด ที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ เข้าใกล้ศูนย์ วิธีการนี้จะนำเอาอัตราดอกเบี้ยมาร่วมในการคำนวณด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น วิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน จะเป็นวิธีการหาโดยการลองผิดลองถูก (Trial and Error)

$$NPV = \sum_{n=1}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (7)$$

เมื่อ NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n (บาท), i คือ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน, n คือ อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ปี), TIC คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (บาท)

2.6 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback period, SPP) [8]

ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้จะทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง วิธีการคิดระยะคืนทุนเบื้องต้นเป็นวิธีคิดแบบง่าย และเป็นที่นิยมใช้แต่มีข้อเสียที่ไม่ได้พิจารณาถึง

ผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุน และไม่พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามเวลาในกรณีผลตอบแทน และค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี โดยระยะเวลาคืนทุนหาได้จาก สมการ

$$SPP = \frac{First\ Cost}{Cost\ Saving} \quad (8)$$

เมื่อ $First\ Cost$ คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท) และ $Cost\ Saving$ คือ ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

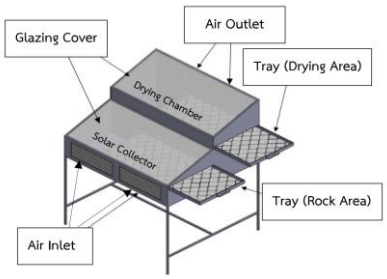
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบ ดังนี้

1) พริกที่ใช้ในการอบแห้งครั้งละ 2 kg ความชื้นเริ่มต้นของพริกประมาณ 75%w.b. และ ความชื้นสุดท้ายของพริกประมาณ 13%w.b. ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุในการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์

2) ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว/1 เครื่อง และ อัตราการไหล 3 ระดับ คือ 0.0142 m^3/s 0.0208 m^3/s และ0.0279 m^3/s

3.2 รูปแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดสอบ ลักษณะเครื่องอบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดัง **รูปที่ 1** ภายในห้องอบบรรจุหินภูเขาไฟเพื่อใช้เป็นตัวกักเก็บความร้อน และใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อระบายอากาศ 3 ระดับ ซึ่งเครื่องอบแห้งวางทำมุมรับแสงที่ 18° หันไปทางทิศใต้



รูปที่ 1 เครื่องอบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3 วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้การทดสอบ

1) พริก และ หินภูเขาไฟ

2) เครื่องวัดความเข้มแสง ยี่ห้อ SPM-1116SD ช่วงการวัด 0.0 ถึง 2,000.0 W/m^2 ความแม่นยำ ± 10 W/m^2

3) เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Wisco รุ่น DL 2200 ขนาด 8 ช่องสัญญาณ และ ตัวขยายสัญญาณ Analog Expansion Module EX24 ขนาด 16 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -250 °C ถึง 1,300 °C มีความแม่นยำ ± 0.1 °C

4) เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON DA-49SD ย่านการวัดความเร็วลมกว้าง 0.2 ถึง 35.0 m/s มีความแม่นยำ ± 0.01 m/s

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ โดยผู้วิจัยได้ทำแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1. ตู้อบแห้งที่ไม่ได้ใส่หินภูเขาไฟ และ 2. ตู้แอบแห้งที่ใส่หินภูเขาไฟ โดยเวลาการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 09.00 – 18.00 น. ทำการทดสอบที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก โดยมีขั้นตอนในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1) ทำการสร้างเครื่องอบแห้งตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแบ่งชุดทดสอบออกเป็น 3 ชุด ประกอบไปด้วย 1. ตู้อบแห้งที่ไม่ได้ใส่หินภูเขาไฟ 2. ตู้อบแห้งที่ใส่หินบะซอลต์ และ 3. ตู้อบแห้งที่ใส่หินพัมมิส

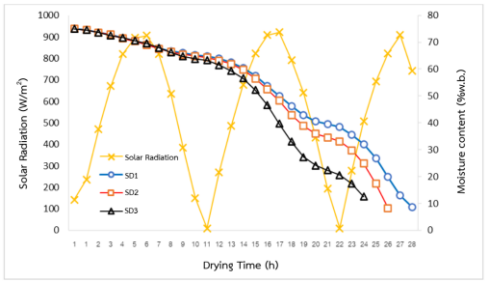
2) ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ และอุปกรณ์ในการตรวจวัดเข้ากับชุดทดสอบทั้ง 3 ชุด โดย ทำการบันทึกอุณหภูมิ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ทุก ๆ 5 วินาที และ ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 1 ชม. และนำข้อมูลที่ได้มาใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2.1) คำนวณหาการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามสมการที่ (1) – (2)

2.2) คำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์จากสมการที่ (3) – (8)

ผลการทดลองและวิจารณ์

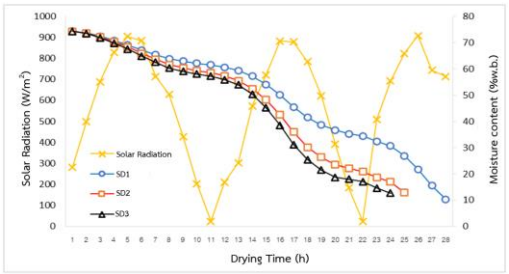
1. ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นพริกของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0142 m^3/s แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0142 m^3/s

จากรูปที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขอบตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0142 m^3/s พบว่า เครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 28 ชั่วโมง 26 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าทุกกรณี

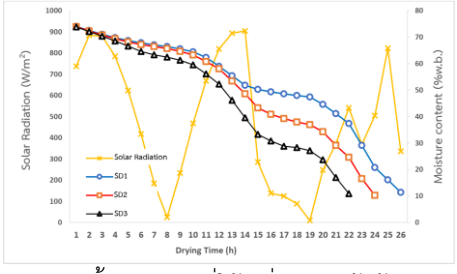
2. ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นพริกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0208 m^3/s แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0208 m^3/s

จากรูปที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขอบตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0208 m^3/s พบว่า เครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิส 27.15 ชั่วโมง 25.00 ชั่วโมง และ 23.20 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดในทุกกรณี

3. ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นพริกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0279 m^3/s แสดงดังรูปที่ 4

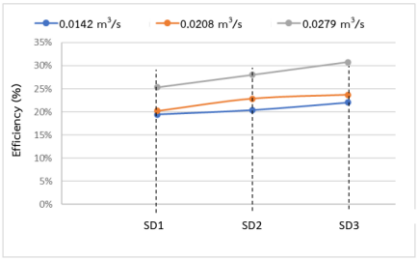


รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0279 m^3/s

จาก**รูปที่ 4** การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบแห้งทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0279 m^3/s พบว่า เครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิส 26.10 ชั่วโมง 24.20 ชั่วโมง และ 22.10 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดในทุกกรณี

จากผลการทดสอบทั้ง 3 แบบ และ 3 อัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ 2 – 4 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด คือ 0.0279 m^3/s และใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน จะช่วยในการระบายความชื้นภายในห้องอบได้ดีสุด โดยดูได้จากการใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยสุด คือ 22.10 ชั่วโมง

1.1 ผลของประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ

จาก**รูปที่ 5** จากผลการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0279 m^3/s และใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน โดยมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 30.73%

1.2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ [8] การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย 4 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน โดยผลที่ได้จากการคำนวณ แสดงดัง**ตารางที่ 1** โดยมีเงื่อนไขการพิจารณา ดังนี้

1.2.1 เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบพิจารณาจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงในการติดตั้ง
1.2.2 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายย่อยชั้นดี (Minimum Retail Rate, MRR) กำหนด 6.6 % ต่อปี
1.2.3 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดสะสมความร้อนด้วยหินภูเขาไฟในห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มต้นที่ 320 บาท และจะเพิ่มขึ้น 20% ต่อการเพิ่มจำนวนชุดสะสมความร้อน 1 ชุด
1.2.4 ค่าดำเนินงาน และค่าบำรุงรักษาระบบกำหนดให้เป็น 1% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
1.2.5 มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วเป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
1.2.6 ระบบอบแห้งทำงาน 9 ชั่วโมงต่อวัน (ตั้งแต่เวลา 9.00 – 18.00 น.)
1.2.7 อายุการใช้งานของระบบอบแห้ง 10 ปี

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อน

	(SD1)	(SD2)	(SD3)
AC (บาท/ปี)	978.23	1,157.42	1,201.58
NPV (บาท)	14,345.30	15,586.50	16,573.10
SPP (ปี)	1.80	2.14	2.35
IRR (%)	38.5	34.3	34.1

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อนที่ใช้สำหรับทดสอบ ของทั้ง 3 กรณี พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดติดตั้งชุดสะสมความร้อนด้วยหินภูเขาไฟนั้น มีผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งที่ไม่ได้ติดตั้งชุดสะสมความร้อนด้วยหินภูเขาไฟหรือไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนนั้นเอง

สรุป

จากการทดสอบอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อน โดยความชื้นเริ่มต้นก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอบประมาณ 75%w.b. ทำการอบพริกจนมีความชื้นสุดท้าย 13%w.b. ที่อัตราการไหลของอากาศ 3 ระดับได้แก่ 0.0142 m3/s 0.0208 m3/s และ 0.0279 m3/s ผลจากการทดสอบ สรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งที่เป็นเครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน จะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่ออัตราการไหลของอากาศหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศสูงสุด คือ 0.0279 m3/s โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 25.34%, 28.00% และ 30.73% ตามลำดับ โดยเครื่องอบแห้งพลังงาแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน จะใช้เวลาในการอบแห้งต่ำสุด คือ 23.20 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 30.73% ส่วนผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อนที่ใช้สำหรับทดสอบ ของทั้ง 3 กรณี พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดติดตั้งชุดสะสมความร้อนด้วยหินภูเขาไฟนั้น มีผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งที่ไม่ได้ติดตั้งชุดสะสมความร้อนด้วยหินภูเขาไฟหรือไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนนั้นเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้พื้นที่สำหรับจัดทำและทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เสริม จันทร์ฉาย. (2553). แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553.

[3] Islam, M., Islam, M. I., Tusar, M., & Limon, A. H. 2019. Effect of cover design on moisture removal rate of a cabinet type solar dryer for food drying application. Energy Procedia, vol. 160 2019: pp. 769-776.

[4] ณัฐวุฒิ หงส์จันทร์ และคณะ (2564). ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์.วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรันทร์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม –มิถุนายน 2564 : pp 47-59

[5] วิจิตรา ภูมิสวัสดิ์ (2017). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยรางพาราโบลิก, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, pp. 46-56.

[6] พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ. (2565). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบไฮบริดแบบมีระบบแจ้งเตือน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2565 : pp 175 – 189.

[7] สุห์ดี นิเซ็ง, ภาณุมาศ สุยบางดำ, กฤษณพงค์ สังขวาสี, สุพัตรา เพ็งเกลี้ยง. (2562). การศึกษาผลของขนาดช่องระบายความชื้นสำหรับการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานผสมผสาน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2562 : pp 158-168.

[8] ยุธนา ศรีอุดม อนุรัตน์ เทวตา และเอกนัฏฐ์ กระจ่างธิมาพร. (2564). การศึกษาเชิงทดสอบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการใช้ท่อความร้อนสำหรับการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ, ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2564 : pp 62-73.

20P-07

การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์มีที่ปฏิกิริยาโฟโตคะทาไลติกภายใต้แสงที่มองเห็นได้ด้วยวิธีการคาโทดิกอาร์ค

Preparation of Visible Light Active Photocatalytic Titanium Oxynitride Thin Films by Cathodic Arc Deposition

วิโรจน์ เครือภู่[1] อรรถพล เชยศุภเกตุ[2] และ ธนัสถา รัตนะ[3*]
Wirote Kruapoo[1] Attapol Choeysuppaket[2] and Tanattha Rattana[3*]
[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย บูรพา ชลบุรี 20131
[2]อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
[3*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
โทรศัพท์ : 038 103011, โทรสาร : 038 393496 E-mail : tanattha@go.buu.ac.th

บทคัดย่อ

ไทเทเนียมออกซีไนไตรท์ถูกเตรียมในรูปแบบของฟิล์มบางโดยเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยวิธีรีแอกทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงและอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยการแปรค่าอัตราส่วนการไหลแก๊สไนโตรเจนต่อออกซิเจน 0.3 0.8, และ 1.4 ฟิล์มบางทั้งหมดถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตแคตาไลติกโดยการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นเริ่มต้น 1×10^{-5} โมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มองเห็นได้จากหลอดไฟ LED ฟิล์มบางที่เคลือบด้วยอัตราส่วนการไหลแก๊สเท่ากับ 1.4 สามารถย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูได้สูงสุดประมาณ 56.8 % ภายใต้เวลาการฉายแสง 150 นาที

คำสำคัญ :ไทเทเนียมออกซีไนไตรท์; ฟิล์มบาง; คาโทดิกอาร์ค; กระบวนการโฟโตคะทาไลติก; แสงที่มองเห็นได้

Abstract

Titanium oxynitride were prepared in the form of thin film on glass slides by cathodic arc deposition with the different nitrogen/oxygen flow ratios of 0.3, 0.8, and 1.4 and annealing at the temperature of 500 °C. All thin films were employed as photocatalysts to investigate their efficiency in the photocatalytic degradation of methylene blue solution with an initial concentration of 1×10^{-5} M under visible light irradiation with an LED lamp. A thin film deposited with a gas flow ratio of 1.4 could degrade the methylene blue solution by up to approximately 56.8 % under 120 minutes of visible light irradiation.

Keywords : Titanium Oxynitride; Thin film; Cathodic arc; Photocatalytic process; Visible light

บทนำ

น้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ เช่น กลุ่มสารอะโรมาติก แอลกอฮอล์ ฟีนอล สารย้อมสีในน้ำที่ปล่อยออกมาจากภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตรและชุมชนบ้านเรือน เป็นปัญหามลพิษทางน้ำที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศอย่างรุนแรง ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อความสมดุลของสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำเหล่านั้น เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถละลายน้ำได้ดี ย่อยสลายยากและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต การบำบัดน้ำเสียจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าว กระบวนการบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การออกซิเดชัน การใช้จุลินทรีย์ และกระบวนการทางชีวภาพ เป็นต้น (Zheng, et a (2013) [1] Miklos, et al (2018)[2] และ Dai, et al(2021) [3] ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลาการบำบัด มีการสารเคมี วัสดุหรือจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ทำให้มีต้นทุนในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโฟโตคะทาไลติก (Photocatalytic process) เป็นวิธีที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนและสะอาดแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีเพื่อย่อยสลายสารมลพิษให้กลายเป็นสารที่ปลอดภัยมากขึ้น(Hashimoto, et al (2005) [4]) โดยปฏิกิริยาโฟโตคะทาไลติกที่ใช้ไทเทเนียมออกซีไนไตรท์ (Titanium Oxynitride) เป็นสารคะทาไลต์เป็นวิธีที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นสารที่มีเสถียรภาพทางเคมีและเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียรวมถึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น(Khwansungnoen, et al (2021)[5] และ Demeter, et al (2017[6]) ทำให้สามารถใช้ในกระบวนการโฟโตคะทาไลติกได้ดีกว่าเมื่อเทียบสารไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ โดยวิธีการเตรียมไทเทเนียมออกซีไนไตรท์มีหลายวิธี เช่น วิธีโซล-เจล(sol-gel) สปัตเตอริง(sputtering) และวิธีวิธีคาโทดิก(cathodic arc deposition) เป็นต้น (Wang, et al (2012)[7] Kim, et al (2022) [8] Martin, et al (2024) [9] และ Pana, et al (2020) [10]) ซึ่งวิธีวิธีคาโทดิกเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการเตรียมไทเทเนียมออกซีไนไตรท์ให้อยู่ในรูปแบบฟิล์มบาง เนื่องจากเป็นวิธีการเคลือบฟิล์มบางที่มีการยึดเกาะที่ดีกับพื้นผิววัสดุรองรับและมีอัตราการเคลือบที่สูงเมื่อเทียบกับการเคลือบฟิล์มบางวิธีอื่นเช่น วิธีสปัตเตอริง รวมถึงฟิล์มบางที่เคลือบได้มีความบริสุทธิ์สูงและไม่ใช้สารเคมีในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมไทเทเนียมออกซีไนไตรท์บนแผ่นกระจกในรูปแบบฟิล์มบางด้วยวิธีคาโทดิกอาร์คภายใต้เงื่อนไขการให้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนค่าต่าง ๆ ในระหว่างการเคลือบฟิล์มบาง ฟิล์มบางที่เคลือบได้จะนำไปศึกษาโครงสร้างผลึก คุณสมบัติทางแสงและทดสอบการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำโดยใช้ตัวอย่างเป็นสารละลายเมทิลีนบลูและกระตุ้นด้วยแสงในช่วงตามองเห็นโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสง (LED)

อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรท์ด้วยวิธีคาโทดิกอาร์ค ในภาชนะสุญญากาศที่ติดตั้งเป้าสารเคลือบไทเทเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ใช้กระจกสไลด์เป็นวัสดุรองรับ (substrate) ก่อนกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง ภาชนะสุญญากาศถูกดูดอากาศจนได้ระดับความดันฐาน (base pressure) ที่ 5.0×10^{-5} มิลลิบาร์ โดยใช้ปั๊มแพร่ไอที่หนุนหลังด้วยปั๊มกลโรตารี่ ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรท์ จะทำการอาร์คหน้าเป้าสารเคลือบไทเทเนียม โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 40 แอมแปร์ เพื่อทำให้อะตอมของเป้าสารเคลือบไทเทเนียมหลุดออกและทำการปล่อยแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนในระบบภาชนะสุญญากาศเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับอะตอมไทเทเนียมที่หลุดจากเป้าสารเคลือบกลายเป็นฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรท์เคลือบบนกระจกสไลด์ต่อไป โดยเงื่อนไขของการเคลือบฟิล์มบางจะทำการเคลือบฟิล์มโดยให้อัตราไหลของแก๊สออกซิเจนคงที่และให้การไหลแก๊สไนโตรเจนเป็นอัตราส่วนกับออกซิเจน (N:O flow ratio) เป็น0.3, 0.8, และ 1.4 ตามลำดับ ทำการเคลือบฟิล์มบางเป็นเวลา 20 นาที และนำฟิล์มบางที่เคลือบได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทุกเงื่อนไขการเคลือบ

ฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดถูกศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (RIGAKU Smart Lab) สมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาทางแสงของฟิล์มบางโดยนำตัวอย่างฟิล์มไทเทเนียมออกซีไนตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ขนาด 2.54 × 2.54 ตารางเซนติเมตร แช่ในสารละลายเมทิลีนบลู (Methylene Blue; $C_{16}H_{18}ClN_3S$, $3H_2O$) ความเข้มข้น 1×10^{-5} โมล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที เพื่อเข้าสู่สมดุลการดูดซับ-คายซับ (Adsorption-desorption equilibrium) จากนั้นฉายแสงที่ตามองเห็นได้ด้วยหลอดไฟ LED ขนาด 30 วัตต์ (Sylvania Vision LED III) เป็นเวลา 150 นาที พร้อมวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายทุก ๆ 30 นาทีด้วยเครื่อง UV–Visible

Spectrophotometer (Agilent Technology Cary 8454) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู

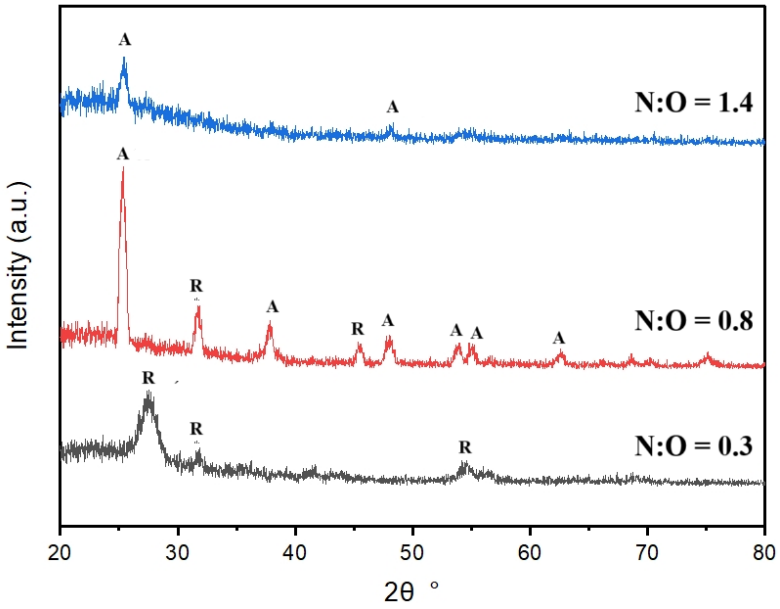
ผลการทดลองและวิจารณ์

ฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกกระจกสไลด์ด้วยวิธีคาทอลิกอาร์ค โดยรูปที่ 1 แสดงการอาร์คที่หน้าเป้าสารเคลือบไทเทเนียมของในระหว่างการการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีคาโทดิกอาร์ค ภายใต้บรรยายกาศของแก๊สไนโตรเจนกับแก๊สออกซิเจน ซึ่งจุดที่เกิดการอาร์คจะมีความร้อนสูงมากทำให้อะตอมของไทเทเนียมหลุดออกมาจากหน้าเป้าสารเคลือบไทเทเนียมและไปทำปฏิกิริยากับแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนกลายเป็นฟิล์มบางฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรท์เคลือบนกระจกสไลด์



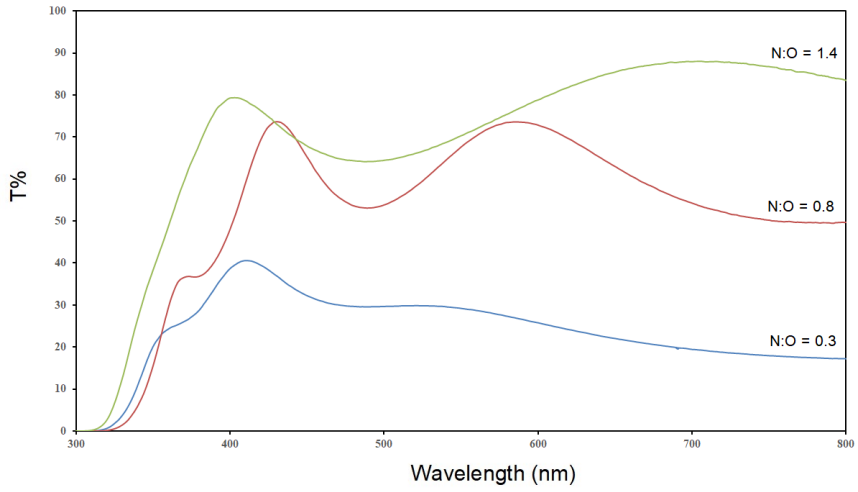
รูปที่ 1 การอาร์คที่หน้าเป้าสารเคลือบไทเทเนียมในระหว่างการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์

รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD patterns) ของฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์เคลือบบนกระจกสไลด์ภายใต้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนค่าต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2 โดยพบว่าฟิล์มบางที่ถูกเตรียมภายใต้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 0.3 พบพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับเฟสรูไทล์ (Rutile; R) ของไทเทเนียมออกไซด์ โดยพบพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มสูงสุดที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 27.5° ซึ่งสอดคล้องกับระนาบ (110) ของเฟสรูไทล์ ตามข้อมูลจากบัตร JCPDS หมายเลข 21–1276 เมื่ออัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 และ 1.4 พบพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับเฟสอะนาเทส (Anatase; A) ของไทเทเนียมออกไซด์ โดยพบพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในเฟสอะนาเทส ที่เด่นชัดที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25.3° ซึ่งสอดคล้องกับระนาบ (101) ของเฟสอะนาเทสตามข้อมูลจากบัตร JCPDS หมายเลข 21–1272 นอกจากนี้ ยังพบว่าความเด่นชัดของพีคของเฟสรูไทล์มีค่าลดลง เมื่ออัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นและไม่พบพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในเฟสรูไทล์ เมื่ออัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1.4 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงเฟสของไทเทเนียมออกซีไนไตรด์เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแทรกตัวของอะตอมไนโตรเจนเข้าไปในโครงผลึกของไทเทเนียมออกไซด์ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งการแทนที่ตำแหน่งของออกซิเจน (substitutional) หรือแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของโครงสร้างผลึก (interstitial) ทำให้เกิดการบิดเบือนของโครงสร้างผลึก ซึ่งส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเกิดของเฟสรูไทล์และส่งเสริมการก่อตัวของเฟสอะนาเทสที่เพิ่มมากขึ้น (Bu, et al (2012) [11] และ Breeson, et al (2016) [12])



รูปที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์ที่เคลือบภายใต้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนค่าต่าง ๆ

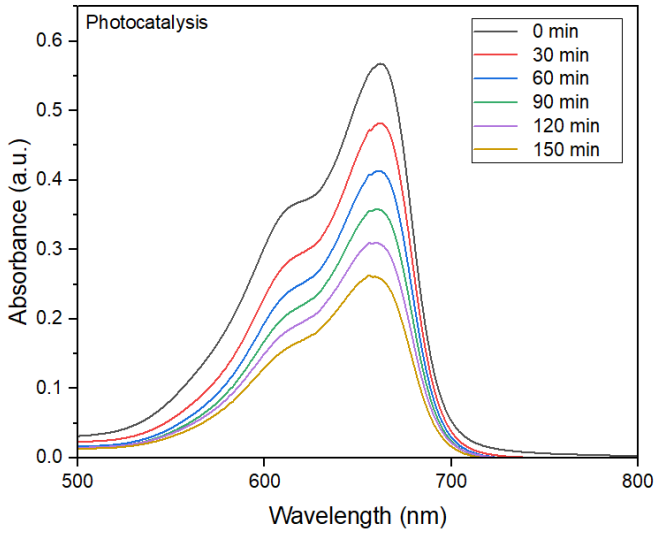
สเปกตรัมการส่งผ่านของแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์ที่เคลือบที่เคลือบบนกระจกสไลด์ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 3 ผลการวัดการส่งผ่านแสงพบว่าเกิดริ้วการแทรกสอดซึ่งเกิดจากผิวฟิล์มบางและวัสดุรองรับมีดัชนีหักเหที่ต่างกัน และเมื่อเพิ่มอัตราของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์มีลักษณะการส่งผ่านแสงที่เพิ่มสูงขึ้น โดยฟิล์มบางที่เคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 0.3 0.8, และ 1.4 มีค่าการส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นหรือแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400–800 นาโนเมตร เฉลี่ยประมาณ 25%, 60%, และ 78% ตามลำดับและพบว่ามีขอบเขตการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ 355, 365, และ 390 นาโนเมตร ตามลำดับ



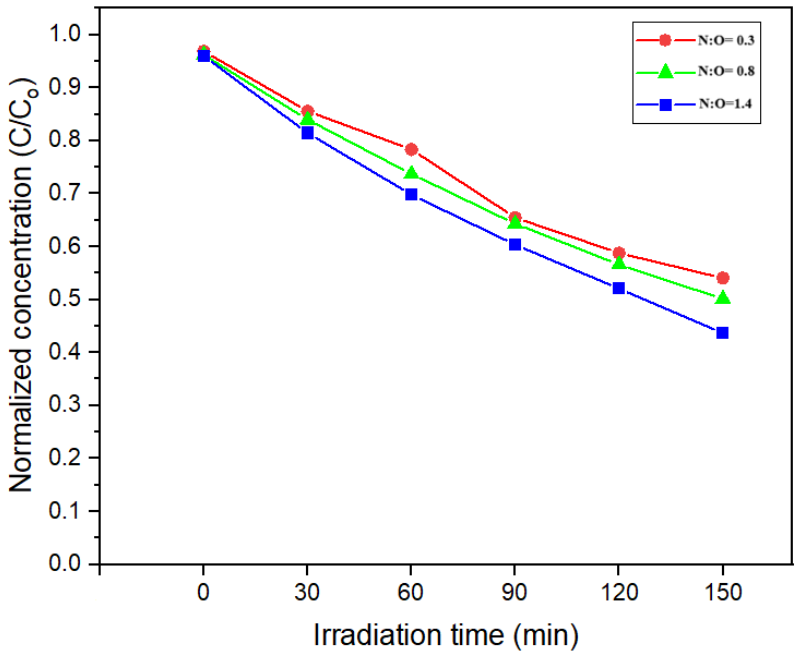
รูปที่ 3 ค่าการส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นของฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์ที่เคลือบภายใต้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนค่าต่าง ๆ

สมบัติโฟโตคะทาไลติกของฟิล์มบางฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์ถูกทดสอบโดยใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งในที่นี้ใช้สารละลายเมทิลีนบลูเป็นสารทดสอบ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ภายใต้การฉายแสงในช่วงที่ตามองเห็นจากหลอดไฟ LED ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยรูปที่ 4 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูที่ถูกย่อยสลายด้วยฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรด์ ซึ่งเคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 1.4 จากกราฟจะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูลดลงอย่างต่อเนื่อง

เมื่อระยะเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่าการย่อยสลายของเมทิลีนบลูมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามระยะเวลาในการฉายแสงจากหลอดไฟ LED



รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูภายใต้ระยะเวลาการฉายแสงที่ตามองเห็นที่แตกต่างกัน สำหรับฟิล์มบางที่เคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 1.4



รูปที่ 5 อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารละลายเมทิลีนบลูของฟิล์มบางที่เคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนค่าต่างๆ ภายใต้การฉายแสงในช่วงตามองเห็น

รูปที่ 5 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารละลายเมทิลีนบลูเป็นฟังก์ชันของเวลาในการฉายแสง ผลการทดลองพบว่าฟิล์มบางที่เคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 1.4 เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารละลายเมทิลีนบลูมากที่สุดหลังจากฉายแสง LED เป็นเวลา 150 นาที โดยสามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูได้ 56.8% ส่วนฟิล์มบางที่เคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 0.3 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำที่สุด โดยสามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูได้ 46.2% ซึ่งฟิล์มบางที่เคลือบที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อแก๊สออกซิเจนเป็น 1.4 มีประสิทธิภาพประสิทธิภาพโฟโตคะทาไลติกสูงที่สุด เป็นผลจากการที่ฟิล์มบางดังกล่าวมีโครงสร้างผลึกในเฟสอนาเทสอย่างเดียว ซึ่งเฟสอนาเทสมีค่าแถบช่องว่าง

พลังงาน(band gap) ที่กว้างกว่าเฟสรูไทล์ ทำให้ช่วงเวลาในการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ที่ยาวนานขึ้น และลดการรวมตัวซ้ำ (recombination) ทำให้มีประสิทธิภาพโฟโตคะทาไลติกสูงกว่าเมื่อเทียบตัวอย่างที่มีเฉพาะเฟสรูไทล์หรือตัวอย่างที่มีโครงสร้างผลึกแบบผสมระหว่างเฟสอนาเทสและรูไทล์ (rutile) ผสมกัน (Zhang, et al(2014) [13] และ Luttrell, et al (2014) [14])

สรุป

ฟิล์มบางไทเทเนียมออกซีไนไตรท์ที่เตรียมด้วยวิธีคาโทดิกอาร์คภายใต้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนในช่วง 0.3 ถึง 1.4 และผ่านอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส สามารถเป็นวัสดุโฟโตคะทาไลต์ที่สามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูได้ภายใต้แสงที่ตามองเห็นจากหลอด LED ทั่วไป โดยสามารถย่อยสลายเมทิลีนบลูได้สูงสุด 56.8% ภายในการฉายแสง เป็นเวลา150 นาที ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ด้วยกระบวนการโฟโตคะทาไลติกที่ใช้แสงในช่วงที่ตามองเห็นเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของวัสดุเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีศักยภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนบางส่วนจากอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคตะวันออก มหาวิทยาลัยบูรพา

เอกสารอ้างอิง

[1] Zheng, C., Zhao, L., Zhou, X., Fu, Z. and Li, A. 2013. Treatment technologies for organic wastewater. Water treatment. 11: 250-286.

[2] Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G., Drewes, J. E. and Hübner, U. 2018. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment–A critical review. Water research, 139, 118-131.

[3] Dai, Z., Ren, P. G., Zhang, H., Gao, X. and Jin, Y. L. 2021. Nitrogen-doped and hierarchically porous carbon derived from spent coffee ground for efficient adsorption of organic dyes. Carbon Letters, 1-12.

[4] Hashimoto, K., Irie, H. and Fujishima, A. 2005. TiO_2 photocatalysis: a historical overview and future prospects. Japanese journal of applied physics, 44(12R), 8269.

[5] Khwansungnoen, P., Chaiyakun, T., Suwanboon, S. and Rattana, T. 2021. The influence of nitrogen partial pressure on visible-light-driven photocatalytic activity of sputtered titanium oxynitride thin films. Vacuum, 193: 110540.

[6] Demeter, A., Samoila, F., Tiron, V., Stanescu, D.,Magnan, H., Straticiuc, M. and Sirghi, L. 2017. Visible-light photocatalytic activity of TiO_xN_y thin films obtained by reactive multi-pulse High Power Impulse Magnetron Sputtering. Surface and Coatings Technology, 324: 614-619.

[7] Wang, W., Savadogo, O. and Ma, Z. F. 2012. Preparation of new titanium oxynitride based electro catalysts using an anhydrous sol-gel method for water electrolysis in acid medium. International journal of hydrogen energy, 37(9), 7405-7417.

[8] Kim, I. I., Surovtseva, M. A., Poveshchenko, O. V., Bondarenko, N. A., Chepeleva, E. V. and Zhuravleva, I. Y. 2022. Biocompatibility of Titanium Oxynitride Coatings Deposited by Reactive Magnetron Sputtering. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 173(6), 779-783.

[9] Martin, N., Cote, J. M., Gavoille, J. and Rauch, J. Y. 2024. Titanium oxynitride thin films by the reactive sputtering process with an independent pulsing of O2 and N2 gases. Thin Solid Films, 796, 140340.

[10] Pana, I., Braic, V., Dinu, M., Mouele, E. S. M., Parau, A. C., Petrik, L. F. and Braic, M. 2020. In vitro corrosion of titanium nitride and oxynitride-based biocompatible coatings deposited on stainless steel. Coatings, 10(8), 710.

[11] Bu, X., Zhang, G. and Zhang, C. 2012. Effect of nitrogen doping on anatase–rutile phase transformation of TiO_2. Applied surface science, 258(20), 7997-8001.

[12] Breeson, A. C., Sankar, G., Goh, G. K. L. and Palgrave, R. G. 2016. Rutile to anatase phase transition induced by N doping in highly oriented TiO_2 films. Physical Chemistry Chemical Physics, 18(35), 24722-24728.

[13] Zhang, J., Zhou, P., Liu, J. and Yu, J. 2014. New understanding of the difference of photocatalytic activity among anatase, rutile and brookite TiO_2. Physical Chemistry Chemical Physics, 16(38), 20382-20386.

[14] Luttrell, T., Halpegamage, S., Tao, J., Kramer, A., Sutter, E. and Batzill, M. 2014. Why is anatase a better photocatalyst than rutile?-Model studies on epitaxial TiO_2 films. Scientific reports, 4(1), 4043.

20P-08

ระบบตรวจจับหมวกนิรภัยเพื่อสตาร์ทรถจักรยานยนต์
Helmet Detection System for Starting Motorcycle

นวพล ม่วงเอี่ยม[1] ธนพล จันทร์สุข[2] สมคิด สุขสวัสดิ์[3] และ เอกลักษณ์ สุมนพันธุ์[4*]
Nawapon Mungeam[1] Thanaphon Jansuk[2] Somkit Suksawat[3] and Ekkalak Sumonphan[4*]
[1-2]นักศึกษา; [3]อาจารย์; [4*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 63000
*โทรศัพท์ : 055-515900, โทรสาร : 055-511833, E-mail : Ekkalak@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลกเนื่องจากมีความคล่องตัวสูง แต่ถึงกระนั้น รถจักรยานยนต์ยังมีระดับความปลอดภัยต่ำกว่ารถยนต์มาก โดยเฉพาะกรณีที่ผู้ขับขี่ไม่สวมหมวกนิรภัย ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากอุบัติเหตุอย่างมาก ข้อมูลปี 2564 ระบุว่า 74.4% ของผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทยเกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ และในจำนวนนี้ 92.8% ไม่ได้สวมหมวกนิรภัย แสดงให้เห็นว่าการสวมหมวกนิรภัยมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดความเสี่ยงเพื่อลดความเสี่ยงนี้ การพัฒนาระบบตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยที่ป้องกันการสตาร์ทรถจักรยานยนต์หากผู้ขับขี่ไม่สวมหมวก จึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการเพิ่มความปลอดภัย ระบบนี้ใช้เทคโนโลยี Bluetooth เชื่อมต่อระหว่างหมวกนิรภัยกับรถจักรยานยนต์ หากผู้ขับขี่สวมหมวก ระบบจะอนุญาตให้สตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ซึ่งช่วยให้การขับขี่เป็นไปอย่างปลอดภัยมากขึ้น อีกทั้งการเพิ่มเซนเซอร์ตรวจจับชีพจรบนหมวกนิรภัยยังเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบการสวมใส่หมวกนิรภัย ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการตรวจจับ การออกแบบระบบนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ขับขี่ แต่ยังช่วยลดอุบัติเหตุที่เกิดจากการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร และช่วยปลูกฝังวินัยในการขับขี่ที่ปลอดภัย การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยนี้จึงเป็นการลงทุนในความปลอดภัยของสังคมในระยะยาว และช่วยลดภาระทางการแพทย์ที่เกิดจากอุบัติเหตุ

คำสำคัญ : การป้องกันการสตาร์ทรถจักรยานยนต์; ไมโครคอนโทรลเลอร์; รีเลย์; ระบบฉุกเฉิน; เซนเซอร์

Abstract

Motorcycles are currently a widely popular form of transportation but are less safe than cars, particularly when riders do not wear helmets, increasing the risk of injury and fatality. Data from 2021 shows that 74.4% of road fatalities in Thailand involved motorcycles, and of these, 92.8% were not wearing helmets, emphasizing the importance of helmet use. Developing a helmet detection system that prevents starting the motorcycle if the rider isn't wearing a helmet is a crucial step toward improving safety. This system uses Bluetooth to connect the helmet and motorcycle, allowing the engine to start only if the helmet is worn, and incorporates a pulse sensor for added accuracy. This system not only enhances rider safety but also reduces accidents, promotes traffic law compliance, invests in long-term societal safety, and helps alleviate the medical burden from accidents.

Keywords : Emergency System; Microcontroller; Motorcycle Start Prevention; Relay; Sensor

1. บทนำ

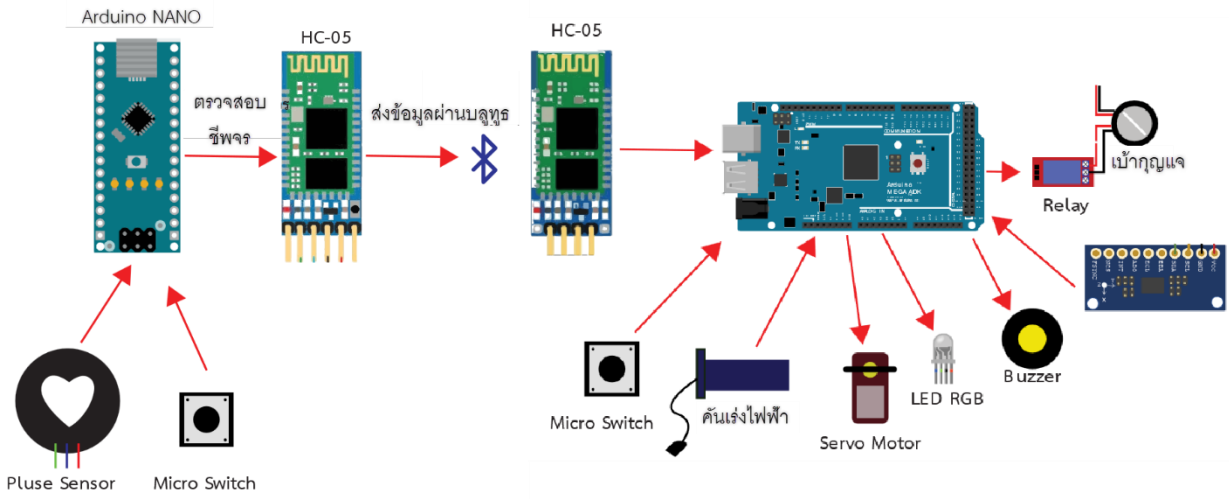
ในปัจจุบัน รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลกเนื่องจากมีความคล่องตัวสูง แต่ถึงกระนั้น รถจักรยานยนต์ยังมีระดับความปลอดภัยต่ำกว่ารถยนต์มาก โดยเฉพาะกรณีที่ผู้ขับขี่ไม่สวมหมวกนิรภัย ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากอุบัติเหตุอย่างมาก [1] ได้ทำการศึกษาระดับของการนำนโยบายสวมหมวกนิรภัยเพื่อการขับขี่ปลอดภัยบนท้องถนนไปปฏิบัติในจังหวัดปทุมธานี และเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำนโยบายไปปฏิบัติ จากการศึกษาพบว่าสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของอุบัติเหตุและความรุนแรงคือ การไม่สวมหมวกนิรภัยขณะขับขี่รถจักรยานยนต์ [2] ข้อมูลปี 2564 ระบุว่า 74.4% ของผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทยเกี่ยวข้องกับรถจักรยานยนต์ และในจำนวนนี้ 92.8% ไม่ได้สวมหมวกนิรภัย แสดงให้เห็นว่าการสวมหมวกนิรภัยมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดความเสี่ยงเพื่อลดความเสี่ยงนี้ นอกเหนือจากมาตรการด้านนโยบาย ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีก็มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพของรถจักรยานยนต์ การพัฒนาระบบการฉีดเชื้อเพลิง และการปรับปรุงเครื่องยนต์ให้สามารถใช้เชื้อเพลิงทางเลือก เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 [3] เป็นตัวอย่างหนึ่งของการพัฒนาที่มุ่งเน้นประสิทธิภาพและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกัน การพัฒนาระบบสตาร์ตรถจักรยานยนต์ผ่านโทรศัพท์มือถือ [4] นับว่าเป็นอีกหนึ่งตัวอย่างของเทคโนโลยีที่อาจช่วยเพิ่มความปลอดภัยในด้านการป้องกันการโจรกรรม

การพัฒนาระบบตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยที่ป้องกันการสตาร์ทรถจักรยานยนต์หากผู้ขับขี่ไม่สวมหมวก จึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการเพิ่มความปลอดภัย ระบบนี้ใช้เทคโนโลยี Bluetooth เชื่อมต่อระหว่างหมวกนิรภัยกับรถจักรยานยนต์ หากผู้ขับขี่สวมหมวก ระบบจะอนุญาตให้สตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ซึ่งช่วยให้การขับขี่เป็นไปอย่างปลอดภัยมากขึ้น อีกทั้งการเพิ่มเซนเซอร์ตรวจจับชีพจรบนหมวกนิรภัยยังเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบการสวมใส่หมวกนิรภัย ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการตรวจจับ การออกแบบระบบนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ขับขี่ แต่ยังช่วยลดอุบัติเหตุที่เกิดจากการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร และช่วยปลูกฝังวินัยในการขับขี่ที่ปลอดภัย การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการสวมหมวกนิรภัยนี้จึงเป็นการลงทุนในความปลอดภัยของสังคมในระยะยาว และช่วยลดภาระทางการแพทย์ที่เกิดจากอุบัติเหตุ

2. การวิเคราะห์ออกแบบระบบ

2.1 หลักการทำงานและภาพรวมของระบบ

งานวิจัยนี้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการควบคุม ประกอบด้วย Arduino NANO ติดไว้ที่หมวกนิรภัย และ Arduino UNO ติดไว้ที่รถจักรยานยนต์ [5] โดยเชื่อมต่อผ่านโมดูลบลูทูธ ภายในหมวกนิรภัยมีเซ็นเซอร์ตรวจจับชีพจร สำหรับป้องกันกลโกงของผู้ขับขี่ และไมโครสวิตช์บริเวณสายรัดคาง สำหรับตรวจจับการล็อกสายรัดคางไมโครคอนโทรลเลอร์ในรถจักรยานยนต์สำหรับรับค่าการเร่งผ่านคันเร่งไฟฟ้าที่ได้แทนที่คันเร่งแบบสาย แล้วนำไปควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ผ่านลิ้นเร่ง โดยจะสามารถใช้งานได้เมื่อผู้ใช้สวมหมวกนิรภัยอย่างถูกต้อง อีกทั้งยังเชื่อมต่อหน่วยของการส่งเสียง (Buzzer) เพื่อแจ้งเตือนแก่ผู้ใช้ทราบรวมทั้งแสดงผ่านไฟ LED RGB เมื่อระบบตรวจพบการสวมใส่แล้วจะสับรีเลย์เพื่อให้สามารถสตาร์ทรถได้ กรณีที่ระบบพบว่าผู้ใช้งานไม่สวมหมวกนิรภัยจะตรวจจับการเคลื่อนที่ผ่าน Accelerometer เพื่อให้ลดความเร็วของรถจักรยานยนต์ลงจนเหลือ 0 ภาพรวมของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 1

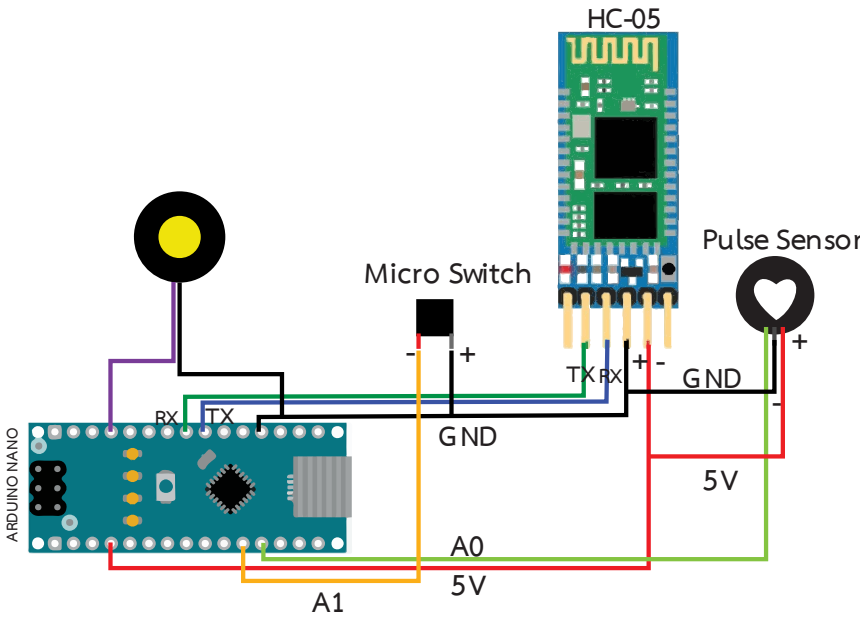


รูปที่ 1 ผังการทำงานโดยรวมของระบบ

ในการทดลองนี้ เลือกรถจักรยานยนต์ระบบออโตเมติกที่ใช้สายพาน เนื่องจากระบบนี้ไม่มีเกียร์ซึ่งช่วยลดอันตรายที่อาจเกิดจากความไม่สัมพันธ์ของความเร็วและเกียร์ โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ต้องหยุดรถขณะเคลื่อนที่ซึ่งมักทำให้เกิดการสะบัดในรถระบบเกียร์ ดังนั้น จึงเลือกรถจักรยานยนต์ Yamaha Fino รุ่นปี 2011 ซึ่งใช้ระบบออโตเมติกเพื่อลดความเสี่ยงและเพิ่มความปลอดภัยในการทดลอง

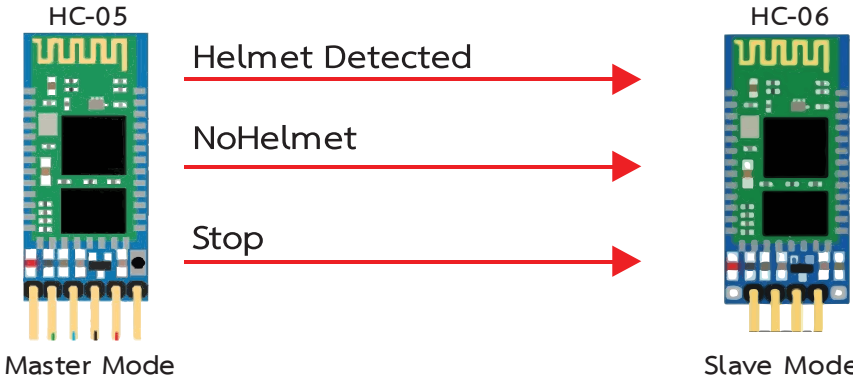
2.2 ส่วนของหมวกนิรภัย

เมื่อผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์สวมหมวกนิรภัย ตัววัดชีพจรที่ติดอยู่ในหมวกจะเริ่มทำการตรวจหาชีพจรของผู้สวมใส่ เมื่อตรวจพบการสวมใส่หมวกนิรภัย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณผ่านโมดูลตัวส่งสัญญาณ Bluetooth ไปที่ตัวรับสัญญาณของโมดูล Bluetooth อีกตัว ซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งอยู่กับตัวรถจักรยานยนต์ แสดงดังรูปที่ 2 กรณีที่ตรวจไม่พบหมวกนิรภัยเกินกว่า 30 วินาที ระบบจะส่งสัญญาณไปยังบอร์ดในรถจักรยานยนต์เพื่อให้ตัดการควบคุมคันเร่งในกรณีที่รถจักรยานยนต์เคลื่อนที่



รูปที่ 2 ผังอุปกรณ์ภายในหมวกนิรภัย

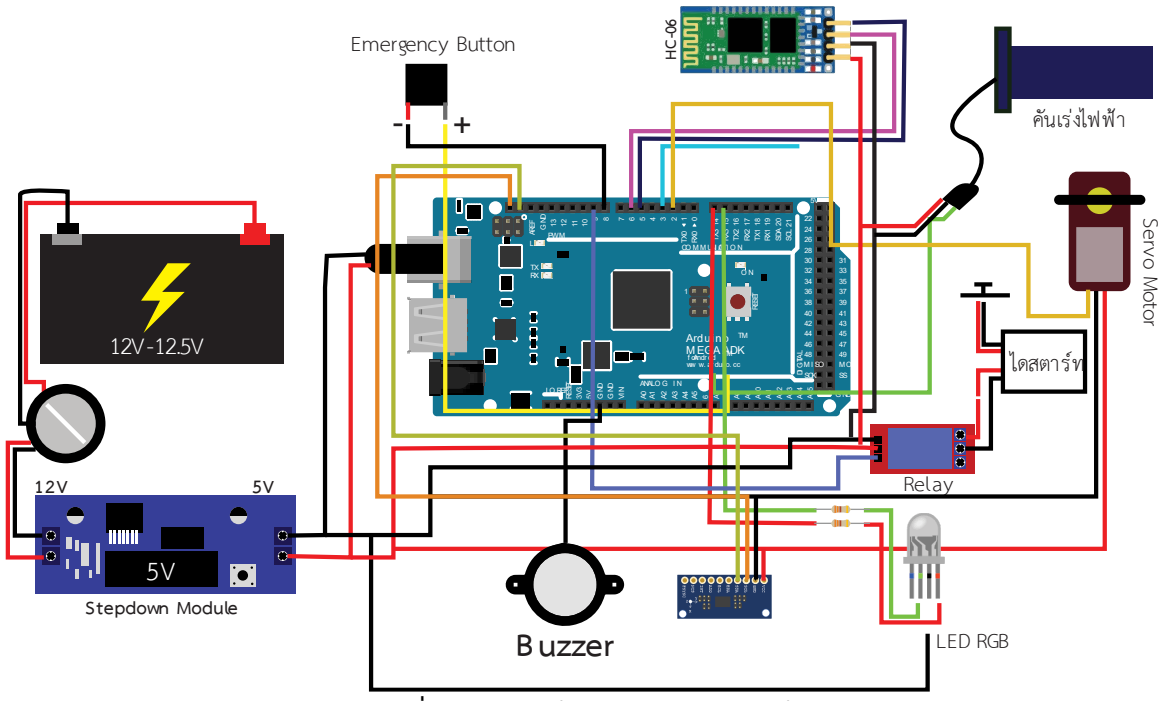
โดยข้อมูลที่ส่งออกจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน เมื่อหมวกนิรภัยได้รับเงื่อนไขถูกต้องจะส่งสัญญาณไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในรถจักรยานยนต์ว่า “Helmet Detected” แต่หากไม่พบหมวกนิรภัยจะส่งคำว่า “No Helmet” และหากเกินกว่า 30 วินาทีจะส่งคำว่า “Stop” ตามรูปที่ 3 เพื่อหยุดรถจักรยานยนต์กรณีที่ยังเคลื่อนที่



รูปที่ 3 การส่งข้อความติดต่อสื่อสารของบลูทูธ

2.3 ส่วนของรถจักรยานยนต์

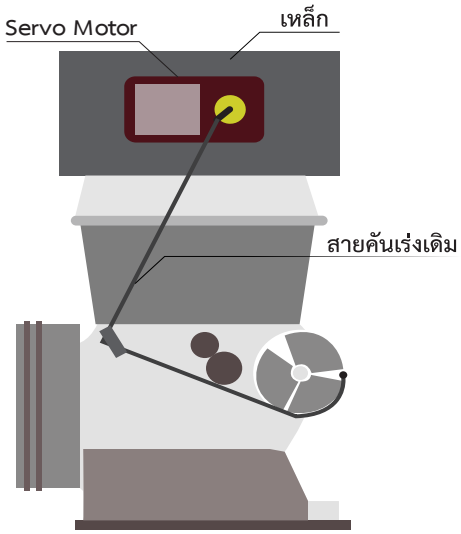
ส่วนของประมวลผลจะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เชื่อมต่อกับคันเร่งไฟฟ้า โมดูลบลูทูธ สวิตช์ฉุกเฉิน เซอร์โวมอเตอร์ และอุปกรณ์ส่งเสียง เมื่อได้รับข้อความจากโมดูลบลูทูธที่ติดบริเวณหมวกนิรภัย จะสับเปลี่ยนรีเลย์ให้ครบวงจรสตาร์ทได้ คันเร่งไฟฟ้าจะใช้สูตรการคำนวณแบบ Linear Mapping เพื่อให้ค่าของการบิดคันเร่งสอดคล้องกับการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อให้ดึงสายลิ้นเร่งได้ สำหรับไฟที่ใช้สำหรับเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ไฟจากแบตเตอรี่ของ รถจักรยานยนต์ ซึ่งมีแรงดันไฟอยู่ที่ 12V ต่อผ่านโมดูลแบ่งแรงดันให้เหลือ 5V สำหรับต่อเข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่ให้แรงดันไฟเกินกว่าบอร์ดจะรับได้ แสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังอุปกรณ์ภายในรถจักรยานยนต์

2.4 การออกแบบอุปกรณ์ส่วนการควบคุมลิ้นเร่ง

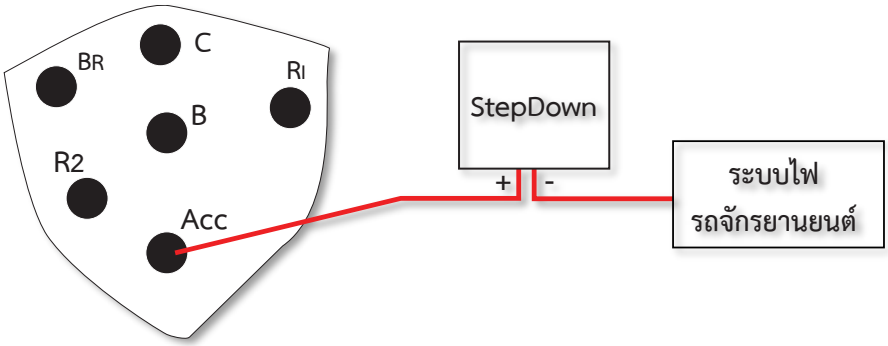
ระบบควบคุมลิ้นเร่งออกแบบให้ทำงานร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ โดยการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะถูกควบคุมโดยคันเร่งไฟฟ้า เมื่อผู้ขับขี่บิดคันเร่ง องศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะปรับตาม องศาการบิด เพื่อเปิดลิ้นเร่งให้ลมไหลเข้าสู่ถังจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 5 การติดตั้งระบบควบคุมนี้ถูกออกแบบมาให้อยู่ในบริเวณด้านในรถจักรยานยนต์โดยติดอยู่กับคาบูเรเตอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมลิ้นเร่งได้อย่างง่าย



รูปที่ 5 การติดตั้งส่วนของการควบคุมลิ้นเร่ง

2.5 การตัดต่อวงจรระบบไฟในรถจักรยานยนต์

ขั้นตอนการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในรถจักรยานยนต์สามารถทำได้โดยตัดการเชื่อมต่อสายที่เชื่อมต่ออยู่กับเบ้าของกุญแจ เบ้ากุญแจโดยจะเชื่อมต่อขั้วบวกและลบของ Step-Down ขั้นกลางระหว่างการเชื่อมต่อกับ IGN (Ignition) เมื่อบิดกุญแจไปที่ตำแหน่ง "ON" หรือ "Ignition" ขานี้จะเริ่มจ่ายไฟ กระแสไฟจากขานี้จะถูกส่งไปยังระบบต่าง ๆ ของรถจักรยานยนต์ เช่น ระบบสตาร์ท ระบบไฟส่องสว่าง และระบบคอยล์จุดระเบิด

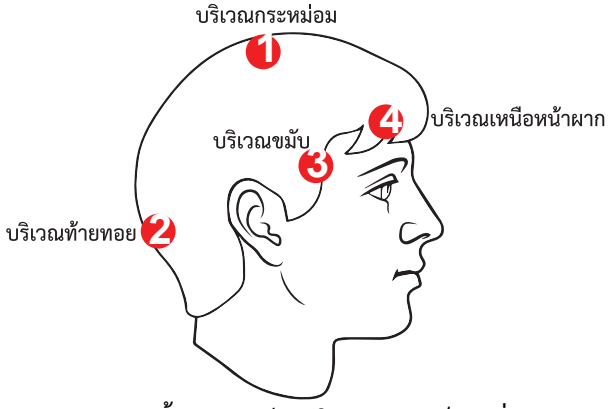


รูปที่ 6 การเชื่อมต่อเบ้ากุญแจ

ขั้นตอนการตัดต่อวงจรที่ใช้สำหรับสตาร์ทรถจักรยานยนต์โดยที่จะเชื่อมต่อจากปุ่มที่ใช้สำหรับสตาร์ทรถจักรยานยนต์โดยตัดสายระหว่างการเชื่อมต่อไปยังรีเลย์ ในระบบที่ใช้สำหรับการสตาร์ทรถจักรยานยนต์

3. การทดลองและวิเคราะห์ผล

สำหรับตำแหน่งของการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับชีพจร [6] นั้นทางผู้จัดทำได้ทดลองโดยเลือก 4 ตำแหน่งของการติดตั้งไว้ภายในหมวกนิรภัย ตามรูปที่ 7 โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ ตำแหน่งของบริเวณท้ายทอยมีโอกาศสูงที่จะตรวจจับชีพจรได้ดีกว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังตารางที่ 1 เพื่อทดสอบความสามารถการตรวจจับและส่งข้อมูลไปยังรถจักรยานยนต์ผู้จัดทำได้ทดสอบ ผ่านผู้ทดลองจำนวน 4 คน ชายจำนวน 2 คน และ หญิงจำนวน 2 โดยสังเกตผ่านรีเลย์ พบว่ารีเลย์ทำงานถูกต้อง คิดเป็น 77.78% และทำงานไม่ถูกต้องคิดเป็น 22.22% สามารถเปิดปิดระบบไฟของรถผ่านรีเลย์ได้เมื่อบิดกุญแจ แสดงผลดังตารางที่ 2



รูปที่ 7 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ภายในหมวกกันน็อคเพื่อตรวจสอบชีพจร

ตารางที่ 1 ทดสอบจุดสำหรับติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับชีพจร

ตำแหน่ง	ครั้งที่ตรวจพบชีพจร				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
บริเวณกระหม่อม	X	X	X	/	/
บริเวณท้ายทอย	X	/	/	/	/
บริเวณขมับ	X	X	X	/	X
บริเวณเหนือหน้าผาก	X	X	X	X	X

ตารางที่ 2 การทดสองรีเลย์ ผ่านผู้ทดลอง 4 คน

ครั้งที่	สถานะหมวกนิรภัย (สวมหมวกนิรภัย - ไม่สวมหมวกนิรภัย)	สถานะรีเลย์ (เปิด-ปิด)	ถูกต้อง/ผิดพลาด
1	สวมหมวกนิภัย (ชาย)	เปิด	√
2	สวมหมวกนิภัย (ชาย)	เปิด	√
3	สวมหมวกนิภัย (หญิง)	เปิด	X
4	สวมหมวกนิภัย (หญิง)	เปิด	X
6	ไม่สวมหมวกนิภัย (ชาย)	ปิด	√
7	ไม่สวมหมวกนิภัย (ชาย)	ปิด	√
8	ไม่สวมหมวกนิภัย (หญิง)	ปิด	√
9	ไม่สวมหมวกนิภัย (หญิง)	ปิด	√

จากการทดลองกรณีที่ผู้ทดลองเป็นผู้หญิงมีความผิดพลาดในการตรวจจับชีพจรได้สูง จึงจำเป็นต้องย้ายเซนเซอร์ของการตรวจจับชีพจรไปไว้ในบริเวณที่สามารถตรวจจับได้อย่างดี เพื่อให้รีเลย์สามารถสับเปลี่ยนได้ และการทดลองระบบตรวจจับการสวมใส่หมวกนิรภัยขณะขับขี่รถจักรยานยนต์ ระบบสามารถตรวจจับสถานะการไม่สวมหมวกนิรภัยและทำการตัดการทำงานของคันเร่งไฟฟ้าเมื่อไม่มีการสวมใส่หมวกนานกว่า 30 วินาที ส่งผลให้รถลดความเร็วและหยุดในที่สุด ในการทดสอบ 15 ครั้ง พบว่าระบบทำงานได้สำเร็จ 13 ครั้ง มีความผิดพลาด 2 ครั้ง คิดเป็นค่าความแม่นยำ 86.67% และความผิดพลาด 13.33%

นอกจากนี้จากการทดลองการเร่งคันเร่งไฟฟ้าค้างไว้นานเกิน 1 นาที พบว่าเซอร์โวมอเตอร์ค่อย ๆ ลดองศาการหมุนลง แต่ไม่สามารถลดถึงระดับ 0 องศาได้ ผลที่ได้คือความเร็วลดลงแต่รถไม่หยุดสนิท การควบคุมความเร็วให้คงที่ยังทำงานได้เพียง 60%

4. สรุปผล

จากการทดลองระบบตรวจจับการสวมใส่หมวกนิรภัยขณะขับขี่รถจักรยานยนต์ พบว่าการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับชีพจรภายในหมวกนิรภัยในตำแหน่งท้ายทอยให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจจับชีพจร แม้มีปัญหาในการตรวจจับกับผู้ทดลองเพศหญิงบางส่วน ซึ่งอาจจำเป็นต้องพิจารณาย้ายตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อเพิ่มความแม่นยำ สำหรับการทำงานของระบบตัดการทำงานของคันเร่งไฟฟ้าเมื่อไม่มีการสวมหมวกนิรภัยนานกว่า 30 วินาที ระบบสามารถลดความเร็วและหยุดรถได้สำเร็จใน 13 จาก 15 ครั้ง คิดเป็นความแม่นยำ 86.67% นอกจากนี้ การทดลองเร่งคันเร่งไฟฟ้าค้างไว้เกิน 1 นาทีพบว่าเซอร์โวมอเตอร์จะค่อย ๆ ลดองศาการหมุนลง แต่ไม่ลดจนถึง 0 องศา ทำให้รถลดความเร็วแต่ไม่หยุดสนิท ความสามารถในการควบคุมความเร็วให้คงที่ทำได้เพียง 60%

เอกสารอ้างอิง

[1] วัชรพงษ์ เรือนคำ, & ณรงค์ศักดิ์ หนูสอน. (2562). อุบัติเหตุรถจักรยานยนต์ในประเทศไทย: มุมมองทางวิทยาการระบาด. วารสาร มฉก.วิชาการ, 23(1), 146-156.

[2] ฟาดีล อาดัม. (2563). การนำนโยบายสวมหมวกนิรภัยเพื่อการขับขี่ปลอดภัยบนท้องถนนไปปฏิบัติในจังหวัดปทุมธานี. วารสารวิชาการไทยวิจัยและการจัดการ, 1(1), 16-25.

[3] ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, เดชชาติ เชิดชัย, & กนต์ธร ชำนิประศาสน์. (2011). การปรับปรุงระบบการฉีดเชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์เพื่อใช้น้ำมัน E85. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 16(7), 774-785.

[4] ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, วิลักษณ์นาม พลเจริญ, และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์. (2554). การปรับปรุงระบบการฉีดเชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์เพื่อใช้น้ำมัน E85. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 16(7), 774-785. เข้าถึงจาก http://resjournal.kku.ac.th

[5] คมสัน มุ่ยสี, กฤษณะ จันทสิทธิ์, และ ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล. (2561). การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมสำหรับรถนั่งคนพิการชนิดมือบังคับการเคลื่อนที่. วารสารวิจัยรำไพพรรณี, 12(2), 190-197.

[6] สุรเทพ แป้นเกิด, วาสนา ด้วงเหมือน, และ สุภษี ดวงใส. (2565). เครื่องต้นแบบในการบันทึกสัญญาณชีพ ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 8(2), 18-27.

20P-09

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

Biogas Production using Excess Sludge from Wastewater Treatment Plant

ญาดา สงวนไพบูลย์[1] และ วรพงศ์ ตั้งอิทธิพลากร[1,2*]
Yada Sanguanpaibool[1] and Warapong Tungittiplakorn[1,2*]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800
[2]ศูนย์วิจัยการจัดการมลพิษสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800
*E-mail : warapong.t@sci.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อกากตะกอน อุณหภูมิของกระบวนการหมัก และการเติมสารชีวภาพเพิ่มเติม เช่น มูลสุกรและน้ำเสีย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อกากตะกอนที่เหมาะสมคือ 1:2 ซึ่งให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ 2300 มิลลิลิตร สัดส่วนมีเทนร้อยละ 45 นอกจากนี้ การควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วยเร่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และการสร้างก๊าซชีวภาพ ซึ่งให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดและมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ 2800 มิลลิลิตร สัดส่วนมีเทน 70 เปอร์เซ็น ในส่วนของการเติมสารชีวภาพ พบว่า การเติมมูลสุกรให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการเติมน้ำเสีย ซึ่งให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ 3100 มิลลิลิตร สัดส่วนมีเทนร้อยละ 70 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลสุกรต่อกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การปรับสภาพกากตะกอนพร้อมกับการควบคุมปัจจัยที่เหมาะสมสามารถเพิ่มปริมาณและประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการของเสียและผลิตพลังงานชีวภาพอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, กากตะกอน, กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน, มูลสุกร, น้ำเสีย

Abstract

This study was aimed at investigating the effect of sludge conditioning from wastewater treatment systems on biogas production, focusing on key factors such as the microbial-to-sludge ratio, fermentation temperature, and the addition of co-substrates, including pig manure and wastewater, to enhance biogas yield and efficiency. The results indicated that the optimal microbial-to-sludge ratio was 1:2, yielding the highest biogas production and methane content of 2,300 mL and 45%, respectively. Additionally, maintaining the fermentation temperature at 37 degrees Celsius significantly enhanced process efficiency by accelerating organic matter decomposition and methane formation, resulting in the highest biogas yield and methane content of 2,800 mL and 70%, respectively. Regarding co-substrate supplementation, pig manure addition resulted in higher biogas production than wastewater, with the highest biogas yield and methane content

reaching 3,100 mL and 70%, respectively. This finding highlights the role of organic nutrients and microbial diversity in anaerobic digestion.

This study shows that treating sludge and controlling the right factors can increase both the yield and the efficiency of biogas production, which can be used for waste management and producing renewable energy from biogas.

Keywords: Biogas, sludge, anaerobic digestion, swine manure, wastewater

บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานถือเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาสมดุลระหว่างการพัฒนาอุตสาหกรรมและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แม้ว่าในบางกรณีการลงทุนและการดำเนินงานจะมีความท้าทาย แต่ประโยชน์ที่ได้รับจากการปฏิบัติตามกฎหมาย การประหยัดทรัพยากร และการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร ล้วนเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้โรงงานต่างๆ ควรให้ความสำคัญกับการติดตั้งและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ และการติดตามพัฒนาการของนวัตกรรมใหม่ ๆ จะช่วยให้โรงงานสามารถแก้ไขปัญหาด้านการจัดการน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งเป็นรูปแบบพลังงานทดแทนที่สะอาดประเภทหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมัน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทนที่มีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยทั่วไปวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ น้ำเสีย สิ่งปฏิกูล ขยะอินทรีย์ และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเซลลูโลส [1]

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตจะก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียอินทรีย์ การบำบัดที่เหมาะสมที่สุดจึงใช้กระบวนการชีวภาพหรือการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง แต่ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพจะมีกากตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ดังนั้น การบำบัดสลัดจ์จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อไม่ให้เกิดการเน่าเหม็น การเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย

การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียไปกำจัดทิ้งในปัจจุบัน ได้แก่ การเผา การฝังกลบ และการหมักทำปุ๋ย ซึ่งการกำจัดทั้ง 3 วิธีมีปัญหาที่พบหลายประการ ได้แก่ ในการเผาเกิดเถ้าลอยและก๊าซมลพิษ ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสูง ในการฝังกลบต้องใช้พื้นที่มาก ถูกต่อต้านจากประชาชนในท้องที่และอาจทำให้มีสารพิษรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การหมักทำปุ๋ยอาจก่อให้เกิดโรคพืชและอาจติดต่อถึงเกษตรกรได้ เนื่องจากกากตะกอนมีซากของแบคทีเรียและไวรัสอยู่เป็นจำนวนมากและถ้าหากมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ไอออนเหล่านี้จะถูกชะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [2] ดังนั้น การเลือกทางเลือกอื่นๆ ที่สามารถกำจัดตะกอนได้โดยไม่ก่อมลพิษและสามารถนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้ จึงเป็นทางออกที่ดีในการจัดการกากตะกอน

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาถึงการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมโดยการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งจะทำการศึกษาวิธีการปรับสภาพกากตะกอนและการเพิ่มประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพด้วยมูลสุกรและน้ำเสีย เพื่อจะได้เป็นองค์ความรู้ที่นำไปเป็นแนวทางในการบริหารจัดการกากตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการนำกากตะกอนไปกำจัด เพิ่มมูลค่าของกากตะกอนโดยการผลิตพลังงานทดแทนและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนโดยใช้กระบวนการหมักแบบปราศจากออกซิเจน โดยมีกระบวนการดำเนินการดังนี้

1. การศึกษาคุณลักษณะสมบัติของกากตะกอน

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มถูกนำมาศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพโดยวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ TSS, VSS, pH, COD, VFA และ Alkalinity

2. อุปกรณ์ วิธีการวิเคราะห์ และการเตรียมชุดการทดลอง

อุปกรณ์

ขวดแก้วขนาด 1000 ml, กระบอกตวง, สายซิลิโคน, จุกยาง, ก้ามปู, กะละมัง

วิธีการวิเคราะห์

1. TSS ใช้กระดาษกรอง GF/C ขนาด 47 มม. อบที่ 103°C, กรองตัวอย่างน้ำแล้วชั่งน้ำหนัก
2. VSS เผากากตะกอนที่ 550°C และคำนวณน้ำหนักที่สูญหาย
3. pH ใช้ pH meter วัดค่า pH ของตัวอย่าง
4. COD ใช้วิธี Closed Reflux, Colorimetric Method โดยใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่เหมาะสม
5. VFA ใช้ Test Kits Method
6. Alkalinity ใช้ Potentiometric Method
7. คุณภาพของก๊าซชีวภาพ ใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC)

3. การศึกษาการหาอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพใน 3 สภาวะ ได้แก่ Control (กากตะกอนเพียงอย่างเดียว), อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:2 และ ระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:3 โดยหมักเป็นเวลา 7 วัน เก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ TSS, VSS, pH, COD, VFA, Alkalinity และเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของก๊าซชีวภาพ

4. การศึกษาการปรับสภาพกากตะกอนด้วยความร้อนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาการปรับสภาพกากตะกอนด้วยความร้อนใน 3 สภาวะ ได้แก่ Control (กากตะกอนเพียงอย่างเดียว ณ อุณหภูมิห้อง), อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:2 ณ อุณหภูมิห้อง และอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:2 ณ อุณหภูมิ 37°C โดยหมักเป็นเวลา 7 วันและเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ TSS, VSS, pH, COD, VFA, Alkalinity และเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของก๊าซชีวภาพ

5. การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนด้วยมูลสุกรและน้ำเสีย

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการใช้มูลสุกรและน้ำเสียร่วมกับกากตะกอนใน 5 สภาวะ ได้แก่ Control 1 (น้ำเสียเพียงอย่างเดียว), Control 2 (มูลสุกรเพียงอย่างเดียว), Control 3 (อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:2 ณ อุณหภูมิห้อง), อัตราส่วน 1:1:1 ระหว่างจุลินทรีย์, กากตะกอน และมูลสุกร, และอัตราส่วน 1:1:1 ระหว่างจุลินทรีย์, กากตะกอน และน้ำเสีย โดยหมักเป็นเวลา 7 วันและเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ TSS, VSS, pH, COD, VFA, Alkalinity และเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของก๊าซชีวภาพ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาผลของการปรับสภาพกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียต่อการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่การใช้ของเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียมาแปรสภาพเป็นพลังงานทดแทน โดยเฉพาะการผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานทางอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม การศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาถึงปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อกระบวนการหมักกากตะกอนเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น อุณหภูมิ, อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอน, การปรับสภาพกากตะกอนด้วยความร้อน และการเติมสารชีวภาพเช่นมูลสุกรและน้ำเสีย เพื่อประเมินผลของปัจจัยเหล่านี้ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน

1. คุณลักษณะสมบัติของกากตะกอนก่อนการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียก่อนเริ่มการทดลอง ซึ่งได้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย (Mean)	หน่วย
pH	7.2	
Alkalinity (ALK)	2500	mg/L as $CaCO_3$
Volatile Fatty Acid (VFA)	1800	mg/L as CH_3COOH
Chemical Oxygen Demand (COD)	9000	mg/L
Total Soluble Solids (TSS)	78000	mg/L
Volatile Suspended Solids (VSS)	6200	mg/L

ผลการทดลองพบว่ากากตะกอนมีค่า pH เริ่มต้นที่ 7.2 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ ค่า Alkalinity ที่ 2500 mg/L as $CaCO_3$ แสดงถึงความสามารถในการรักษาสมดุลของค่า pH ในระบบหมัก โดยการปรับสมดุลนี้ช่วยป้องกันการเกิดภาวะเป็นกรดซึ่งอาจยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์เมทาโนเจน ค่าของ Volatile Fatty Acids (VFA) อยู่ที่ 1800 mg/L ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญในการผลิตก๊าซมีเทนผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) ที่สูงถึง 9000 mg/L ชี้ให้เห็นว่ากากตะกอนมีสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงและสามารถถูกย่อยสลายได้ดี ทำให้กากตะกอนมีศักยภาพสูงในการผลิตก๊าซชีวภาพ การศึกษาคุณลักษณะสมบัติของกากตะกอนให้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบหมักที่เหมาะสม โดยค่า pH และ Alkalinity ที่เหมาะสมจะช่วยให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลของอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2 ผลของอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

อัตราส่วน	**ปริมาณก๊าซชีวภาพ (mL)**	**% มีเทน (%)**
Control (กากตะกอนเพียงอย่างเดียว)	1200	45
1:2	2300	60
1:3	1800	55

ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:2 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ 2300 mL โดยมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ร้อยละ 60 การใช้จุลินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยกระตุ้นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนของกากตะกอนโดยไม่มีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้เพียงพอ (อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนที่ 1:3) ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง (1800 mL) แม้ว่าก๊าซมีเทนจะยังอยู่ในระดับสูงที่ ร้อยละ 55 เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มากเกินไปได้ [3]

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ การใช้จุลินทรีย์ในปริมาณที่เพียงพอช่วยกระตุ้นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ผลของการปรับสภาพกากตะกอนด้วยความร้อน

ตารางที่ 3 ผลของการปรับสภาพกากตะกอนด้วยความร้อนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

อุณหภูมิ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ	% มีเทน (%)
อุณหภูมิห้อง (Control)	2200	55
37 °C	2800	70

การทดลองพบว่าเมื่อกากตะกอนได้รับการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 37°C ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 2800 mL และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนถึง ร้อยละ 70 ขณะที่การหมักที่อุณหภูมิห้องได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ 2200 mL และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเพียงร้อยละ 55 โดยอุณหภูมิที่ 37 °C ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก โดยช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีเทนได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยของ เจษฎาปกรณ์ คนสอาด (2564) ยังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น เช่น 55 °C ช่วยเพิ่มการสลายตัวของสารอินทรีย์และเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตามควรพิจารณาผลกระทบจากการควบคุมอุณหภูมิที่สูงเกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเสถียรของระบบหมักในระยะยาว [4].

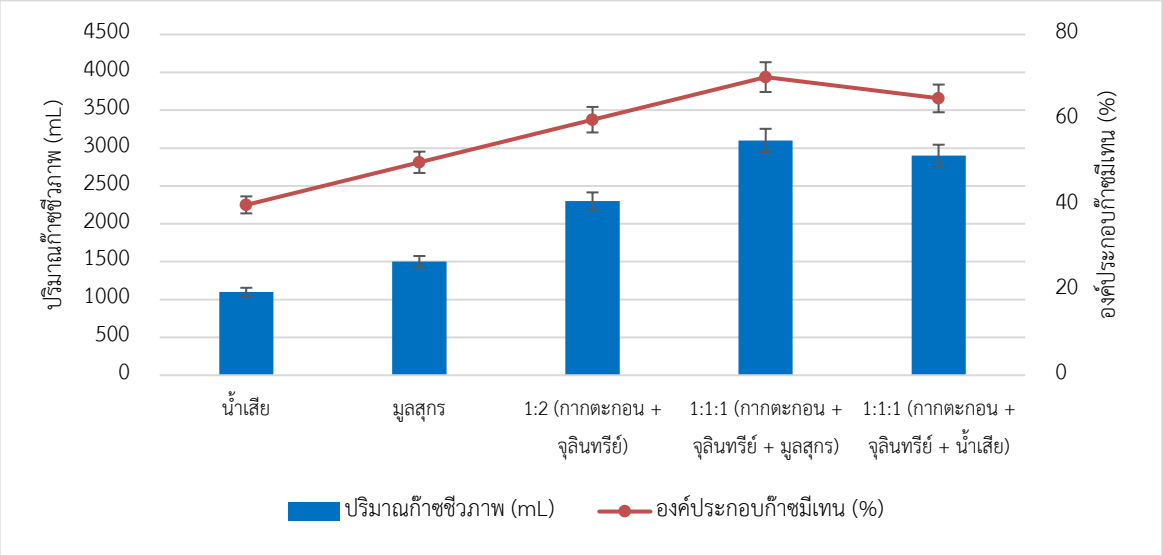
4. ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยมูลสุกรและน้ำเสีย

ตารางที่ 4 ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยมูลสุกรและน้ำเสีย

อัตราส่วน	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (mL)	% มีเทน (%)
น้ำเสียเพียงอย่างเดียว	1100	40
มูลสุกรเพียงอย่างเดียว	1500	50
1:2 (กากตะกอน + จุลินทรีย์)	2300	60
1:1:1 (กากตะกอน + จุลินทรีย์ + มูลสุกร)	3100	70
1:1:1 (กากตะกอน + จุลินทรีย์ + น้ำเสีย)	2900	65

การทดลองพบว่าเมื่อเติมมูลสุกรร่วมกับกากตะกอนและจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 1:1:1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สูงสุดที่ 3100 mL และมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน ร้อยละ 70 การเติมมูลสุกรช่วยเสริมกระบวนการเมทาโนเจนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการเติมมูลสุกรสามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้มากกว่าการเติมน้ำเสียเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2900 mL และมีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน ร้อยละ 65

ดังนั้นการเติมมูลสุกรและน้ำเสียสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีกว่าการใช้แค่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว โดยมูลสุกรมีสารอินทรีย์และจุลินทรีย์ที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพของกระบวนการหมัก ในขณะที่การเติมน้ำเสียร่วมกับกากตะกอนสามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น เนื่องจากน้ำเสียช่วยเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นผลให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น [5].



รูปที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

สรุป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การปรับสภาพกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการควบคุมอัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์และกากตะกอน, การปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม, และการเติมสารชีวภาพเช่นมูลสุกรและน้ำเสีย มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการใช้จุลินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม, การควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C, และการเติมมูลสุกรสามารถช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาผลการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมพลังงานชีวภาพเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในระบบบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงการนำข้อมูลเหล่านี้ไปปรับปรุงการหมักกากตะกอนในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวลในอนาคต.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษาระดับปริญญาโทในโครงการยกระดับภาคอุตสาหกรรมด้วยการบริหารจัดการนวัตกรรมองค์กรแบบทั่วถึง (Total Innovation Management Enterprise: TIME) จากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

[1] วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์, สุภางค์ จุฬาลักษณานุกูล และ วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล. (2553). ก๊าซชีวภาพ แหล่งพลังงานทดแทน (Biogas is a Renewable Energy). *Science Essence Journal*, *26*(2).

[2] ต่อเยี่ยม สุคนธสิงห์. (2550). *การเตรียมสารดูดซับโดยการแยกสลายกากตะกอนน้ำเสียด้วยความร้อน = Preparation of adsorbent by sewage sludge pyrolysis / ต่อเยี่ยม สุคนธสิงห์.* เชียงใหม่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] การเกตุ วัฒนสิทธิ์, เกษม อัศวตรีรัตนกุล, และ สมพงศ์ โอทอง. (2556). *ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานน้ำมันปาล์มดิบและการหมักร่วมภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง* [Potential of Biogas Production of Oil Palm Mill Residues and its Anaerobic Co-digestion under Thermophilic Condition]. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 16(3 ฉบับพิเศษ).

[4] เจษฎาปกรณ์ คนสอาด และ พฤกษ์ อักกะรังสี. (2564). *ผลของการปรับสภาพทางชีวภาพต่อความสามารถในการย่อยสลายเริ่มต้นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1* (Effect of Biological Pretreatment on Initial Decomposability for Pennisetum purpureum Pak Chong 1). วารสารวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] วรพจน์ คำจันลา และ รัชพล สันติวรากร. (2555). การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนบ่อพักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมัน. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50.* (หน้า 182-189). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

20P-10

การสังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธี Green Synthesis จากน้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้าสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพในการสลายสีย้อม RHb

Synthesis of ZnO via Co-precipitation Method Using Two Natural Bases and Testing for the Degradation of RhB Dye

กนิษฐา พงศ์อาทิตย์[1*] ชนรรค์ พงศ์อาทิตย์[2] เมสันต์ สังขมณี[3] จารุวรรณ คำแก้ว[3] และ จิรภา คงเขียว[1]
Kanitta Phongarthit[1*] Chanun Phongarthit[2] Mason Sungkhamanee[3] Charuwan Khamkaew[3] and Jirapa Kongkaew[1]
[1*]อาจารย์ หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[2]อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
*โทรศัพท์ : 0644961542, E-mail : kanitta.ch@skru.ac.th

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้น้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการสลายสีย้อม RhB ภายใต้แสงย่าน UV เป็นการสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วม ตะกอนที่ได้ถูกนำไปเผาด้วยเครื่องเผาอุณหภูมิสูงที่ 900 ℃ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ ZnO ดังนี้คือ ZnOlime water (ZnOน้ำปูนใส) และ ZnOash water (ZnOน้ำขี้เถ้า) ZnO ที่สังเคราะห์ได้ถูกยืนยังองค์ประกอบโดยเทคนิค EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) และศึกษาลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิค SEM พบว่า ZnOlime water มีรูปทรงหกเหลี่ยมเว้า ส่วน ZnOash water มีลักษณะเป็นแท่งยาว การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ ZnO ผ่านการสลายสีย้อม Rhodamine B (RhB) ภายใต้แสง UV พบว่า ZnOlime water สามารถสลายสีย้อม RhB ได้สูงสุด 72.8% ภายในเวลา 150 นาที ซึ่งดีกว่า ZnOash water ที่สามารถสลายสีย้อม RhB ได้ 64.6%

คำสำคัญ : ZnOน้ำปูนใส; ZnOน้ำขี้เถ้า; สีย้อมโรดามีนบี; การสังเคราะห์โดยวิธีเคมีสีเขียว

Abstract

Zinc Oxide synthesis through a green chemistry method was a reaction process using lime water and ash water, which was to study the efficiency of Rhodamine B (RhB) dye degradation reaction under UV light by a co-precipitation method. The obtained precipitate of the process was burnt at 900 degrees Celsius for about an hour to consequently get zinc oxide combinations, which were zinc oxide with lime water and zinc oxide with ash water. When considering synthesized zinc oxide properties, it was determined by the EDX technique (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) and also studied its shape through the SEM technique (Scanning Electron Microscope). The above-mentioned zinc oxide combinations were different in their shapes: the zinc oxide with lime water had an concave hexagon shape while the zinc oxide with ash water had a long shape. The efficiency of zinc oxide as a catalytic material through degradation of RhB dye under UV light. It was found that zinc oxide with lime water could degrade RhB dye up to 72.8% within 150 minutes, which was more efficient than zinc oxide with ash water that could degrade by 64.6%.

Keywords : ZnOlime water; ZnOash water; Rhodamine B; Green Synthesis

บทนำ

สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นวัสดุเซมิคอนดักเตอร์มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าออปติคัล และการเร่งปฏิกิริยาที่โดดเด่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเร่งปฏิกิริยาแสง (photocatalysis) ซึ่ง ZnO มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียผ่านกระบวนการสลายสารอินทรีย์ เช่น สีย้อมที่เป็นมลพิษในสิ่งแวดล้อม วิธีการสังเคราะห์ ZnO มีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การสังเคราะห์ด้วยความร้อนสูง (thermal decomposition) การสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal synthesis) การสังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจล (sol-gel method) และการสังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) ในบรรดาวิธีเหล่านี้ วิธีตกตะกอนทางเคมีได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางเนื่องจากทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำ และสามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของอนุภาค ZnO ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธีส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีอันตรายและก่อให้เกิดของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาแนวทางการสังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธีเคมีสีเขียว (green synthesis) [1] จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจและมีความสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการสังเคราะห์ที่อาศัยสารจากธรรมชาติหรือของเหลือทิ้ง เช่น พืช สารสกัดจากใบไม้ นอกจากจะช่วยลดการใช้สารเคมีอันตรายแล้วยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยลดต้นทุนการผลิต ZnO ที่สังเคราะห์ได้มีศักยภาพสูงในการทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสงสำหรับการสลายสีย้อมอินทรีย์ เช่น Rhodamine B (RhB) ซึ่งเป็นสีย้อมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ แต่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำอย่างรุนแรง [2] การสังเคราะห์ ZnO โดยใช้สารสกัดจากพืชได้สังเคราะห์ ZnO นาโนพาร์ติเคิลโดยใช้สารสกัดจากใบชบา (Hibiscus rosa-sinensis) และพบว่าสามารถสลาย RhB ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้แสงแดด [3] การสังเคราะห์ ZnO โดยใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากผลฟักแม้วนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยคยองพุกได้สังเคราะห์ ZnO นาโนพาทิเคิลโดยใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากผลฟักแม้ว (Sechium edule) และพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการสลาย RhB ภายใต้แสงที่มองเห็น [4] การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnONPs) ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยใช้สารสกัดจากใบ Cyanometra ramiflora เป็นตัวรีดิวซ์และคงรูปอนุภาค ZnO อนุภาคที่ได้มีโครงสร้างผลึกแบบ wurtzite ขนาดเฉลี่ย 13.33 นาโนเมตร และมีลักษณะรูปร่างเป็นดอกไม้ (nanoflowers) ZnONPs ที่สังเคราะห์ได้มีพื้นที่ผิวสูง (16.27 m^2/g) และแสดงประสิทธิภาพสูงในการสลายสีย้อม Rhodamine B ได้ถึง 98% ภายในเวลา 200 นาทีภายใต้แสงแดด งานวิจัยนี้ยืนยันว่า ZnONPs ที่ผลิตโดยวิธีสีเขียวมีศักยภาพสูงในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสีย [5] การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมตามด้วยการเผา โดยใช้สารละลายด่างธรรมชาติจากขี้เถ้าไม้แทน NaOH เพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ZnO ที่ได้มีโครงสร้างผลึกแบบ wurtzite ขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิวเฉพาะสูง ZnO ที่สังเคราะห์จากขี้เถ้าไม้มีประสิทธิภาพในการสลาย Rhodamine B และ Reactive Orange ภายใต้แสงแบล็กไลท์ได้ดีกว่า ZnO เชิงพาณิชย์และที่สังเคราะห์จาก NaOH ผลการทดลองยังแสดงว่าอนุมูล ·OH และ $\cdot O_2^-$ เป็นชนิดปฏิกิริยาหลักในการสลายสีย้อม และวัสดุมีความเสถียรสูงในการใช้งานซ้ำ [6]

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้เล็งเห็นวัสดุจากธรรมชาติที่หาง่ายราคาถูกและมีค่าความเป็นเบสคงที่สำหรับการสังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธีเคมีสีเขียวคือการใช้น้ำปูนใสสำหรับการสังเคราะห์ได้เป็น ZnOlime water เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสลายสีย้อม RhB ภายใต้แสงย่าน UV กับ ZnOash water โดยคาดว่าผลการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุตัวเร่งปฏิกิริยาแสงที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการบำบัดน้ำเสียในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 Megnetic bar
2.1.2 Stirrer
2.1.3 Hotplate
2.1.4 Beaker
2.1.5 Erlenmeyer flask
2.1.6 Volumetric flask
2.1.7 Test tube
2.1.8 Measuring cylinder
2.1.9 Filter funnel
2.1.10 Ring Stand Clamp

2.1.11 Aluminium foil
2.1.12 Filter paper
2.1.13 Dropper
2.1.14 Vacuum filter
2.1.15 Thermometer
2.1.16 UV-Vis spectrometer

2.2 สารเคมี

2.2.1 Zinc acetate dehydrate ($Zn(CH_3COO)_2$)
2.2.2 Ethanol
2.2.3 น้ำ DI (Deionized water)
2.2.4. น้าขี้เถ้า
2.2.5 น้ำปูนใส
2.2.6 RhB

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์จากน้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้าด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

2.3.1.1 ละลายสังกะสีอะซิเตท ($Zn(CH_3COO)_2$) ปริมาณ 2.19 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตามวิธีของ Phongarthit, K, et al (2019) [6]

2.3.1.2 เติมน้ำขี้เถ้า pH 12 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทีละหยดลงในสารละลาย พร้อมกับคนสารละลายอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 นาที

2.3.1.3 ให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 80 °C พร้อมกับกวนสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยสารละลายตั้งทิ้งไว้จนเกิดการตกตะกอน จากนั้นล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลหลายครั้ง เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่อาจหลงเหลืออยู่

2.3.1.4 กรองตะกอนและนำตะกอนที่แห้งอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง บดตะกอนให้ละเอียด นำตะกอนที่บดเผาด้วยเครื่องเผาอุณหภูมิสูงที่ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ ZnOน้ำขี้เถ้า (ZnOash water) และบดสารที่ได้หลังจากเผาอีกครั้ง

2.3.1.5 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์จากน้ำปูนใส (ZnOlime water) ทำเช่นเดียวกันจากข้อ 2.3.1.1 ถึง ข้อ 2.3.1.4 โดยข้อ 2.3.1.2 เติมน้ำปูนใสแทนน้ำขี้เถ้า

2.3.2 การทดสอบการสลายสีย้อม RhB โดยใช้ ZnOash water และ ZnOlime water

นำ ZnOash water และ ZnOlime water ทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการสลายสีย้อม Rhodamine B (RhB) ภายใต้แสง UV ดังนี้

2.3.2.1. เตรียมสารละลายสีย้อม RhB เข้มข้น $1.0x10^{-5}$ โมลาร์

2.3.2.2. ชั่ง ZnOash water 0.1 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายสีย้อม RhB เข้มข้น $1.0x10^{-5}$ โมลาร์ 150 มิลลิลิตร

2.3.2.3 คนสารผสมในที่มืด 30 นาที เพื่อเก็บข้อมูลการดูดซับ หยุดคนสาร 2 นาที และดูดสารละลายส่วนบน 3 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที แล้วเก็บสารละลายใส

2.3.2.4. คนสารละลายภายใต้การฉายแสงยูวีเป็นเวลา 10 20 30 45 60 90 120 และ 150 นาที ตามลำดับ ในแต่ละเวลาให้ทำตามข้อ 2.3.3.3

2.3.2.5. ทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrometer และคำนวณประสิทธิภาพการสลายสีย้อมโดยนำค่าการดูดกลืนแสงของ RhB ที่เวลาต่าง ๆ มาคำนวณด้วยสมการ(1)

2.3.2.6. ZnOlime water ทดสอบการสลายสีย้อม RhB โดยทำตามข้อ 2.3.3.2 ถึง ข้อ 2.3.3.5

$$\%D.E. = ((C_0 - C)/ C_0 \times 100) \quad (1)$$

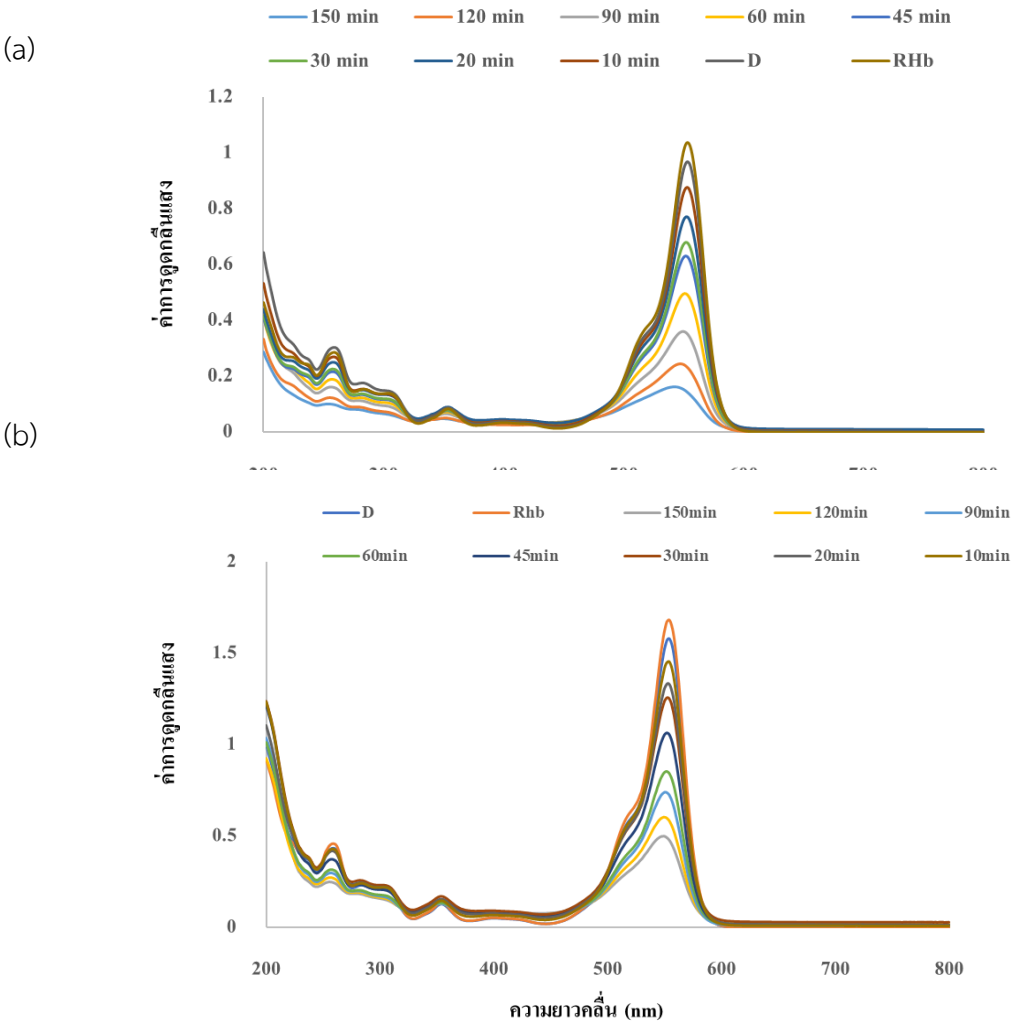
C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม C คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่เวลาใดๆ

2.3.3 ศึกษาสมบัติของสารตัวอย่าง

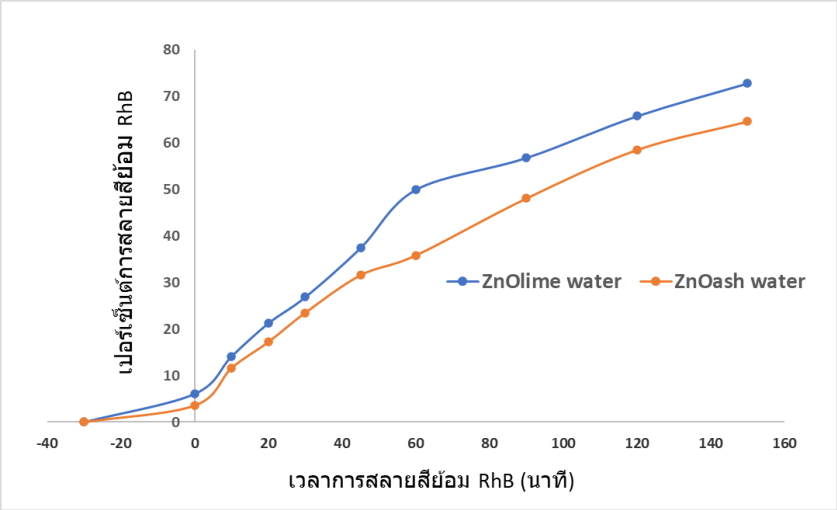
สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ถูกยืนยันองค์ประกอบของธาตุและลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิค SEM และ EDX

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากรูปที่ 1 แสดงสเปกตรัมการสลายตัวของสีย้อม RhB พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 554 นาโนเมตร ในเวลา 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 และ 150 นาที ค่าการดูดกลืนสูงสุดของสารละลายสีย้อม RhB มีค่าลดลงเมื่อเวลาการสลายสีย้อมเพิ่มขึ้น แสดงว่า ZnOlime water (ZnOน้ำปูนใส) และ ZnOash water (ZnOน้ำขี้เถ้า) ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีเคมีสีเขียวสามารถสลายสีย้อม RhB ภายใต้แสง UV และจากค่าเปอร์เซ็นต์การสลายสีย้อม (%decolorization (% D.E.)) บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการสลายสีย้อมของ ZnOlime water ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า ZnOlime water สามารถสลายสีย้อม RhB ได้สูงสุด 72.8% ภายในเวลา 150 นาที ซึ่งดีกว่า ZnOash water ที่สามารถสลายสีย้อม RhB ได้ 64.6%

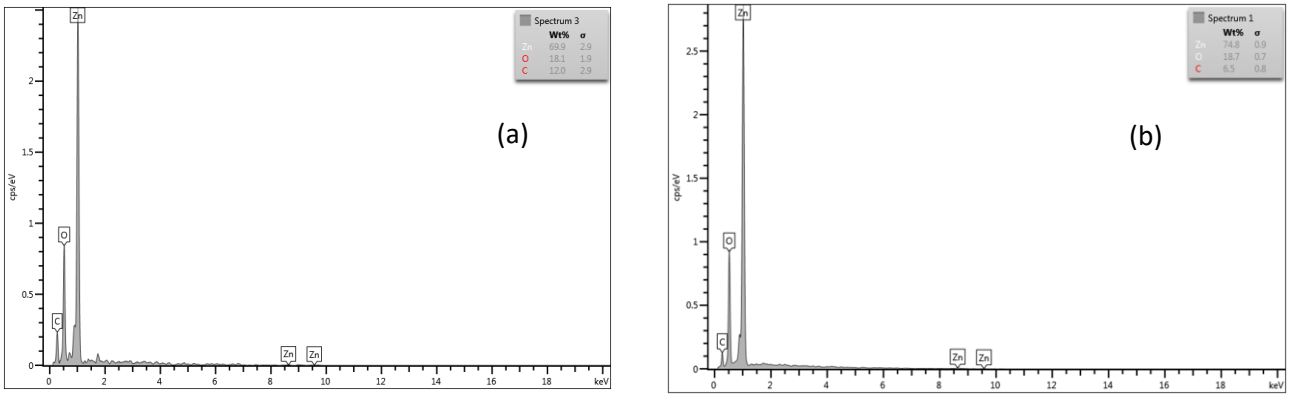


รูปที่ 1 สเปกตราการดูดกลืนแสงของสารละลาย RhB ในสภาวะการสลายสีย้อมโดยใช้ ZnOlime water (a) ZnOash water (b)

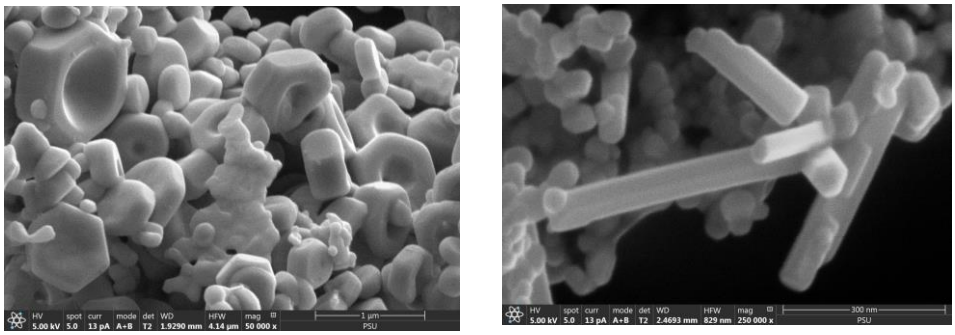


รูปที่ 2 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสลายสีย้อม RhB โดย ZnOlime water และ ZnOash water

จากการศึกษาเทคนิค EDX เพื่อศึกษาองค์ประกอบของธาตุแสดงดังรูปที่ 3 พบองค์ประกอบของธาตุ Zn และ O นอกจากนี้การศึกษาลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิค SEM ดังรูปที่ 4 พบว่า ZnOlime water มีรูปทรงหกเหลี่ยม ส่วน ZnOash water มีลักษณะเป็นแท่งยาว ลักษณะรูปร่างและขนาดจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการสลายสีย้อมที่ต่างกัน และ ZnO เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงย่าน UV จะเกิดกระบวนการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล (electron-hole pairs) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนในน้ำเพื่อสร้างสารออกซิแดนท์ที่มีศักยภาพสูง เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน $\cdot O_2^-$ หรือ hydroxyl radicals (•OH) สารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการสลายสีย้อม RhB ให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เนื่องจากการโตของผลึกจะลดปริมาณตำหนิที่ผิวของสารตัวอย่างตำหนิที่ผิวของ ZnO ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่ง ZnO ทีมีขนาดเล็กจะมีตำหนิที่ผิวปริมาณมาก ส่งผลให้อัตราการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอนและโฮลมากขึ้น จึงลดการทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าสารกับสีย้อม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสลายสีย้อมลดลง ในทางตรงกันข้ามการโตของผลึก ZnO ที่มีขนาดผลึกใหญ่ทำให้ตำหนิที่ผิวของ ZnO น้อยลง ส่งผลให้อัตราการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอนและโฮลลดลง ทำให้คู่อิเล็กตรอนและโฮลสามารถอยู่บริเวณผิวหน้าของสารตัวอย่างเพื่อทำปฏิกิริยากับสีย้อมได้นานขึ้นส่งผลให้ประสิทธิการสลายสีย้อมสูงขึ้น [7] Fumiaki et al 2013 [8] Bai et al., 2016)



รูปที่ 3 สเปกตรา EDX ของ ZnOlime water (a) และ ZnOash water (b)



(a) (b)

รูปที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วม โดยใช้น้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้าเป็นตัวตกตะกอน ZnOlime water (a) และ ZnOash water (b)

4. สรุป

จากการสังเคราะห์ ZnO พบว่า ZnOlime water สามารถสลายสีย้อม RhB ภายใต้แสง UV ได้ดีกว่า ZnOash water ดังแสดงได้ชัดเจนจากการคำนวณด้วยสมการที่ 1 และผลจากเทคนิค SEM พบว่ารูปร่างและขนาดที่ต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการสลายสีย้อมของ ZnOlime water และ ZnOash water

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงทุนอุดหนุนการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์สถานที่วิจัยรวมถึงทุนวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Agarwal H, Venkat Kumar S, Rajeshkumar S. 2017. A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles an eco-friendly approach. Resource-Effic Tech nol 3:406–413.

[2] R.Nagaraja, Nagaraju Kottam, C.R. Girija, B.M. Na gabhushana. 2012. "Photocatalytic degradation of Rhodamine B dye under UV/slar light using ZnO nanoparticles, Materials Science and Engineer ing: B, vol. 262, p. 114708.

[3] Rubavathi, K., & Balakumar, B. J. 2024. Green synthesis of ZnO nanoparticles using Hibiscus rosa-sinensis extract for photocatalytic degradation of Rhodamine B. African Journal of Biomedical Research, 27(1), 12–22.

[4] Nguyen, T. H., Kim, J. H., & Park, Y. K. 2022. Green synthesis of ZnO nanoparticles using Sechium edule extract and their photocatalytic performance for Rhodamine B degradation. KNU Research Publications, 43(3), 187–195.

[5] Varadavenkatesan, T., Lyubchik, E., Pai, S., Pugazhendhi, A., Vinayagam, R., & Selvaraj, R. 2 0 1 9. Photocatalytic degradation of Rhodamine B by zinc oxide nanoparticles synthesized using the leaf extract of Cyanometra ramiflora. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 199, 111621.

[6] Phongarthit, K., Amornpitoksuk, P., & Suwanboon, S. 2019. Synthesis, characterization, and photocatalytic properties of ZnO nanoparticles prepared by a precipitation-calcination method using a natural alkaline solution. Materials Research Express, 6(4), 00.

[7] Amano, F., Ishinaga, E., & Yamakata, A. 2013. Effect of particle size on the photocatalytic activity of WO_3 particles for water oxidation. The Journal of Physical Chemistry C, 117(43), 22584–22590.

[8] Bai, X., Wei, J., Tian, B., Liu, Y., Reiss, T., Guiblin, N., Gemeiner, P., Dkhil, B., & Canero-Infante, I. C. 2016. Size effect on optical and photocatalytic properties in $BiFeO_3$ nanoparticles. The Journal of Physical Chemistry C, 120, 7, 3595–3601.

20P-11

การประเมินประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย กรณีศึกษา โรงพยาบาลชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

Efficiency evaluation of wastewater treatment system: A case study of Chai Badan Hospital, Lopburi, Thailand

ภาวิณี คงสุวรรณ[1*] และ สัญญา สิริวิทยาปกรณ์[2]

Pawinee Khongsuwan[1*] and Sanya Sirivithayapakorn[2]

[1*]นิสิต ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

*โทรศัพท์ : 08 3669 3951, โทรสาร : 0 2579 0730, E-mail : pawinee.kho@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่า TDS (Total dissolved solids) ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี โดยวิธี Gravimetric Method dried และวิเคราะห์ Mass balance ของ TDS รวมทั้งเสนอแนวทางและข้อบ่งชี้ให้กับทางโรงพยาบาลเพื่อลดค่า TDS ให้อยู่ในช่วงที่กฎหมายกำหนด โดยวิธีการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย สถิติการใช้น้ำของโรงพยาบาลชัยบาดาลตั้งแต่ปี 2562-2567 ผลตรวจน้ำทิ้งตั้งแต่ปี 2562-2567 เพื่อดูค่าดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง กำหนดจุดเก็บตัวอย่างและเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งตั้งแต่เดือนธันวาคม 2567-กุมภาพันธ์ 2568 ซึ่งพบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำตัวอื่นๆ ไม่มีค่าเกินที่กฎหมายกำหนด ยกเว้น ค่า TDS ที่มีค่าเกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร จากการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า TDS พบว่าน้ำเสียมาจาก 2 ส่วนหลัก คือ หน่วยไตเทียม มีค่าอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 16.8 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีค่า TDS 4153 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็น 6.98×10^7 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.06 ของปริมาณ TDS ทั้งหมด และอีกส่วน คือ น้ำเสียจากห้องผ่าตัด, อาคารซักรีด, ห้องครัวและห้องน้ำ มีค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเสียเท่ากับ 157.2 ลูกบาสก์เมตร/วัน มีค่า TDS 753.80 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็น 1.18×10^8 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละ 62.94 ของปริมาณ TDS ทั้งหมด และสำหรับเทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อลดค่า TDS คือ เทคโนโลยี RO (Reverse Osmosis) และ Ion Exchange ที่เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดเพราะมีประสิทธิภาพในการลดค่า TDS สูง แต่มีข้อจำกัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง จึงต้องทำการประเมินเพื่อลด TDS ในกิจกรรมต่างๆ ควบคู่กันต่อไป

คำสำคัญ : total dissolved solids (TDS); ระบบบำบัดน้ำเสีย; mass balance

Abstract

This research aims to analyze the Total Dissolved Solids (TDS) in the wastewater treatment system of Chai Badan Hospital, Lopburi Province, using the Gravimetric Method (dried), and to analyze the Mass balance of TDS. The study also proposes guidelines and recommendations for the hospital to reduce TDS levels to within legal limits. Data were collected from the hospital's wastewater treatment system, water usage statistics from 2019 to 2024, and effluent water quality results from 2019 to 2024 to assess the effluent water quality index. Sampling points were determined, and wastewater and effluent samples were collected from December 2024 to February 2025. The results showed that all other water quality index values were within legal limits, except for TDS, which exceeded 500 mg/L. Analysis of the water samples revealed two main

sources of wastewater: the hemodialysis unit, with an average flow rate of 16.8 m^3/day and a TDS value of 4153 mg/L, contributing 6.98 x 10^7 mg/day (37.06% of the total TDS load); and wastewater from the operating rooms, laundry, kitchen, and bathrooms, with an average flow rate of 157.2 m^3/day and a TDS value of 753.80 mg/L, contributing 1.18 x 10^8 mg/day (62.94% of the total TDS load). The recommended technologies for reducing TDS are Reverse Osmosis (RO) and Ion Exchange, both of which are highly effective but have significant installation and maintenance costs. Therefore, an assessment to reduce TDS in various activities should be conducted in conjunction with these technologies.

Keywords : total dissolved solids (TDS); wastewater treatment system; mass balance

บทนำ

การศึกษานี้มีการรวบรวมข้อมูลและเก็บตัวอย่างน้ำย้อนหลังเพื่อวิเคราะห์หาแหล่งที่มาของ TDS (Total dissolved solids) ที่เกิดขึ้นรวมทั้งเสนอแนวทางการบำบัดเพื่อลดค่า TDS (Total dissolved solids) ให้อยู่ในช่วงที่กฎหมายกำหนด

โรงพยาบาลชัยบาดาล เป็นโรงพยาบาลชุมชน ตั้งอยู่ที่อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี เป็นโรงพยาบาลประเภทรับผู้ป่วยค้างคืนขนาด 120 เตียง มีอัตราการครองเตียงเฉลี่ย 154 เตียง และมีแนวโน้มการใช้บริการเพิ่มขึ้นในอนาคตเป็น 216 เตียง และมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge : CMAS) ขนาด 110 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้น มาจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การรักษาผู้ป่วย การซักล้าง การทำความสะอาด การประกอบอาหาร และแหล่งที่มาของน้ำเสียในโรงพยาบาล มาจากอาคารผู้ป่วย บ้านพักของเจ้าหน้าที่ โรงซักฟอก โรงครัว ห้องปฏิบัติการ ห้องผ่าตัด ห้องจ่ายยา หน่วยล้างไต เป็นต้น [1] ทำให้โรงพยาบาลชัยบาดาลมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 190-220 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งมากกว่าการรองรับของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ และยังพบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งของโรงพยาบาลชัยบาดาล มีค่าเกินเกณฑ์กำหนดของกฎหมาย คือ ค่า Total dissolved solids (TDS) โดยกฎหมายได้กำหนดไว้ว่า ค่า TDS ของน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลขนาดนี้ต้องไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร

การจัดการน้ำเสียจากโรงพยาบาลจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องอาศัยความเข้าใจในระบบที่มีอยู่ การวิเคราะห์ปัญหาอย่างรอบด้าน และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานและหาโอกาสในการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ การวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจึงมีความจำเป็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในการจัดการน้ำเสียของโรงพยาบาล

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้มีการเก็บข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิโดย site survey และการสัมภาษณ์

1. ติดต่อขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก ทางโรงพยาบาลชัยบาดาล จ.ลพบุรี โดยผ่านการอนุมัติและลงนาม จาก นพ. พิสิฐ พรหมคำ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี เพื่อเข้าไปเก็บข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ
2. ติดต่อและเข้าพบ นางสาวสุกัญญา หินซุย ตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุข นายรุ้ง บุญอิ่มตำแหน่งผู้ช่วยช่างทั่วไป และนายอาทิตย์ แก้วเจริญ ตำแหน่ง พนักงานบริการ เพื่อชี้แจง ทำความเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ กระบวนการของงานวิจัยและขอข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย
3. ลงพื้นที่เพื่อถ่ายรูประบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลชัยบาดาล และทำการสัมภาษณ์นางสาวสุกัญญา หินซุย ตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุข นายรุ้ง บุญอิ่ม ตำแหน่งผู้ช่วยช่างทั่วไป และนายอาทิตย์ แก้วเจริญ ตำแหน่งพนักงานบริการเพิ่มเติมในขั้นตอนการเดินระบบบำบัดน้ำเสียและสอบถามถึงปัญหาที่พบตลอดมาของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยบันทึกลงในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล
4. กำหนดจุดและเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งจำนวน 3 ครั้ง (ตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี 2567 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2568) ทั้งหมด 6 จุด ดังนี้

   A1 คือ หน่วยไตเทียม

A2 คือ บ่อสูบน้ำเสีย

A3 คือ บ่อเติมอากาศ

A4 คือ บ่อตกตะกอน

A5 คือ บ่อเติมคลอรีน

A6 คือ บ่อพักน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

5. นำตัวอย่างน้ำที่เก็บมา 3 ครั้งวิเคราะห์หาค่า TDS โดยวิธี Gravimetric Method dried และคำนวณหาค่าอัตราการไหลเฉลี่ย ค่า Mass balance ของ TDS และเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละของปริมาณ TDS ทั้งหมด
6. นำผลจากการวิเคราะห์ของค่าที่เกี่ยวข้องกับ TDS ทั้งหมด มาพิจารณาและเสนอหาแนวทางในการลดค่า TDS ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

ผลการทดลองและวิจารณ์

ข้อมูลผลตรวจและทดสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างของ โรงพยาบาลชัยบาดาล ปี 2562-2567

ค่า pH ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อยู่ในช่วง 7.77-8.2 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ คือ ไม่ต่ำกว่า 5 และไม่สูงกว่า 9

ค่า TDS เป็นค่าที่วัดปริมาณของแข็ง สารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ ตามกฎหมายกำหนดปริมาณ TDS ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในผลตรวจคุณภาพน้ำตัวอย่าง จะพบว่าอยู่ในช่วง 716-1,222 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่ามีค่าสูงเกินกฎหมายกำหนด

ค่า สารแขวนลอย อยู่ในช่วง 4-38 มิลลิกรัม/ลิตร โดยพบว่าวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563 มีค่าเท่ากับ 38 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าที่กฎหมายกำหนด จากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากเจ้าหน้าที่พบว่า สาเหตุเกิดจากก่อนที่จะเก็บตัวอย่างน้ำไปตรวจนั้น เจ้าหน้าที่ที่ดูแลระบบบำบัดได้ทำการล้างและทำความสะอาดบ่อบำบัด จึงทำให้เกิดสารแขวนลอยเป็นจำนวนมาก

ค่า ตะกอนหนัก พบว่าส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกินที่กฎหมายกำหนด แต่วันที่ 20 กรกฎาคม 2563 พบว่ามีค่าตะกอนหนักที่สูงเกินกฎหมายกำหนด คือ 0.8 มิลลิกรัม/ลิตรซึ่งหากพิจารณาค่า BOD ที่มีค่าเพียง 1.23 มิลลิกรัม/ลิตร จะพบว่าไม่สอดคล้องกัน และจากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับทางเจ้าหน้าที่ที่โรงพยาบาล พบว่าค่าตะกอนหนักที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน ที่เกิดจากเครื่องมือในขณะที่วัด

ค่า Oil&Grease คือ ปริมาณน้ำมันและไขมันในรูปต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ พบว่าอยู่ในช่วง 0.3-4.3 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

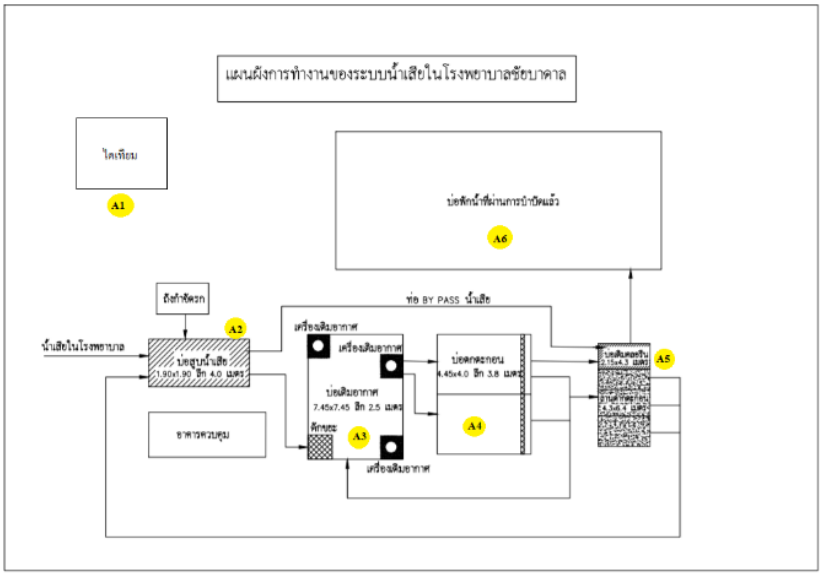
ค่า TKN อยู่ในช่วง 3-33.52 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ซึ่งสอดคล้องกับค่า BOD ที่มีค่าไม่สูงกว่า ค่ามาตรฐาน เช่นกัน

ค่า Sulfide อยู่ในช่วง 0-0.09 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ค่า COD อยู่ในช่วง 24-106 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

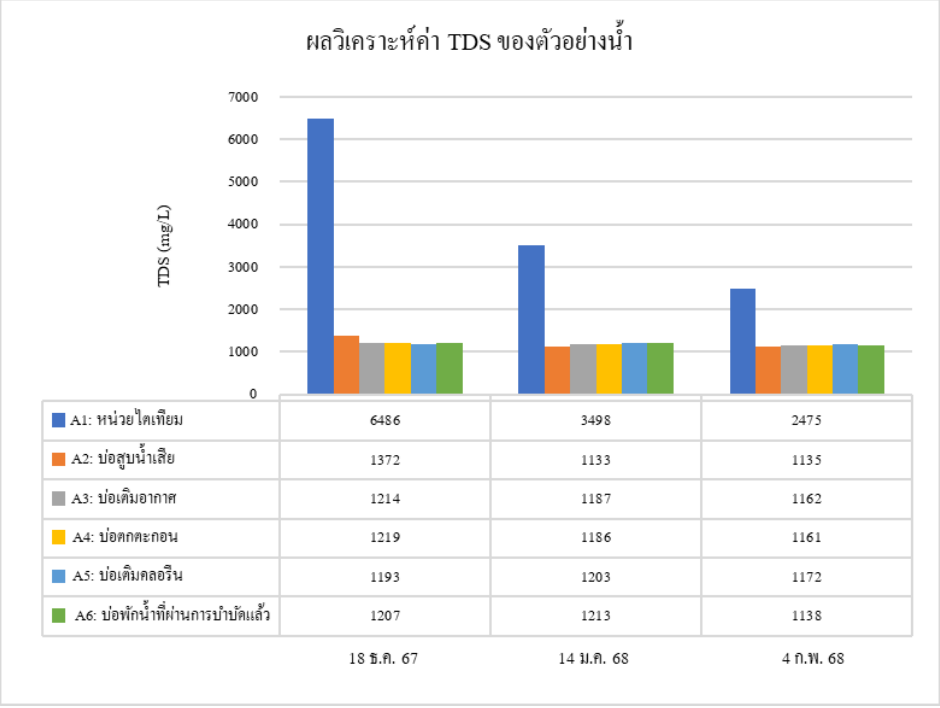
ค่า โคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มสูง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน สาเหตุอาจเกิดจากกระบวนการฆ่าเชื้อที่ไม่มีประสิทธิภาพมากพอ ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 อย่างคือ คลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 0.5-1 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาที่สัมผัสของคลอรีนกับเชื้อโรคอยู่ในระหว่าง 15-30 นาที

จากการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลผลตรวจและทดสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างของ โรงพยาบาลชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ในปี 2562-2567 พบว่า ค่าดัชนีคุณภาพน้ำตัวอื่นๆ ไม่มีค่าเกินที่กฎหมายกำหนด ยกเว้น ค่า TDS (Total dissolved solids) ที่มีค่าเกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 1 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลชัยบาดาล

Figure 1 Wastewater treatment system diagram of Chai Badan Hospital



รูปที่ 3 ผลวิเคราะห์ค่า TDS ของตัวอย่างน้ำ

Figure 3 TDS analysis results of water samples

จากกราฟผลการวิเคราะห์ค่า TDS ของตัวอย่างน้ำจากโรงพยาบาลชัยบาดาลใน 3 ครั้ง (18 ธ.ค. 67, 14 ม.ค. 68 และ 4 ก.พ. 68) ณ จุดเก็บตัวอย่าง 6 แห่ง ได้แก่ หน่วยไตเทียม (A1), บ่อสูบน้ำเสีย (A2), บ่อเติมอากาศ (A3), บ่อตกตะกอน (A4), บ่อเติมคลอรีน (A5) และบ่อน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (A6) สามารถวิเคราะห์และอธิบายได้ดังนี้

ค่า TDS ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

- หน่วยไตเทียม (A1) มีค่า TDS ที่สูงมากในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าสูงถึง 6486 mg/L ในวันที่ 18 ธ.ค. 67 จากนั้นลดลงมาอยู่ที่ 3498 mg/L ในวันที่ 14 ม.ค. 68 และลดลงอีกเล็กน้อยเป็น 2475 mg/L ในวันที่ 4 ก.พ. 68 ซึ่งบ่งชี้ว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการไตเทียมมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงกว่าจุดอื่นๆ อย่างมาก และอาจมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการหรือน้ำที่ใช้ในหน่วยไตเทียมในช่วงเวลาดังกล่าว
- บ่อสูบน้ำเสีย (A2) มีค่า TDS ที่ค่อนข้างคงที่ในแต่ละช่วงเวลา โดยมีค่าประมาณ 1300-1400 mg/L ในช่วงแรก และลดลงเล็กน้อยมาอยู่ที่ประมาณ 1130-1210 mg/L ในช่วงหลัง
- บ่อเติมอากาศ (A3) มีแนวโน้มของค่า TDS ที่ค่อนข้างคงที่เช่นกัน โดยมีค่าประมาณ 1200 mg/L ในทุกช่วงเวลา
- บ่อตกตะกอน (A4) มีค่า TDS ที่ใกล้เคียงกับบ่อเติมอากาศ โดยมีค่าประมาณ 1200 mg/L ในทุกช่วงเวลา
- บ่อเติมคลอรีน (A5) มีค่า TDS ที่ใกล้เคียงกับบ่อสูบน้ำเสีย บ่อเติมอากาศ และบ่อตกตะกอน โดยมีค่าประมาณ 1190-1200 mg/L ในทุกช่วงเวลา
- บ่อน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (A6) มีค่า TDS ที่ค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับบ่ออื่นๆ ที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว โดยมีค่าประมาณ 1200 mg/L ในทุกช่วงเวลา

การเปลี่ยนแปลงค่า TDS ตามช่วงเวลา พบว่าหน่วยไตเทียม (A1) แสดงแนวโน้มการลดลงของค่า TDS อย่างชัดเจน อาจเป็นผลจากการปรับปรุงกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงน้ำที่ใช้ หรือปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหน่วยไตเทียม จุดอื่นๆ (A2-A6) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญของค่า TDS ในจุดเหล่านี้ตามช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงความสม่ำเสมอของลักษณะน้ำเสียโดยรวมที่เข้าสู่ระบบบำบัด และประสิทธิภาพที่ค่อนข้างคงที่ของกระบวนการบำบัดในการจัดการของแข็งละลายน้ำและเมื่อเปรียบเทียบค่า TDS ระหว่าง บ่อสูบน้ำเสีย (A2) (ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดหลัก) กับ บ่อน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (A6) พบว่าค่า TDS ไม่ได้ลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลชัยบาดาลไม่ได้มีกระบวนการหลักที่มุ่งเน้นการกำจัดของแข็งละลายน้ำโดยเฉพาะ เนื่องจากเป็นระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge - CMAS) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นหลัก จึงมีประสิทธิภาพสูงในการลดค่า BOD และ COD

แนวทางการวิเคราะห์ Mass balance

จากการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการไหลและค่า TDS (Total Dissolved Solids) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลชัยบาดาล พบว่าแหล่งกำเนิด TDS หลักสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนสำคัญ ได้แก่ น้ำเสียจากหน่วยไตเทียม และน้ำเสียรวมจากส่วนอื่นๆ ของโรงพยาบาล (ห้องผ่าตัด, อาคารซักรีด, ห้องครัวและห้องน้ำ) แม้ว่าน้ำเสียจากหน่วยไตเทียมจะมีค่า TDS เฉลี่ยที่สูงมาก แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการไหลรวมแล้ว พบว่าน้ำเสียจากส่วนอื่นๆ ของโรงพยาบาลมีสัดส่วนของปริมาณ TDS ทั้งหมดที่สูงกว่า

พบว่า หน่วยไตเทียม มีค่าอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 16.8 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีค่า TDS 4153 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็น 6.98×10^7 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.06 ของปริมาณ TDS ทั้งหมด และอีกส่วน คือ น้ำเสียจากห้องผ่าตัด, อาคารซักรีด, ห้องครัวและห้องน้ำ มีค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำเสียเท่ากับ 157.2 ลูกบาสก์เมตร/วัน มีค่า TDS 753.80 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็น 1.18×10^8 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละ 62.94 ของปริมาณ TDS ทั้งหมด

ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียจากหน่วยไตเทียมจะสูงกว่าน้ำเสียจากส่วนอื่นๆ อย่างมาก แต่เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเสียจากส่วนอื่นๆ นั้นสูงกว่ามาก การจัดการลดค่า TDS เพียงอย่างเดียวจากแหล่งที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด (หน่วยไต

เทียม) อาจลดภาระ TDS ได้ในระดับหนึ่ง (37.06%) แต่เนื่องจากปริมาณ TDS ส่วนใหญ่นั้นมาจากน้ำเสียรวมของโรงพยาบาล (62.94%) การตระหนักถึงความสำคัญของการลดค่า TDS ในส่วนนี้จึงมีความสำคัญมากเพราะจะส่งผลให้ค่า TDS ในน้ำทิ้งรวมที่สูงเกินมาตรฐานที่กำหนดมีค่าที่ลดลงมาได้อย่างมีนัยสำคัญ

แนวทางการจัดการลดค่า TDS

เพื่อให้ค่า TDS ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลลดลงอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ควรพิจารณาดำเนินการดังนี้

1. การบำบัดเฉพาะจุด (Source Treatment)

- หน่วยไตเทียม พิจารณาเทคโนโลยีการบำบัดเฉพาะจากหน่วยไตเทียมเพื่อลดค่า TDS ก่อนที่จะรวมกับน้ำเสียส่วนอื่นๆ เทคโนโลยีที่อาจนำมาใช้ ได้แก่ ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis - RO) ซึ่งสามารถแยกเกลือและแร่ธาตุออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วอาจนำกลับมาใช้ใหม่ในบางกระบวนการของโรงพยาบาลได้ (Water Reuse) เช่น รดน้ำต้นไม้ ชะล้างทางเดินและถนนบริเวณในโรงพยาบาล ล้างรถ เป็นต้น
- ส่วนอื่นๆ ของโรงพยาบาล ประเมินแหล่งกำเนิด TDS ในน้ำเสียจากส่วนอื่นๆ เช่น การใช้น้ำยาทำความสะอาดที่มีเกลือสูง หรือกระบวนการในห้องซักรีดที่ปล่อย TDS ออกมา อาจพิจารณาการปรับเปลี่ยนกระบวนการหรือการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อ TDS น้อยลง

2. การบำบัดรวม (Centralized Treatment)

- หากการบำบัดเฉพาะจุดไม่สามารถลด TDS ให้เป็นไปตามมาตรฐานได้ อาจจำเป็นต้องพิจารณาการติดตั้งระบบบำบัดรวมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด TDS เทคโนโลยีที่อาจนำมาใช้ในระบบรวม ได้แก่ ระบบรีเวอร์สออสโมซิสขนาดใหญ่ หรือกระบวนการอื่นๆ ที่สามารถลดปริมาณเกลือและแร่ธาตุในน้ำเสียได้

3. การติดตามและควบคุม

- มีการตรวจสอบค่า TDS ในน้ำเสียจากแต่ละแหล่งและในน้ำทิ้งอย่างสม่ำเสมอ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดและปรับปรุงกระบวนการตามความจำเป็น

การจัดการลดค่า TDS ในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลจำเป็นต้องพิจารณาทั้งแหล่งกำเนิดที่มีความเข้มข้นสูง (หน่วยไตเทียม) และแหล่งที่มีอัตราการไหลสูง (น้ำเสียรวมจากส่วนอื่นๆ) การจัดการ TDS เพียงแหล่งเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำทิ้งรวมเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการบำบัดเฉพาะจุดหรือการบำบัดรวม ควบคู่ไปกับการติดตามและควบคุมอย่างสม่ำเสมอ จะเป็นแนวทางที่เหมาะสมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านคุณภาพน้ำทิ้งของโรงพยาบาล

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ Reverse Osmosis (RO) และ Ion Exchange

Feature	Reverse Osmosis (RO)	Ion Exchange
Efficiency and Effectiveness	มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนหลากหลายชนิด รวมถึงของแข็งที่ละลายน้ำ โลหะหนัก และแบคทีเรีย	มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุภาคที่เป็นประจุเท่านั้น
Cost Analysis	มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและยังมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากของเสียที่เกิดจากกระบวนการบำบัด	อาจมีต้นทุนเริ่มต้นที่ต่ำกว่า แต่ค่าบำรุงรักษาระยะยาวอาจสูงกว่าเนื่องจากต้องเปลี่ยนเรซินเป็นประจำ

Maintenance Requirements	โดยทั่วไปต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบแลกเปลี่ยนไอออน เมมเบรน RO ต้องการการทำความสะอาดและการเปลี่ยนเป็นระยะ	เรซินต้องการการฟื้นฟูหรือเปลี่ยนใหม่เป็นประจำ ความถี่และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น คุณภาพน้ำ การใช้งาน และการออกแบบระบบ

ตารางที่ 2 ปริมาณ TDS ที่เหลืออยู่หลังผ่านระบบ RO และ IE (สมมติประสิทธิภาพ 97%) ของทั้งสองแหล่งที่มา

แหล่งที่มาของ TDS	อัตราการไหลเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/วัน)	ค่า TDS เริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาณ TDS ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาณ TDS ที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาณ TDS ที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/วัน)
หน่วยไตเทียม	16.8	4153	4028.41	124.59	2.09×10^{6}
ห้องผ่าตัด, ซักรีด, ครัว, ห้องน้ำ	157.2	753.8	731.186	22.614	3.55×10^{6}

สรุป

จากผลการศึกษาทำให้พบว่า ค่า TDS ที่สูงกว่ากฎหมายกำหนด ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมอื่นๆ ไม่ได้เกิดจากหน่วยไตเทียมเพียงที่เดียว และแม้ว่าเทคโนโลยี RO และ Ion Exchange จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการลดค่า TDS แต่ก็ยังมีข้อจำกัดและปัจจัยอื่นๆที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วย เช่น ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง จึงต้องมีการสำรวจเพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางลดค่า TDS จากกิจกรรมอื่นๆ ควบคู่กันไป

กิตติกรรมประกาศ

งานศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจากหลายท่านตลอดระยะเวลาในการศึกษา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลักที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้างานวิจัยตลอดจนให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง กระทั่งการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณนายแพทย์พิสิฐ พรหมคำ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนข้อมูลในการศึกษาวิจัย รวมถึงให้การช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองผู้วิจัยหวังว่าการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ให้กับผู้อื่นไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยหวังว่าการศึกษางานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ให้กับผู้อื่นไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือการควบคุมและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล, กองบริหารการสาธารณสุข 2564.

[2] V Rochmah, I N Widiasa. 2021. Study Recycling Effluents of Hospital WWTP with Reverse Osmosis. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1-7.

[3] Rahul Keshav Jadhao and Shrikant D. Dawande. 2012. Reverse Osmosis and Ultrafiltration Membrane for Hospital Wastewater Treatment. International Journal of Chemical Sciences and Applications. 283-288.

[4] Manvendra Singh Chauhan, Atul Kumar Rahul, Shiwanshu Shekhar, Sushil Kumar. 2023. Removal of heavy metal from wastewater using ion exchange with membrane filtration from Swarnamukhi river in Tirupati. Materials Todays: Proceedings. 1-6.

20P-12

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหารโดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม

Optimization of Oil and Grease Adsorption from Canteen Wastewater Using Chitosan Extracted from Giant Freshwater Prawn Shells

อัณธิกา เสงี่ยมใจ[1*] และ ธนวรรณ แซ่ไหล[2]
Anthika Sa-ngiamjai[1*] and Thanawan Saelai[2]
[1*]อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000
[2]นักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000
*โทรศัพท์ : 085-4228492, โทรสาร : 035-245888, E-mail : anthika@aru.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาน้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันมีแนวโน้มสูงขึ้น การจัดการน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติโดยเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารจึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ต้นทุนต่ำ และสามารถเพิ่มมูลค่าจากของเหลือทิ้งได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยใช้ไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งก้ามกรามนำมาผลิตเป็นไคโตซานที่มีหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ได้แก่ หมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิล จากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมัน ได้แก่ ปริมาณไคโตซาน ระยะเวลา และค่าพีเอชของน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยที่มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเฉลี่ย 399.19 ± 80.99 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการทดลองพบว่าปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมที่สุดคือ 5 กรัม ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดร้อยละ 94.32 ขณะที่ระยะเวลาดูดซับ 15 นาที ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดร้อยละ 99.42 และค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 7.0 ± 0.5 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดร้อยละ 98.7 จากการวิเคราะห์โครงสร้างไคโตซานด้วยเทคนิค FTIR และ SEM พบว่า ไคโตซานมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดพันธะกับน้ำมันและไขมันได้ และมีลักษณะพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมันและไขมันทั้งทางกายภาพและเคมี การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไคโตซานจากวัสดุเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ไคโตซาน; น้ำเสีย; น้ำมันและไขมัน; เปลือกกุ้งก้ามกราม; การดูดซับ

Abstract

The increasing presence of oil and grease in wastewater from university canteens has become a growing environmental concern. Effective management of such wastewater at its source is therefore essential. Utilizing natural adsorbent materials, particularly those derived from food industry waste, has gained attention due to their environmental friendliness, low cost, and potential for value-added reuse. This study aimed to

investigate the optimal conditions for oil and grease adsorption in canteen wastewater using chitosan extracted from giant freshwater prawn shells. The extracted chitosan was characterized by functional groups favorable for adsorption, such as amino and hydroxyl groups. Key variables influencing adsorption efficiency—including chitosan dosage, contact time, and pH—were evaluated using real wastewater containing an average oil and grease concentration of 399.19 ± 80.99 mg/L. The results indicated that the optimal chitosan dosage was 5 grams, yielding a maximum adsorption efficiency of 94.32%. The highest removal efficiency of 99.42% was achieved at a contact time of 15 minutes, and the optimal pH was 7.0 ± 0.5, resulting in an efficiency of 98.7% . FTIR and SEM analyses revealed that the chitosan possessed functional groups and surface characteristics conducive to both physical and chemical adsorption. These findings demonstrate that chitosan derived from food processing waste can serve as an effective adsorbent for oil and grease removal in wastewater treatment processes.

Keywords : Chitosan; Wastewater; Oil and Grease; Giant Freshwater Prawn Shells; Adsorption

บทนำ

โรงอาหารเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงโดยเฉพาะน้ำมันและไขมัน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น การอุดตันของท่อส่งน้ำ การลดประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน [1] อีกทั้งการปล่อยน้ำเสียจากโรงอาหารโดยไม่ผ่านการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ ขัดขวางการแพร่กระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำจนก่อให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและพืชน้ำ การกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจึงมีความสำคัญทั้งในเชิงสิ่งแวดล้อมและด้านสุขาภิบาล ซึ่งการใช้วัสดุดูดซับเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ประหยัด ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะวัสดุดูดซับจากธรรมชาติ เช่น ไคโตซานที่เป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สกัดได้จากเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง กระดองปู แกนหมึก เปลือกหอย และแมลง โดยไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ได้จากการดึงหมู่อะซิติล (Acetyl group) ของไคตินออกโดยปฏิกิริยาที่เรียกว่า Deacetylation ทำให้โครงสร้างของไคตินที่เป็น N – Acetyl Glucosamine กลายเป็น Glucosamine ที่มีคุณสมบัติเป็นประจุบวก (Cationic Properties) ทำให้เป็น Linear Polyelectrolyte มีความหนาแน่นทางประจุสูง อีกทั้งยังมีสมบัติเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลากหลาย เช่น หมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถเกิดพันธะกับน้ำมันและไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2, 3] โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง ไคโตซานจะแสดงสมบัติเป็นประจุบวกที่สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันที่มีหมู่คาร์บอกซิเลตหรือเอสเทอร์ได้ดี [4]

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหารโดยใช้ไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งก้ามกราม ซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจากกระบวนการประกอบอาหาร (Food Waste) ซึ่งไคโตซานมีศักยภาพสูงในการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น น้ำมัน ไขมัน และโลหะหนัก [3, 5] ทั้งนี้ยังสามารถพัฒนาให้เกิดการใช้ประโยชน์ในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งของการจัดการของเสียแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) และยังมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาการเกิดน้ำเน่าเสีย การปล่อยมลพิษออกสู่แหล่งน้ำและเกิดการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากร้านอาหารอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมวัสดุดูดซับ

เปลือกกุ้งก้ามกรามที่นำมาใช้ในการทดลองการดูดซับน้ำมันและไขมันเป็นของเหลือทิ้งจากร้านอาหารภายในตลาดกลางเพื่อการเกษตร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นำมาสกัดเป็นไคโตซาน ซึ่งมีกระบวนการ ดังนี้

1.1 การสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม

1) การเตรียมเปลือกกุ้งก้ามกราม

นำเปลือกกุ้งก้ามกรามสดมาล้างด้วยน้ำสะอาดและแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) เปลือกหัวและกรี (Carapace and Rostrum) และ 2) เปลือกส่วนท้อง (Abdomen) ผึ่งให้แห้งและนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 70°C

เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด No.35 และ No.50 เพื่อให้ได้เปลือกกุ้งก้ามกรามอบแห้งขนาด 0.3 – 0.5 มิลลิเมตร

2) การสกัดไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกรามสด [ดัดแปลงจาก 6, 7, 8] ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการผลิตไคตินและกระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซิติล

2.1) กระบวนการผลิตไคติน

2.1.1) ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (Deproteinization)

นำเปลือกกุ้งก้ามกรามอบแห้งขนาด 0.3 – 0.5 มิลลิเมตร จากข้อ 1) น้ำหนัก 200 กรัม ในอัตราส่วน 1 : 1 (เปลือกหัวและกรี 100 กรัม : เปลือกส่วนท้อง 100 กรัม) ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 4% (w/v) ในอัตราส่วน 1 : 14 ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมทั้งคนตลอดเวลา เมื่อครบกำหนดเวลากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 และล้างเปลือกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จนน้ำล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.1.2) ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)

นำเปลือกกุ้งก้ามกรามที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีน ในข้อ 2.1.1) มาต้มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 4% (v/v) ในอัตราส่วน 1 : 14 ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมทั้งคนตลอดเวลา ซึ่งการใช้สารละลาย HCl เป็นตัวละลายแร่ธาตุซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต $2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 และล้างเปลือกกุ้งก้ามกรามด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนน้ำล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง นำเปลือกกุ้งก้ามกรามไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไคตินจากเปลือกกุ้งก้ามกราม

2.2) กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซิติล (Deacetylation)

นำไคตินที่ผ่านการอบแห้งจากขั้นตอนที่ 2.1.2) มาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 50% (w/v) ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 และล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนน้ำล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง บดไคโตซานด้วยโกร่งบดยาและร่อนผ่านตะแกรง No.35 และ No.50 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกรามที่มีขนาด 0.3 – 0.5 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงซิปล็อคในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะใช้งาน ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชั่นและพื้นที่ผิวของไคโตซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งก้ามกรามสดโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยการส่งตัวอย่างวิเคราะห์กับศูนย์บริการวิเคราะห์ทดสอบ

2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนำมาจากโรงอาหารที่ตั้งอยู่ภายในอาคารสวนหลวงค้างคาว มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เก็บรวบรวมน้ำเสียจากท่อน้ำทิ้งของอ่างล้างจานที่ใช้ในการล้างเศษอาหารที่เปื้อนออกจากภาชนะ ซึ่งในจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียดังกล่าวไม่มีการปนเปื้อนของน้ำยาล้างจาน ตัวอย่างน้ำเสียมีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 399.19 $\pm$ 80.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชของน้ำเสีย เท่ากับ 5.264 $\pm$ 0.48

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมันและไขมัน

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันและไขมันของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง ได้ศึกษาปัจจัยทั้งทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ปริมาณวัสดุดูดซับ ระยะเวลาดูดซับ และค่าพีเอชของน้ำเสีย [ดัดแปลงจาก 8, 9] ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

การทดลองปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมต่อการดูดซับ นำไคโตซานน้ำหนัก 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ใส่ลงในน้ำเสียปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 7.0 ± 0.5 โดยใช้ 1N H_2SO_4 หรือ 1N NaOH เขย่าด้วยความเร็วรอบ 175 รอบต่อนาที ระยะเวลาดูดซับ 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 เพื่อแยกไคโตซานออกจากน้ำตัวอย่าง วิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองเพื่อคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ และพิจารณาเลือกปริมาณไคโตซานที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองถัดไป

2) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

การทดลองระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสมใช้ปริมาณไคโตซานที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดจากการทดลองที่ 1) ปริมาตรน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 7.0 ± 0.5 โดยใช้ 1N H_2SO_4 หรือ 1N NaOH ระยะเวลาดูดซับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที เขย่าด้วยความเร็วรอบ 175 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 เพื่อแยกไคโตซานออกจากน้ำตัวอย่าง วิเคราะห์ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองเพื่อคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับและพิจารณาเลือกระยะเวลาการดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด เพื่อนำไปใช้ในการทดลองถัดไป

3) ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

การทดลองค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับโดยใช้ปริมาณไคโตซานและระยะเวลาในการดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดจากการทดลองที่ 1) และ 2) ปริมาตรน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 5 ± 0.5, 7 ± 0.5 และ 9 ± 0.5 โดยใช้ 1N H_2SO_4 หรือ 1N NaOH เขย่าด้วยความเร็วรอบ 175 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 เพื่อแยกไคโตซานออกจากน้ำตัวอย่าง วิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองเพื่อคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

4. วิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

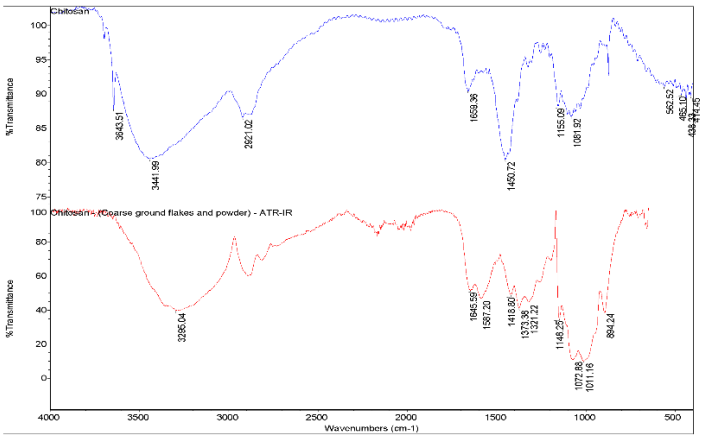
วิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียก่อนและหลังการทดลองด้วยวิธีสกัดด้วยกรวยแยก (Partition Gravimetric Method) ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd edition เพื่อคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันของไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะของวัสดุดูดซับ

1.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นของไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม

จากการวิเคราะห์ไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งก้ามกรามสดโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy พบแถบการดูดกลืนคลื่นที่สอดคล้องกับไคโตซานมาตรฐาน โดยมีตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญ ได้แก่ 1,081 cm^{-1}, 1,550 cm^{-1} และ 3,200 – 3,500 cm^{-1} และมีการพบสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ หมู่อะมิโน (-NH_2) บริเวณความยาวคลื่น 1,590 – 1,650 cm^{-1} และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ช่วงความยาวคลื่น 3,200 – 3,600 cm^{-1} (รูปที่ 1) โดยหมู่ไฮดรอกซิลสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำมันหรือไขมันได้ ในขณะที่หมู่อะมิโนมีความสามารถในการเกิดโปรตอน (Protonation) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย ทำให้ผิวของไคโตซานมีประจุบวก (–NH_3^+) ซึ่งทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกกับโมเลกุลของน้ำมันและไขมันที่มีขั้วไฟฟ้าหรือขั้วลบ เช่น กลุ่มคาร์บอกซิเลต (-COO^-) ที่พบในกรดไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2, 5]



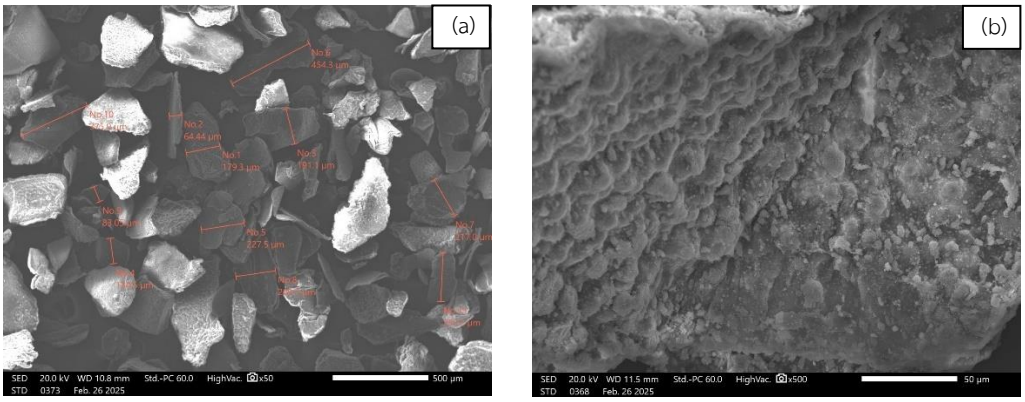
รูปที่ 1 หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกรามที่วิเคราะห์ด้วย FTIR spectroscopy

นอกจากนี้ โครงสร้างของไคโตซานยังสามารถเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบแรงแวนเดอร์วาลส์กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของไขมันทำให้สามารถดึงดูดและเกาะจับไขมันในน้ำเสียได้ทั้งทางกายภาพและทางเคมี [3] การมีหมู่ฟังก์ชันที่หลากหลายบนโครงสร้างสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ โดยเฉพาะในสภาวะที่ค่าพีเอชเหมาะสม (pH 6 – 7) ซึ่งเป็นช่วงที่ไคโตซานมีการเกิดโปรตอนจำนวนมากและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไคโตซาน

1.2 การศึกษาลักษณะและพื้นที่ผิวของไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกรามมีขนาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 2a) และมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่เรียบ มีความขรุขระ และมีรูพรุนจำนวนมากกระจายทั่วทั้งพื้นผิว (รูปที่ 2b) โครงสร้างที่ไม่เรียบดังกล่าวแสดงถึงลักษณะเฉพาะของวัสดุรูพรุนที่ช่วยให้วัสดุมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงขึ้น ซึ่งทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงอาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันในปริมาณสูงสามารถสัมผัสและยึดเกาะกับพื้นผิวของไคโตซานได้มากขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น [10, 11]

ลักษณะทางกายภาพของไคโตซานมีบทบาทสำคัญต่อกลไกการดูดซับทั้งทางกายภาพและทางเคมี ความพรุนและความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออัตราการดูดซับ โดยเฉพาะกระบวนการดูดซับน้ำมันและไขมันที่มีลักษณะเป็นโมเลกุลใหญ่และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงต้องการพื้นผิวที่เปิดกว้างและความสามารถในการสร้างพันธะที่แข็งแรงกับโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ ทำให้ไคโตซานเป็นสารดูดซับน้ำมันและไขมันที่มีประสิทธิภาพ [12]

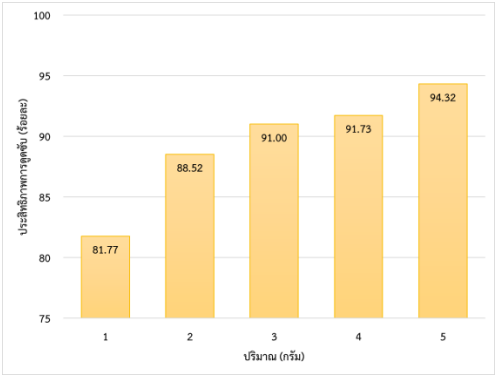


รูปที่ 2 ลักษณะของไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกรามที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) ขนาดของไคโตซานที่กำลังขยาย 50 เท่า (b) ลักษณะพื้นผิวของไคโตซานที่กำลังขยาย 500 เท่า

2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมันและไขมัน

2.1 ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

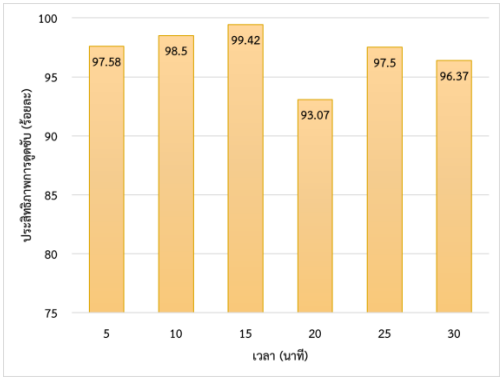
จากการทดลองปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมันและไขมัน โดยใช้ไคโตซานน้ำหนัก 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ปริมาตรน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 7.0 ± 0.5 เขย่าด้วยความเร็วรอบ 175 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานจาก 1 กรัม เป็น 5 กรัม ประสิทธิภาพ การดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากร้อยละ 81.77 (ไคโตซาน 1 กรัม) จนสูงสุดร้อยละ 94.32 (ไคโตซาน 5 กรัม) (รูปที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับความสามารถในการกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย เนื่องจากการเพิ่มปริมาณไคโตซานเป็นการเพิ่มจำนวนหมู่ฟังก์ชัน ($-NH_2$ และ -OH) และพื้นที่ผิวที่ทำให้เกิดการดูดซับกับโมเลกุลของน้ำมันและไขมันที่อยู่ในน้ำเสีย เมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่า การใช้ปริมาณไคโตซานตั้งแต่ 3 กรัมขึ้นไป อัตราการเพิ่มของประสิทธิภาพการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับการเพิ่มปริมาณไคโตซานจาก 1 กรัม เป็น 3 กรัม ซึ่งอาจเกิดจากการอิ่มตัวของพื้นที่ผิวบนวัสดุดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อจำนวนโมเลกุลของน้ำมันและไขมันที่สามารถจับกับหมู่ฟังก์ชันบนผิววัสดุถึงจุดสูงสุด การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับสามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารปนเปื้อนได้ในระดับหนึ่ง แต่หลังจากนั้นความสามารถในการดูดซับจะคงที่ นอกจากนี้การใช้ปริมาณไคโตซานมากเกินไปสามารถก่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนทำให้พื้นที่ผิวที่แท้จริงลดลง และในบางกรณีอาจทำให้ความสามารถในการดูดซับในระบบลดลงได้ การจัดสมดุลระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับลักษณะของน้ำเสียจึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบกระบวนการบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ [13]



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียของไคโตซานที่ปริมาณต่างกัน

2.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

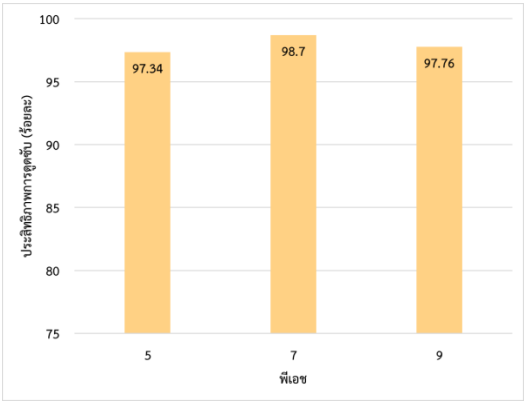
ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับเป็นหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์ประเภทน้ำมันและไขมันซึ่งมีลักษณะไม่ละลายน้ำและมีมวลโมเลกุลค่อนข้างสูง จากการทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ใช้ปริมาตรน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 7.0 ± 0.5 ปริมาณไคโตซาน 5 กรัม เขย่าด้วยความเร็วรอบ 175 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 15 นาที ไคโตซานสามารถดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้สูงสุดร้อยละ 99.42 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่ผิวของไคโตซานยังสามารถดูดซับโมเลกุลของสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งพอลิเมอร์ประเภทไคโตซานจะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็ว โดยเฉพาะในระบบที่มีการกวนสารละลายอย่างต่อเนื่องที่ช่วยให้สารละลายสัมผัสกับพื้นที่ผิวได้ทั่วถึงและลดการรวมตัวของโมเลกุลไขมันเป็นกลุ่มใหญ่ [14] แต่เมื่อใช้ระยะเวลาการดูดซับที่ 20 – 30 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 4) อาจเป็นผลมาจากหมู่ฟังก์ชันบนผิวไคโตซานจับกับโมเลกุลของน้ำมันและไขมันจนเกือบเข้าสู่สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ส่งผลให้โมเลกุลที่จะเข้าสู่ตำแหน่งดูดซับลดลง อีกทั้งยังมีแนวโน้มการเกิดการสะสมที่ผิวไคโตซานซึ่งอาจทำให้รูพรุนของไคโตซานถูกปิดกั้นทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง จากข้อมูลการทดลองในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าที่ระยะเวลาการดูดซับ 15 นาที เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด ในการดูดซับน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียโดยใช้ไคโตซาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มทั่วไปของพอลิเมอร์ชีวภาพที่เข้าสู่สมดุลได้ภายในระยะเวลาไม่นานและยังคงรักษาความสามารถในการดูดซับได้สูงโดยไม่เกิดการเสื่อมสมรรถภาพของวัสดุในระยะสั้น



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียของไคโตซานที่ระยะเวลาดูดซับต่างกัน

2.3 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

ค่าพีเอชของสารละลายมีบทบาทสำคัญต่อกลไกการดูดซับของไคโตซาน เนื่องจากส่งผลต่อสถานะของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวโดยเฉพาะหมู่อะมิโน (-NH_2) ซึ่งสามารถรับโปรตอนกลายเป็น –NH_3^+ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง จากการทดลองค่าพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการดูดซับ 5 ± 0.5, 7 ± 0.5 และ 9 ± 0.5 ปริมาตรน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ปริมาณไคโตซาน 5 กรัม เขย่าด้วยความเร็วรอบ 175 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอช 7.0 ± 0.5 เป็นช่วงที่ทำให้ไคโตซานมีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันสูงสุดร้อยละ 98.7 แสดงให้เห็นว่าในช่วงพีเอชดังกล่าวไคโตซานยังคงมีประจุบวกของหมู่อะมิโนที่เพียงพอต่อการเกิดพันธะไอออนิกกับกลุ่มที่มีขั้วหรือละลายน้ำได้บางส่วนของโมเลกุลไขมัน เช่น กลุ่มคาร์บอกซิเลต (-COO^-) หรือกลุ่มเอสเทอร์ ในช่วงพีเอชของน้ำเสีย 5 ± 0.5 ที่มีสภาวะเป็นกรด หมู่อะมิโนจะมีการโปรตอนสูงกว่า แต่ในสภาวะความเป็นกรดสามารถเร่งให้เกิดการรวมตัวของไขมัน (Coalescence) ทำให้ไขมันมีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งไม่สามารถแทรกเข้าสู่รูพรุนของไคโตซานได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง นอกจากนี้สภาพความเป็นกรดยังอาจทำให้โครงสร้างของไคโตซานอ่อนตัวลงบางส่วนและลดความสามารถในการคงสภาพฟังก์ชันของหมู่โปรตอน แต่เมื่อค่าพีเอชเป็นด่าง (9 ± 0.5) การเกิดโปรตอนของหมู่อะมิโนจะลดลงทำให้ไคโตซานมีประจุบวกน้อยลง ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวกับกลุ่มไขมันที่มีขั้วลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้ในสภาวะด่างยังอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างบางส่วนของไขมัน (Saponification) ซึ่งส่งผลต่อสมดุลของระบบดูดซับ [4] การโปรตอนของหมู่อะมิโนในไคโตซานจะเกิดขึ้นดีในช่วงพีเอช 6 – 7 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดไขมันและไขมันในน้ำเสียจากครัวเรือน [1, 15]



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียของไคโตซานที่ค่าพีเอชของน้ำเสียต่างกัน

ไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งก้ามกรามไม่เพียงแต่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมเท่านั้น แต่ยังมีลักษณะพื้นผิวและลักษณะที่สามารถปรับตัวตามสภาวะแวดล้อม ทำให้สามารถใช้ดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้ไม่เพียงสนับสนุนแนวคิดการใช้ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารให้เกิดมูลค่าเพิ่ม แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียระดับชุมชนหรืออุตสาหกรรมได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

สรุป

ไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งก้ามกรามมีโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย โดยมีหมู่อะมิโนและไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดพันธะกับกรดไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและมีรูพรุน ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและความสามารถในการยึดเกาะของสารปนเปื้อนได้ดี

การทดลองสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย พบว่า ปริมาณไคโตซาน 5 กรัม ให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมันสูงสุดร้อยละ 94.32 ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 15 นาที ให้ประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 99.42 และค่าพีเอชของน้ำเสีย 7 ± 0.5 เป็นช่วงที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดร้อยละ 98.7 โดยสามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเฉลี่ย 399.19 ± 80.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แก่ การใช้ไคโตซานปริมาณ 5 กรัม ระยะเวลาดูดซับ 15 นาที และค่าพีเอชของน้ำเสีย 7 ± 0.5 โดยสภาวะข้างต้นนี้มีส่วนช่วยให้หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานทำงานได้อย่างเต็มที่โดยไม่เกิดการอิ่มตัวของพื้นที่ผิวหรือการรวมตัวของอนุภาคไคโตซาน

จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกรามสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารได้อย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในระบบบำบัดน้ำเสียจริงในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ ตลอดจนคณาจารย์และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Desbrières, J., and Guibal, E. 2018. Chitosan for wastewater treatment. Polymer International, 67(1): 7 – 14.

[2] Tardy, B. L., Mattos, B. D., Otoni, C. G., Beaumont, M., Majoinen, J., Kämäräinen, T., and Rojas, O. J. 2021. Deconstruction and reassembly of renewable polymers and biocolloids into next generation structured materials. Chemical reviews, *121*(22): 14088 - 14188.

[3] Liang, H., and Esmaeili, H. 2021. Application of nanomaterials for demulsification of oily wastewater: A review study. Environmental Technology & Innovation, 22: 101498.

[4] Silvestre, J., Delattre, C., Michaud, P., and de Baynast, H. 2021. Optimization of chitosan properties with the aim of a water resistant adhesive development. Polymers, 13(22): 4031.

[5] Hossain, M. S., and Iqbal, A. 2014. Production and characterization of chitosan from shrimp waste. Journal of the Bangladesh Agricultural University, 12(1): 153 – 160.

[6] Khanafari, A., Marandi, R., and Sanatei, S. 2008. Recovery of chitin and chitosan from shrimp waste by chemical and microbial methods. Iranian Journal of Health and Environment. 5: 19 – 24.

[7] ชัชญาภา เกตุวงศ์, ภานุวัฒน์ เกตุวงศ์, รัตติยาภรณ์ ไปนา และมนทการ รังเพีย. 2562. การดูดซับทองแดง (II) ในน้ำเสียด้วยไคโตซานที่สกัดจากเปลือกปูม้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. 3(2): 71 – 82.

[8] กนิษฐา วัฒนชัย และธิติมา เกตุแก้ว. 2567. ประสิทธิภาพของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานทางการค้าในการกำจัดน้ำมันและไขมัน. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี. 2(1): 37 – 46.

[9] รัชกฤช ปัทมโสภาสกุล, เอกรินทร์ บดีรัฐ และบุณยรัศมิ์ สุขเขียว. 2563. การดูดซับน้ำมันในแหล่งน้ำทิ้งด้วยไคตินจากเปลือกกุ้งขาว. ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 12. วันที่ 9 – 10 กรกฎาคม 2563. ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. หน้า 338 – 345.

[10] Yeit Haan, T., Isma Nordin, P. M., Ahmad Juanda, N. I., Mohd Shafi, M. A., and Krishnan, P. 2023. A review on adsorption process for the treatment of oily wastewater. Advances in Environmental and Engineering Research, 4(1): 1 – 30.

[11] Srimoon, R., and Potipat, J. 2021. Development of chitosan beads as an oil adsorbent and its application in household grease traps. ScienceAsia, 47(3): 330 – 339.

[12] Ngah, W. W., Teong, L. C., and Hanafiah, M. M. 2011. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. Carbohydrate polymers, 83(4): 1446 – 1456.

[13] Kaczorowska, M. A., and Bożejewicz, D. (2024). The application of chitosan-based adsorbents for the removal of hazardous pollutants from aqueous solutions—a review. Sustainability, 16(7): 2615.

[14] Crini, G. 2005. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. Progress in polymer science, 30(1): 38 – 70.

[15] SUHANI, N. B. 2017. Kitchen wastewater treatment by adsorption process using banana trunk fibers (Musa Sapientum) and chitosan. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.

20P-13

สังเคราะห์ ZnO ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมจากเบสธรรมชาติ 2 ชนิด และสลายสีย้อม RhB และ RO ภายใต้แสง UV

Synthesis of ZnO via Co-precipitation Method Using Two Natural Bases and Photocatalytic Degradation of RhB and RO Dyes under UV light

ชนรรค์ พงศ์อาทิตย์[1*] ไดอาน่า บูหะหมัด[2] เสาวลักษณ์ อะหมาด[2] กนิษฐา พงศ์อาทิตย์[3] และ วิภาพรรณ คงเย็น[4]
Chanun Phongarthit[1*] Dai-a-na Buhamad[2] Saowaluk A-mad[2] Kanitta Phongarthit[3] and Wipapan Kongyen[4]
[1*]อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[2]นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[3]อาจารย์ หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[4]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000
[*]โทรศัพท์ : 0841984004, E-mail : chanan.ph@skru.ac.th

บทคัดย่อ

สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ที่สังเคราะห์จากเบสธรรมชาติ ได้แก่ น้ำขี้เถ้ายางพาราและน้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก โดยใช้กระบวนการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) ในการสังเคราะห์ ZnO เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสลายสีย้อม Rhodamine B (RhB) และ Reactive Orange 16 (RO) ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) กับ ZnO ที่สังเคราะห์จากสารละลาย NaOH การสังเคราะห์เริ่มจากการละลายสังกะสีอะซิเตทในสารละลายด่างจากแหล่งขี้เถ้าที่มีค่า pH ประมาณ 10 จากนั้นให้ความร้อนที่ 80°C เพื่อกระตุ้นการตกตะกอน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น อบแห้งที่ 100°C และเผาที่อุณหภูมิ 900°C เพื่อให้ได้ ZnO ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสลายสีย้อมพบว่า ZnO จากน้ำขี้เถ้ายางพารามีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายสีย้อม โดยสามารถกำจัดสีย้อม RhB ได้ 93% ภายใน 180 นาที และ RO ได้ 95% ภายใน 150 นาที โดยเฉพาะในช่วง 20–60 นาทีแรก พบว่าเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว ZnO จากน้ำขี้เถ้าขี้เหล็กให้ผลในระดับปานกลาง โดยกำจัด RhB ได้ 85% และ RO ได้ 90% ขณะที่ ZnO จาก NaOH มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดยสามารถสลาย RhB และ RO ได้เพียง 65% และ 55% ตามลำดับ

คำสำคัญ : การตกตะกอนร่วม; สีย้อมโรดามีนบี; สีย้อมรีแอคทีฟออเรนจ์

Abstract

Zinc oxide (ZnO) was synthesized from a natural-based method, namely para ash water and khilek ash water, through a co-precipitation process to synthesize ZnO. When considering the efficiency of Rhodamine B (RhB) and Reactive Orange 16 (RO) degradation reaction under UV applied ZnO synthesized from Sodium Hydroxide solution (NaOH), the synthesis process started at dissolving zinc acetate in alkaline solution from ash material/source with pH 10. Consequently, the solution was heated to 80 °C to urge the precipitation to precipitate. The obtained precipitate was washed in distilled water and calcined at 900 °C to get ZnO. As a result of the dye degradation, the efficiency of obtaining ZnO synthesized from para ash water was the highest in degrading dyes, 93% in 180 minutes of RhB and 95% in 150 minutes of RO, respectively. During the first period of 20–60 minutes, dyes were rapidly degrading and the degradation result of ZnO

synthesized from khilek ash water showed moderate efficiency, removing 85% of RhB and 90% of RO, respectively, while ZnO from Sodium Hydroxide solution showed the lowest efficiency, degrading only 65% of RhB and 55% of RO, respectively.

Keywords : co-precipitation; Rhodamine B Dye; Reactive Orange Dye

บทนำ

ในยุคปัจจุบันอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สิ่งทอ เคมีภัณฑ์ และกระดาษ มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการปล่อยน้ำเสียที่มีสารเคมีอันตรายและสีย้อมออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสีย้อม Rhodamine B (RhB) ซึ่งเป็นสีย้อมสังเคราะห์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม สารนี้มีคุณสมบัติคงทนและย่อยสลายได้ยากทำให้เกิดการสะสมในแหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพของมนุษย์ การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนเพื่อลดผลกระทบจากน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อน เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced Oxidation Processes: AOPs) ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการสลายสารอินทรีย์ที่เป็นอันตรายให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ในกระบวนการนี้วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) อย่างสังกะสีออกไซด์ (Zinc Oxide: ZnO) มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสง (Photocatalytic) สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการสลายสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง การสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์จากวัสดุธรรมชาติเป็นแนวทางที่น่าสนใจเนื่องจากประหยัดพลังงานเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถลดการใช้สารเคมีอันตรายในกระบวนการผลิต [1] นอกจากนี้การใช้ ZnO มีศักยภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถสลายสีย้อม RhB (Rhodamine B) และRO (Reactive Orange) ให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นพิษได้ [2] การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์นาโนพาวเดอร์ (ZnO NPs) โดยใช้วิธี oxalate co-precipitation เป็นอีกวิธีที่ง่ายและประหยัดต้นทุน วัตถุดิบที่ใช้คือซิงค์ซัลเฟตและกรดออกซาลิก ทำปฏิกิริยาในอุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการเผาที่ 500 °C และ 700 °C เพื่อลดและเปลี่ยนเฟสของสาร ผลจาก XRD แสดงว่าได้โครงสร้างผลึกหกเหลี่ยมบริสุทธิ์ของ ZnO และไม่มีเฟสอื่นปน การวิเคราะห์ SEM พบอนุภาคมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 80 นาโนเมตรและมีการรวมตัวกันของอนุภาค [3] การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วมและการเผาสารที่อุณหภูมิต่างกัน (500–800 °C) เพื่อควบคุมรูปร่างและโครงสร้างผลึกของ ZnO ตัวอย่างการเผาที่ 700 °C (T700-ZnO) แสดงสมบัติทางโครงสร้างดีที่สุด ได้แก่ ความเป็นผลึกสูง การแยกประจุมีประสิทธิภาพ และการถ่ายโอนประจุรวดเร็ว ZnO วิเคราะห์ด้วย XRD, SEM, TEM, PL, UV-Vis, EIS และ XPS ยืนยันความเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาค [4] การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ด้วยวิธีสีเขียว โดยใช้สารสกัดจากใบพืช Dolichos lablab L. ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และแคปปิ้งเอเจนต์ ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ZnO ที่ได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 29 นาโนเมตร โครงสร้างผลึกแบบ hexagonal wurtzite และมีลักษณะผิวไม่สม่ำเสมอ ZnO ถูกวิเคราะห์ด้วย UV-Vis, FT-IR, XRD, FE-SEM, TEM และ EDX ยืนยันโครงสร้างและองค์ประกอบของอนุภาค ZnO นอกจากนี้ ZnO ยังแสดงสมรรถนะสูงในการย่อยสลายสารสีย้อม MB, RhB และ RO ภายใต้แสง UV และแสงที่มองเห็นได้ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 95% สมรรถนะการย่อยสลายขึ้นอยู่กับค่า pH และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดย RhB ถูกย่อยสลายดีที่สุดที่ pH 9 ZnO ยังแสดงฤทธิ์ต้านจุลชีพที่ดีต่อแบคทีเรีย Bacillus pumilus และ Sphingomonas paucimobilis ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ZnO ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีสีเขียวมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสารฆ่าเชื้อในการบำบัดน้ำเสีย T700-ZnO มีประสิทธิภาพการย่อยสลาย Rhodamine B ภายใต้แสง UV สูงสุด (99.12%) สูงกว่า ZnO เชิงพาณิชย์ แม้พื้นที่ผิวจำเพาะจะไม่สูงที่สุด แต่ปัจจัยด้านผลึกภาพและการแยกประจุส่งผลมากกว่าต่อสมรรถนะของ ZnO อนุภาค T700-ZnO ยังแสดงเสถียรภาพสูงในการใช้งานซ้ำ จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ด้านการบำบัดน้ำเสีย [5]

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์จากวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีตกตะกอนร่วมจากเบสธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำขี้เถ้ายางพาราและน้ำขี้เถ้าขี้เหล็กเพื่อใช้ในการสลายสีย้อม RhB และ RO ในน้ำเสียภายใต้แสง UV โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ยั่งยืน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและคาดว่าจะเป็นอีกแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำจากอุตสาหกรรม และช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศทางน้ำในระยะยาว

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ละลายสังกะสีอะซิเตท ($Zn(CH_3COO)_2$) ปริมาณ 2.19 กรัม ในขวดรูปชมพู่ ตามวิธีของ Phongarthit, K, et al (2019) [6] จากนั้นเติมน้ำขี้เถ้ายางพารา pH 10 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยดลงในสารละลายพร้อมกับกวนสารละลายอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา จากนั้นให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 80 °C พร้อมกับกวนสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยสารละลายตั้งทิ้งไว้จนเกิดการตกตะกอนและล้างตะกอนด้วยน้ำ DI (Deionized water) 3-4 ครั้ง นำตะกอนที่แห้งอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง บดตะกอนที่แห้งให้ละเอียด นำตะกอนที่ผ่านการบดเผาด้วยเครื่องเผาอุณหภูมิสูงที่ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ ZnO ที่มีโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์และมีคุณภาพสูง ในขั้นตอนนี้จะระบุเป็น ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา และการสังเคราะห์ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก ทำเหมือนขั้นตอนด้านบนแต่ต่างกันตรงชนิดน้ำขี้เถ้าจะใช้เป็นน้ำขี้เถ้าจากขี้เหล็ก pH 10 นำ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา และ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก ทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการสลายสีย้อม Rhodamine B (RhB) และสีย้อม RO ภายใต้แสง UV

2.1 การสังเคราะห์ ZnO จากน้ำขี้เถ้ายางพารา, น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ขั้นตอนในการสังเคราะห์ ZnO ถูกสังเคราะห์โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วม (co-precipitation method) โดยชั่ง Zinc acetate dihydrate 0.1 g ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมสารละลายน้ำขี้เถ้ายางพารา 50 ml ลงในขวดรูปชมพู่ทีละหยดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อทำการผสมจะได้สารละลายมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองตะกอนและล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออน ทำการอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บสารหลังจากเผาในถุงซิปล็อก ส่วนในการสังเคราะห์ ZnO จากเบสธรรมชาติจากน้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และการสังเคราะห์ ZnO จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้วิธีเดียวกันกับการสังเคราะห์ ZnO จากน้ำขี้เถ้ายางพารา

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติ

ลักษณะสัณฐานและองค์ประกอบของธาตุในสารที่สังเคราะห์ได้ถูกศึกษาด้วยเทคนิค EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer)

2.3 การสลายสีย้อม Rhodamine B (RhB)

การทดสอบการสลายสีย้อมของอนุภาค ZnO จากเบสธรรมชาติผ่านการสลายสีย้อม Rhodamine B ความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลาร์ ภายใต้แสง UV โดยชั่ง ZnO จากเบสธรรมชาติ 0.1 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Rhodamine B ความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลาร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร คนสารละลายเป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด เก็บสารละลาย 3 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที นำส่วนใสเก็บใส่หลอดทดลองหลอดใหม่ จากนั้นฉายแสง UV ต่อทุก 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยจะเก็บสารละลาย Rhodamine B 3 มิลลิลิตร สารละลายตัวอย่างที่เก็บจะถูกนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที นำส่วนใสของการฉายแสง UV ที่เวลาต่าง ๆ มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ Rhodamine B ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของ Rhodamine B ที่ความยาวคลื่นในช่วง 200-800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีย้อม Rhodamine B คำนวณประสิทธิภาพการสลายสีย้อมโดยนำค่าการดูดกลืนแสงของ Rhodamine B ที่เวลาต่าง ๆ มาคำนวณด้วยสมการ (1)

$$\%D.E. = ((C0 - C)/ C0 \times 100) \quad (1)$$

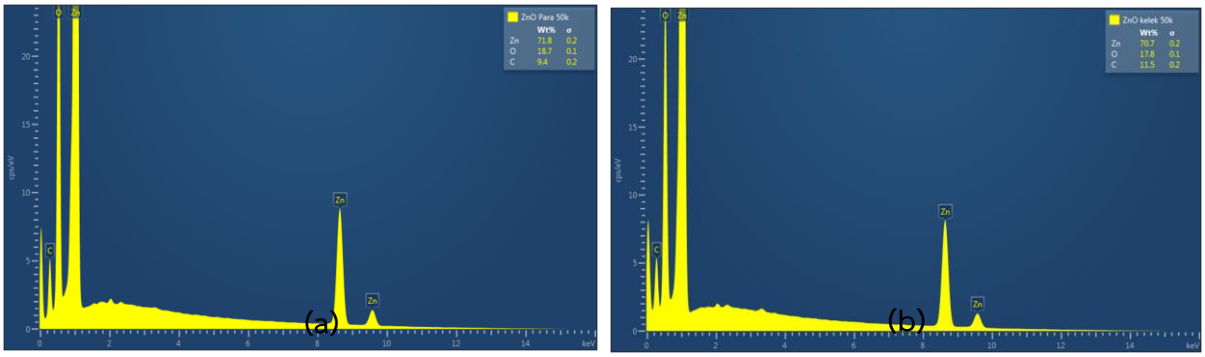
C0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม C คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่เวลาใดๆ

2.4 การสลายสีย้อม Reactive Orange 16 (RO)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 แต่เปลี่ยนสีย้อมเป็น Reactive Orange 16 ความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลาร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร เช่นกัน

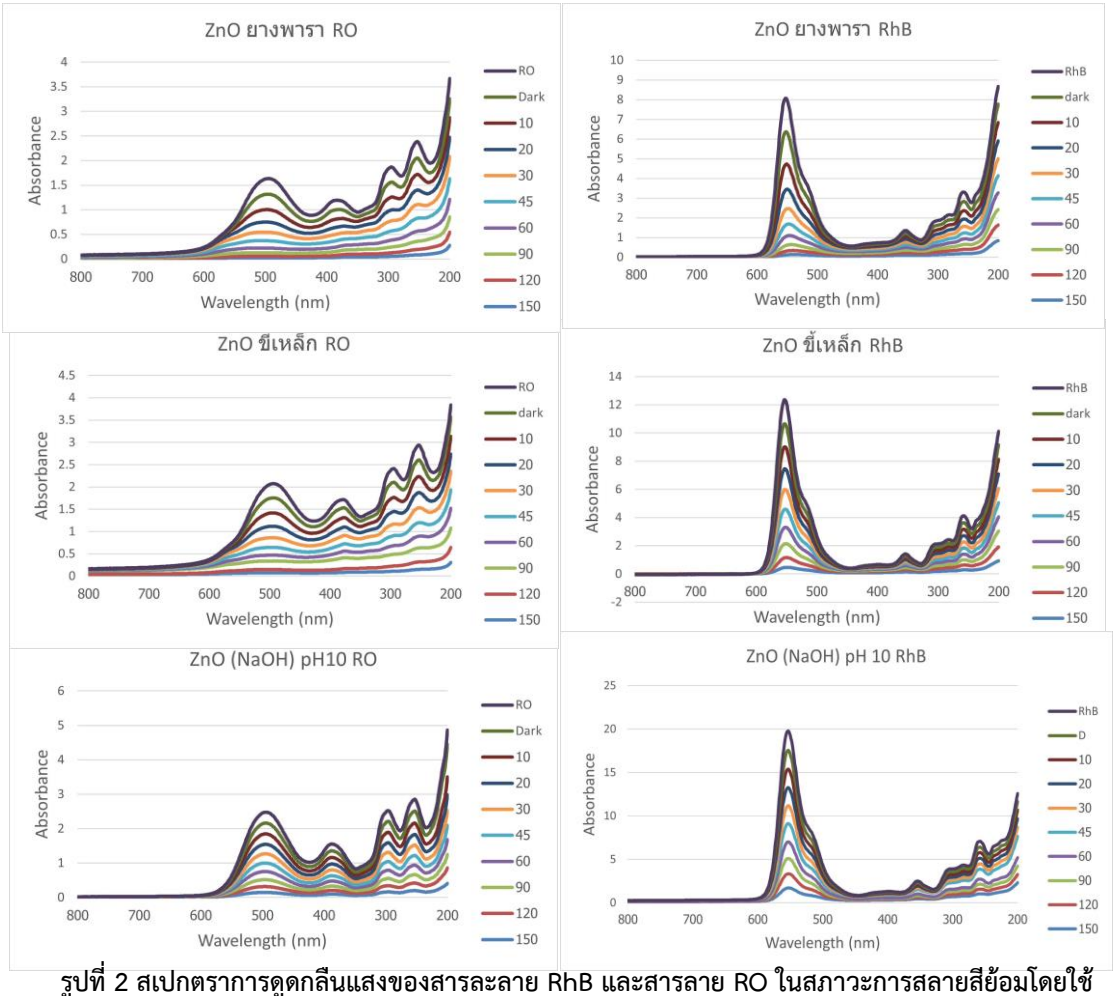
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาด้วยเทคนิค EDX เพื่อศึกษาองค์ประกอบของธาตุแสดงดังรูปที่ 1 พบองค์ประกอบของธาตุ Zn และ O ในสารที่สังเคราะห์ได้จากวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้เบสธรรมชาติคือ น้ำขี้เถ้ายางพารา และน้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก



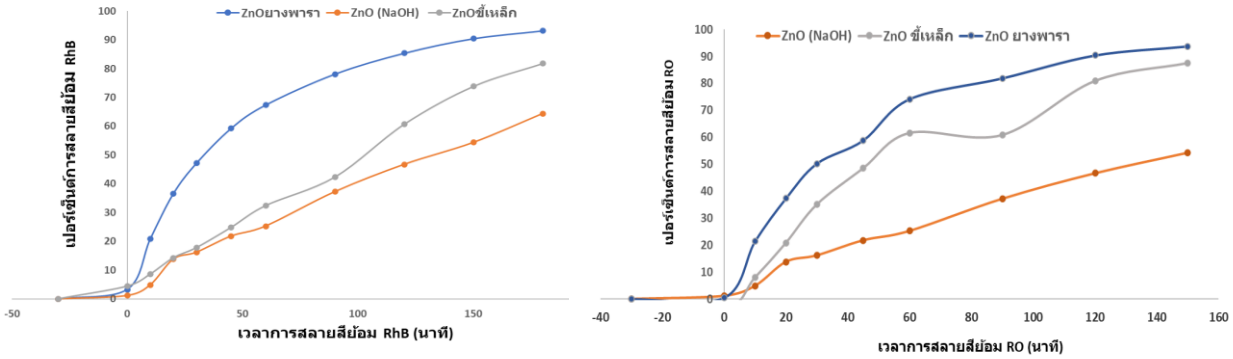
รูปที่ 1 สเปกตรา EDX ของ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา (a) และ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก (b)

จากสเปกตราการดูดกลืนแสงของสีย้อม Rhodamine B และ Reactive Orange 16 หลังจากการฉายแสง UV ในสภาวะเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา, ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และ ZnO (NaOH) ในระยะเวลาการฉายแสง 150 นาที สำหรับการใช้ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา และ ZnO (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ 150 นาที ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก ค่าการดูดกลืนแสงลดลงเมื่อเวลาการฉายแสงมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดกระบวนการสลายสีย้อม Rhodamine B และ Reactive Orange 16



รูปที่ 2 สเปกตราการดูดกลืนแสงของสารละลาย RhB และสารลาย RO ในสภาวะการสลายสีย้อมโดยใช้ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และ ZnO (NaOH)

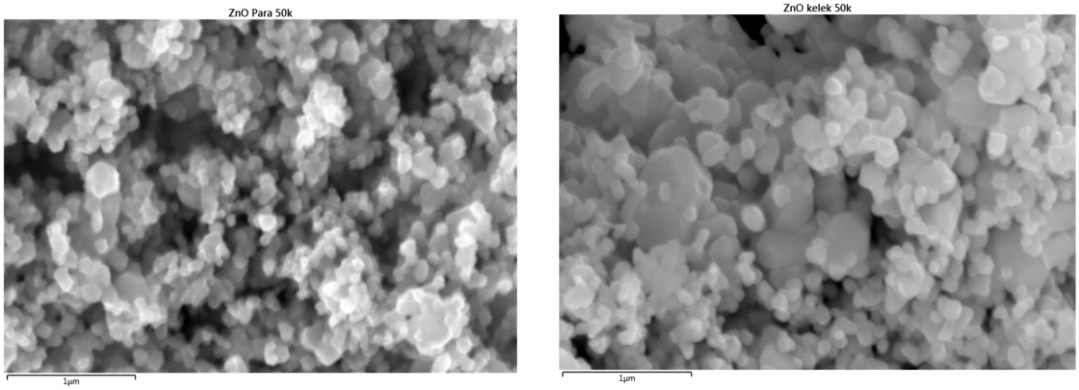
และจากค่าเปอร์เซ็นต์การสลายสีย้อม (%decolorization (% D.E.)) ดังแสดงในตารางที่ 1 ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา มีอัตราการสลาย RhB สูงที่สุด ภายในเวลา 180 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์การสลายอยู่ที่ 93% เริ่มเห็นผลเร็วมากตั้งแต่ 20 นาทีแรกดังแสดงในรูปที่ 3 ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก ประสิทธิภาพการสลายสีย้อมปานกลาง ที่ 180 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์การสลายอยู่ที่ 80% ZnO (NaOH) สลาย Rhodamine B ได้น้อยที่สุด ที่เวลา 180 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์การสลายอยู่ที่ 65% ZnO น้ำขี้เถ้ายางพาราสลาย RO ได้ดีที่สุดที่เวลา 150 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์การสลาย 95% สังเกตได้ว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 60 นาทีแรกดังรูปที่ 3 ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก สลาย RO ได้ดีในระดับหนึ่งเช่นกัน โดยเฉพาะช่วง 0–60 นาที แต่หลังจากนั้นการเพิ่มช้าลงเล็กน้อย สิ้นสุดที่ประมาณ 90% ที่ 150 นาที ZnO (NaOH) สลาย RO ได้น้อยที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 55% เท่านั้น การศึกษาลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิค SEM จากรูปที่ 4 พบว่าทั้ง ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา และ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก มีลักษณะกลมคล้ายกันแต่โดยการเปรียบเทียบเบื้องต้นขนาด ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา มีขนาดเล็กกว่า ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็กมีลักษณะขนาดใหญ่ผสมบนกับขนาดเล็กมีการเกาะกลุ่มกันมากซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยในเรื่องขนาดวัสดุที่เล็กจะมีพื้นที่ผิวมากทำให้ประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมมากกว่าวัสดุที่ใหญ่กว่า [6], [7]



รูปที่ 3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสลายสีย้อม RhB และ RO โดย ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และ ZnO (NaOH)

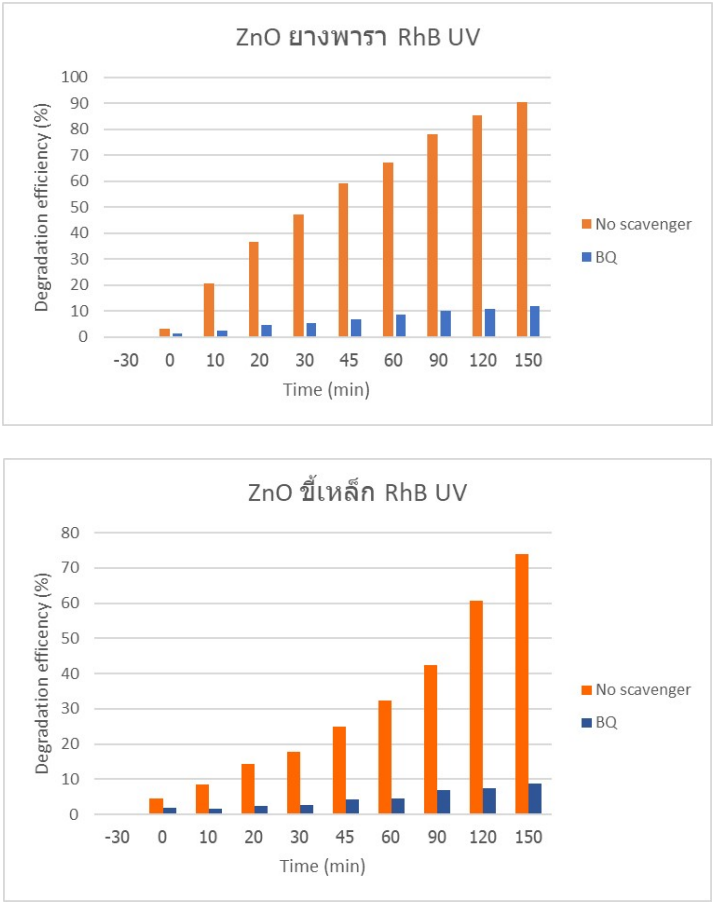
ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบระดับประสิทธิภาพการสลายสีย้อม RhB (Rhodamine B) และ RO (Reactive Orange) ของ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา, ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และ ZnO (NaOH)

ZnO	เปอร์เซ็นต์การสลาย RhB (180 นาที)	เปอร์เซ็นต์การสลาย RO (150 นาที)
ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา	93%	95%
ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก	85%	90%
ZnO (NaOH)	65%	55%



(a) (b)

รูปที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วม โดยใช้น้ำขี้เถ้ายางพาราและน้ำขี้เถ้าขี้เหล็กเป็นตัวตกตะกอน ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา (a) และ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก (b)



รูปที่ 5 การทดลองการจับของสีย้อม RhB และ RO โดยใช้ Hybrid ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา, ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และ ZnO (NaOH)

การทดลอง radical scavenger เพื่อตรวจสอบสปีชีส์ที่ออกฤทธิ์ในกระบวนการ โฟโตแคตาไลติกแสดงในรูปที่ 5 โดยใช้สาร scavenger คือ BQ เพื่อจับอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($.O_2^-$) ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของ ZnO จากน้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก เมื่อไม่ใช้สารดักจับพบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถสลาย RhB ได้สูงสุดถึง 85% ที่เวลา 180 นาที เมื่อใช้ BQ ประสิทธิภาพการย่อยสลายลดลงอย่างมากและคงที่ในระดับไม่เกิน 10% ตลอดการทดลอง จึงสรุปได้

ว่า สำหรับ ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก พบว่า superoxide radical มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการย่อยสลาย RhB เนื่องจากเมื่อเติมสารดักจับ BQ แล้ว ประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจน ในส่วน ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา เมื่อไม่ใช้สารดักจับมีประสิทธิภาพการย่อยสลาย RhB สูงถึง 93% ที่เวลา 180 นาที เมื่อเติม BQ ประสิทธิภาพลดลงเหลือเพียง 10-12% ที่เวลา 180 นาที จึงสรุปได้ว่า ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา มีประสิทธิภาพสูงกว่า ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็กอย่างชัดเจน Superoxide radical เป็นสารชนิดหลัก (active species) ที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการย่อยสลายทั้งสองกรณี การลดลงของประสิทธิภาพเมื่อเติม BQ ยืนยันบทบาทสำคัญของ superoxide radical ในกลไกการย่อยสลาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า superoxide radical มีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย RhB สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO ทั้งสองชนิด โดย ZnO น้ำขี้เถ้ายางพาราแสดงประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากกลไกลบนพื้นผิวของ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา มีระยะเวลาการเกิด superoxide radical ที่นานและมากที่สุด

สรุป

จากการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์จากวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีตกตะกอนร่วมจากเบสธรรมชาติ 2 ชนิด คือน้ำขี้เถ้ายางพาราและน้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก วัสดุที่สังเคราะห์หลังจากผ่านการเผาที่ 900 °C ถูกยืนยันด้วยเทคนิค EDX ว่ามีองค์ประกอบของ ZnO และประสิทธิภาพการสลายสีย้อม RhB และ RO ภายใต้แสง UV พบว่า ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา สามารถสลายสีย้อม RhB และ RO ภายใต้แสง UV ได้ดีกว่า ZnO น้ำขี้เถ้าขี้เหล็ก และZnO (NaOH) สีย้อม RhB และ RO มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันแต่ประสิทธิภาพการสลายสีย้อมของ ZnO น้ำขี้เถ้ายางพารา ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีศักยภาพสูงที่สุดในการสลายสีย้อมทั้งสองชนิด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงทุนอุดหนุนการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ สถานที่วิจัย ทุนวิจัย และสนับสนุนการนำเสนองานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Santhosh, C., Kumar, R., & Kumar, S. 2016. Role of nanomaterials in water treatment applications: A review. Chemical Engineering Journal, 306, 1116-1137.

[2] Varadavenkatesan, T., Lyubchik, E., Pai, S., Puga zhendhi, A., Vinayagam, R., & Selvaraj, R. 2020. Photocatalytic degradation of Rhodamine B using ZnO nanoparticles: A review. Journal of Environ mental Chemical Engineering, 8(2).

[3] Mahmood, N. B., Saeed, F. R., Gbashi, K. R., & Mahmood, U.-S. 2022. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles via oxalate co-precipitation method. Materials Letters: X, 13, 100126.

[4] Ren, X., Du, Y., Qu, X., Li, Y., Yin, L., Shen, K., Zhang, J., & Liu, Y. 2023. Controllable synthesis of ZnO nanoparticles with improved photocatalytic performance for the degradation of Rhodamine B under ultraviolet light irradiation. Molecules, 28(13), 5135..

[5] Kahsay, M. H., Tadesse, A., RamaDevi, D., Belachew, N., & Basavaiah, K. 2019. Green synthesis of zinc oxide nanostructures and investigation of their photocatalytic and bactericidal applications. RSC Advances, 9(62), 36967–36981.

[6] Phongarthit, K., Amornpitoksuk, P., & Suwanboon, S. 2019. Synthesis, characterization, and photocatalytic properties of ZnO nanoparticles prepared by a precipitation-calcination method using a natural alkaline solution. Materials Research Express, 6(4), 00.

[7] Intarasuwan K, Amornpitoksuk P and Suwanboon S. 2013 Effect of the mixing rate on the morphology and photocatalytic activity of ZnO powders prepared by a precipitation method Adv. Powder Technol, 24, 999–1005.

20P-14

การศึกษาการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร และแนวทางการดูแลรักษาระบบ

Study on the Improvement of Wastewater Treatment System for Canteen and Maintenance Guidelines

วรพชร ถาวรโชคชัย[1*] นันท์นภัสร อินยิ้ม[2] และ เสรีย์ ตู้ประกาย[3]

Woraphachara Thawornchokchai[1*] Nannapasorn Inyim[2] and Seree Tuprakay[3]

[1]นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

[3]รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

*โทรศัพท์ : 0983709355, โทรสาร : ……-……., E-mail : woraphachara.t@gmail.com

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงอาหารมักมีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะระบบชีวภาพที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ การสะสมของน้ำมันและไขมันสามารถก่อให้เกิดการอุดตันในระบบท่อและถังบำบัด และลดทอนประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปชนิดดักไขมัน–แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศแบบฝังใต้ดิน วางต่อจากถังดักไขมันที่มีอยู่เดิม พร้อมศึกษาวิธีการดูแลรักษาระบบให้ทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ การดำเนินการศึกษาใช้การทดลองภาคสนาม เก็บข้อมูลจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงอาหารในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่ง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังติดตั้งระบบบำบัดสำเร็จรูป ผลการทดลองพบว่า ระบบบำบัดที่ได้รับการปรับปรุงสามารถลดค่าของน้ำมันและไขมัน บีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ได้ร้อยละ 98.46, 97.65, 89.64 และ 87.71 ตามลำดับ ส่งผลให้น้ำทิ้งมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ระบบบำบัดดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการน้ำเสียจากโรงอาหารได้ นอกจากนี้ ยังเน้นแนวทางการดูแลรักษาระบบให้มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน ได้แก่ การตักไขมันที่ลอยผิวน้ำในถังดักไขมันทุกวัน การทำความสะอาดเศษอาหารก่อนปล่อยลงท่อ และการสูบตะกอนจากถังบำบัดตามแผนงานที่กำหนด

คำสำคัญ: น้ำเสียจากโรงอาหาร; การกำจัดน้ำมันและไขมัน; ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป; ระบบบำบัดทางชีวภาพ

Abstract

Wastewater from canteens typically contains high concentrations of oil and grease, which significantly affect the efficiency of wastewater treatment systems - particularly biological treatment systems that rely on microorganisms to decompose organic matter. The accumulation of oil and grease can cause blockages in pipes and treatment tanks, leading to reduced treatment efficiency. This study aimed to improve the wastewater treatment system for canteen effluent by installing a prefabricated underground treatment unit consisting of a grease trap, sludge separator, and aeration filter, placed after the existing grease trap. The study employed a field experiment using a case study of a canteen wastewater treatment system at a commercial establishment. Data were collected to compare the quality of effluent before and after the installation of the prefabricated treatment system. The results showed that the improved system effectively reduced oil and grease, BOD, COD, and TSS by 98.46%, 97.65%, 89.64%, and 87.71%, respectively. As a result, the treated effluent met the regulatory standards for wastewater discharge. The findings suggest that the

implemented system enhances the efficiency of cafeteria wastewater management. Furthermore, the study emphasizes sustainable maintenance practices to ensure continued system performance, including daily removal of surface grease in the grease trap, regular cleaning to prevent food waste from entering the drains, and scheduled sludge removal from the treatment tanks.

Keywords: canteen wastewater; oil and grease removal; prefabricated wastewater treatment system; biological wastewater treatment system

บทนำ

น้ำเสียจากโรงอาหารมักมีสารปนเปื้อนจำนวนมาก โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันที่มาจากการประกอบอาหาร [1] ซึ่งเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำมันและไขมันมักก่อให้เกิดการอุดตันในระบบท่อและถังบำบัด รวมถึงขัดขวางการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียที่อยู่ถัดไปซึ่งโดยทั่วไปเป็นระบบทางชีวภาพ ทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง [2] จนเป็นเหตุให้น้ำทิ้งที่ถูกปล่อยออกสู่แหล่งรับน้ำสาธารณะมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ทั้งนี้ น้ำมันและไขมันปริมาณมากในน้ำเสียจากโรงอาหารเป็นสิ่งที่พบเป็นประจำ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการบำบัดที่สามารถจัดการกับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

การศึกษานี้มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำทิ้งจากถังดักไขมันซึ่งพบว่ามีค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil, and Grease: FOG) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอย (TSS) ในระดับที่ยังสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ใช้กรณีศึกษาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียของโรงอาหารภายในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง ซึ่งเดิมมีเพียงถังดักไขมันแบบทั่วไปเป็นระบบหลัก น้ำทิ้งที่ผ่านถังดักไขมันถูกระบายออกผ่านรางระบายน้ำฝนลงสู่คลองสาธารณะโดยตรง ส่งผลให้น้ำทิ้งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วนหลัก คือ (1) การปรับปรุงระบบบำบัดเดิมด้วยการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปชนิดดักไขมัน-แยกกากตะกอน และระบบกรองเติมอากาศแบบฝังใต้ดิน วางไว้ต่อจากถังดักไขมันเดิมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด (2) การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดที่ปรับปรุงใหม่ โดยศึกษาค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง และ (3) การศึกษาแนวทางการดูแลรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ เป้าหมายโดยรวมของการศึกษานี้ คือ สถานประกอบการกรณีศึกษา รวมถึงสถานประกอบการอื่น ๆ ที่ต้องจัดการน้ำเสียจากโรงอาหาร สามารถนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว ส่งผลให้คุณภาพน้ำทิ้งเป็นไปตามมาตรฐาน และสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นำไปสู่ความยั่งยืนทั้งในส่วนของสถานประกอบการและด้านสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

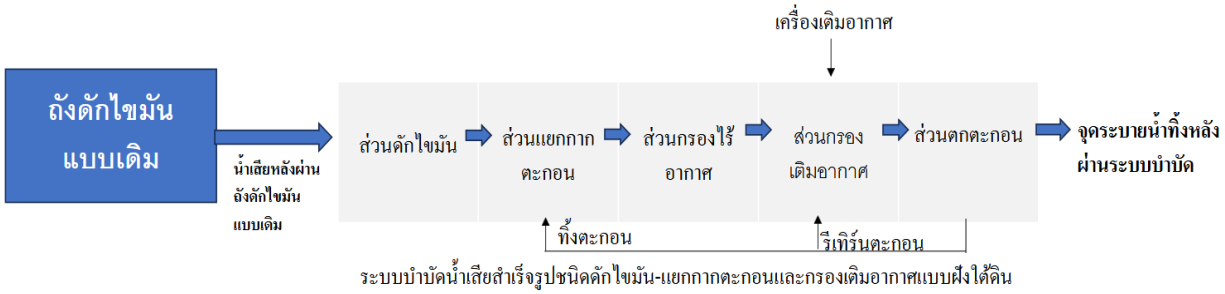
1. เพื่อศึกษาแนวทางปรับปรุงระบบบำบัดให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง
2. เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการบริหารจัดการ ควบคุม และดูแลระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง

ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้ใช้กรณีศึกษาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยกำหนดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำไว้ 2 จุด คือ (1) จุดที่น้ำไหลออกจากถังดักไขมัน และ (2) จุดที่น้ำไหลออกจากระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปชนิดดักไขมัน-แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและพิจารณาว่าแนวทางการปรับปรุงสามารถทำให้น้ำทิ้งเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่

อุปกรณ์และวิธีการ

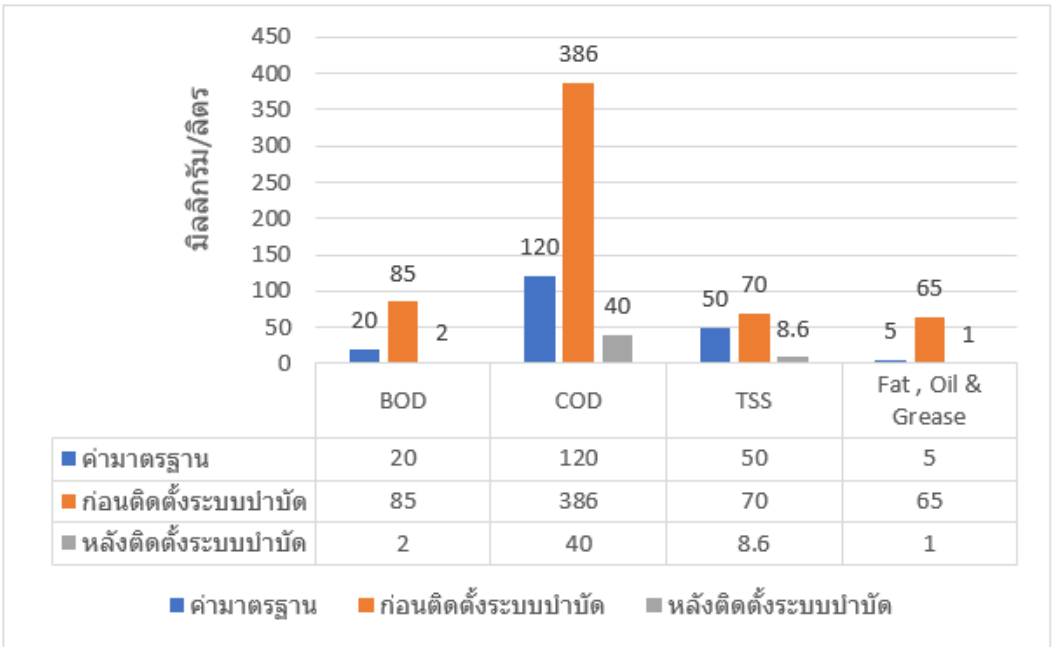
การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้น้ำเสียจากโรงอาหารในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่ง น้ำเสียจะถูกปล่อยผ่านระบบบำบัดซึ่งประกอบด้วยถังดักไขมันเดิม และระบบบำบัดที่ติดตั้งเพิ่มซึ่งเป็นถังสำเร็จรูป ประกอบด้วยส่วนดักไขมัน ส่วนแยกกากตะกอน ส่วนกรองไร้อากาศ ส่วนกรองเติมอากาศ และส่วนตกตะกอน ดังรูปที่ 1 ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ออกจากถังดักไขมันเดิม และคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบบำบัดที่ติดตั้งใหม่ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการตรวจวัดคุณภาพน้ำดำเนินการตามมาตรฐานที่หน่วยงานกำกับดูแลกำหนด ตรวจวัดพารามิเตอร์ ได้แก่ น้ำมันและไขมัน (fat, oil and grease: FOG) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอย (TSS) [4]



รูปที่ 1 ระบบบำบัดที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งถังสำเร็จรูปชนิดดักไขมัน-แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบบำบัดด้วยการติดตั้งถังบำบัดชนิดดักไขมัน-แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศ สามารถลดค่าบีโอดี ซีโอดี น้ำมันและไขมัน และของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 โดยมีผลการบำบัดน้ำเสียดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ออกจากถังดักไขมันเดิม (ก่อนติดตั้งระบบใหม่) และคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบที่ติดตั้งใหม่ (หลังการติดตั้งถังสำเร็จรูป)

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารประเภทต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างคุณภาพน้ำทิ้งก่อนการปรับปรุงระบบบำบัด และคุณภาพน้ำทิ้งหลังการปรับปรุงระบบบำบัดด้วยการติดตั้งถังสำเร็จรูปชนิดดักไขมัน–แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศวางไว้ต่อจากถังดักไขมันที่มีอยู่เดิม มีรายละเอียดดังนี้

ค่าความเข้มข้นของบีโอดี ลดลงจาก 85 มก./ล. เหลือ 2 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 97.65%

ค่าความเข้มข้นของซีโอดี ลดลงจาก 386 มก./ล. เหลือ 40 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 89.64%

ค่าความเข้มข้นของของแขวนลอย ลดลงจาก 70 มก./ล. เหลือ 8.6 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 87.71

ค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน ลดลงจาก 65 มก./ล. เหลือ 1 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 98.46

สำหรับผลการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการดูแลรักษาระบบ พบว่าผู้ดูแลระบบจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการดูแลในส่วนของถังดักไขมันและส่วนที่มีตะกอนตกค้าง เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ซึ่งสามารถสรุปสิ่งที่ต้องปฏิบัติอย่างเคร่งครัดในการดำเนินการ ได้ดังนี้

1. การตักน้ำมันและไขมันที่ผิวน้ำในส่วนดักไขมันทุกวัน
2. การทำความสะอาดและป้องกันไม่ให้เศษอาหารไหลลงรางระบายน้ำเป็นประจำ
3. การสูบตะกอนก้นถังออกจากถังดักไขมันทุกเดือน
4. การสูบตะกอนก้นถังออกจากส่วนแยกกากตะกอนและส่วนกรองไร้อากาศทุก 6 เดือน

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยการติดตั้งถังบำบัดชนิดดักไขมัน–แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศแบบฝังใต้ดิน สามารถยกระดับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการลดค่าบีโอดี ซีโอดี น้ำมันและไขมัน รวมถึงของแข็งแขวนลอย ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของระบบใหม่ในการรองรับและจัดการน้ำเสียจากกิจกรรมการปรุงอาหารที่มีภาระสารมลพิษสูงได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการลดค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันที่มีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 98.46 ถือเป็นข้อดีที่สำคัญ เนื่องจากน้ำมันและไขมันเป็นตัวการหลักที่ขัดขวางการทำงานของระบบบำบัดแบบชีวภาพ การลดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ตั้งแต่ต้นทางจึงช่วยลดภาระต่อระบบบำบัดหลักในระยะยาว อีกทั้งยังช่วยป้องกันการอุดตันของระบบท่อส่งน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารทั่วไป

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบบำบัดที่ได้รับการติดตั้งใหม่จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ผลการศึกษาได้เน้นย้ำว่าการที่ระบบบำบัดจะมีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ตลอดนั้น ต้องเคร่งครัดในการดำเนินการดูแลรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยเฉพาะในส่วนของถังดักไขมันและส่วนแยกกากตะกอน หากละเลย อาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงและส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบบำบัดในระยะยาวได้ ดังนั้น การดำเนินการตามแนวทางที่กำหนดไว้ เช่น การตักไขมันทุกวัน การป้องกันไม่ให้เศษอาหารตกลงท่อ และการสูบตะกอนตามรอบเวลาที่กำหนด จึงถือเป็นหัวใจสำคัญในการรักษาสมรรถภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

สรุปผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการปรับปรุง โดยการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปชนิดดักไขมัน–แยกกากตะกอนและกรองเติมอากาศแบบฝังใต้ดิน ต่อจากถังดักไขมันที่มีอยู่เดิม พบว่าสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าการกำจัดน้ำมันและไขมัน บีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย อยู่ที่ร้อยละ 98.46, 97.65, 89.64 และ 87.71 ตามลำดับ ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด [5] นอกจากนี้ ยังพบว่าการดูแลรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอ เช่น การตักไขมันลอยผิวน้ำในถังดักไขมัน การทำความสะอาดเศษอาหารก่อนปล่อยลงท่อ และการสูบตะกอนตามแผนงานที่เหมาะสม มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการปรับปรุงนี้ จึงสามารถเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการน้ำเสียจากโรงอาหาร ทั้งในด้านประสิทธิภาพและความยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2551). คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับร้านอาหาร.

[2] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). แนวทางการจัดการน้ำเสียจากร้านอาหารและสถานประกอบการ. สืบค้นจาก www.pcd.go.th

[3] Metcalf & Eddy. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill.

[4] APHA. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20" ed. Bultimore: United Book Press.

[5] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2560). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนพิเศษ 153 ง (8 มิถุนายน 2560), หน้า 11–15.

20R2-09

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแห้วจีนปอกเปลือก
Carbon Footprint of Peeled Chinese Water Chestnut

จิระวัฒน์ จิระจิตต์มีชัย[1] จีมา ศรลัมพ์[2*] และ วรพจน์ กนกกันฑพงษ์[3]
Jirawat Jirajitmeechai[1] Cheema Soralump[2*] and Vorapot Kanokkantapong[3]
[1]นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
[2*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330
[*]โทรศัพท์ : 0 2797 0999, โทรสาร : 0 2579 2775, E-mail : Cheema.c@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor) หรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) ของแห้วจีนที่ปลูกในจังหวัดสุพรรณบุรี ขอบเขตการศึกษาครอบคลุมการเพาะปลูกและการแปรรูปเป็นแห้วจีนปอกเปลือก โดยใช้ข้อมูลการเพาะปลูกจากกรมส่งเสริมการเกษตร และอ้างอิงวิธีการประเมินตามมาตรฐาน ISO/TS 14067:2018 (Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification) การศึกษานี้ได้กำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในรูปแบบ Cradle to gate และกำหนดหน่วยการทำงาน คือ 1 กิโลกรัมของแห้วจีนไม่ปอกเปลือก และ 1 กิโลกรัมของแห้วจีนปอกเปลือก ผลการวิจัยพบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากการขังน้ำในนาแห้วและการทิ้งเศษเปลือกแห้วโดยไม่มีการจัดการ ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกสูงสุดตามลำดับ ดังนั้นจึงควรเน้นหามาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเพาะปลูกแห้วโดยลดระยะเวลาการขังน้ำในนาปลูกแห้วและการใช้ประโยชน์เศษเปลือกแห้ว

คำสำคัญ : แห้วจีน; แห้วปอกเปลือก; คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์; ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

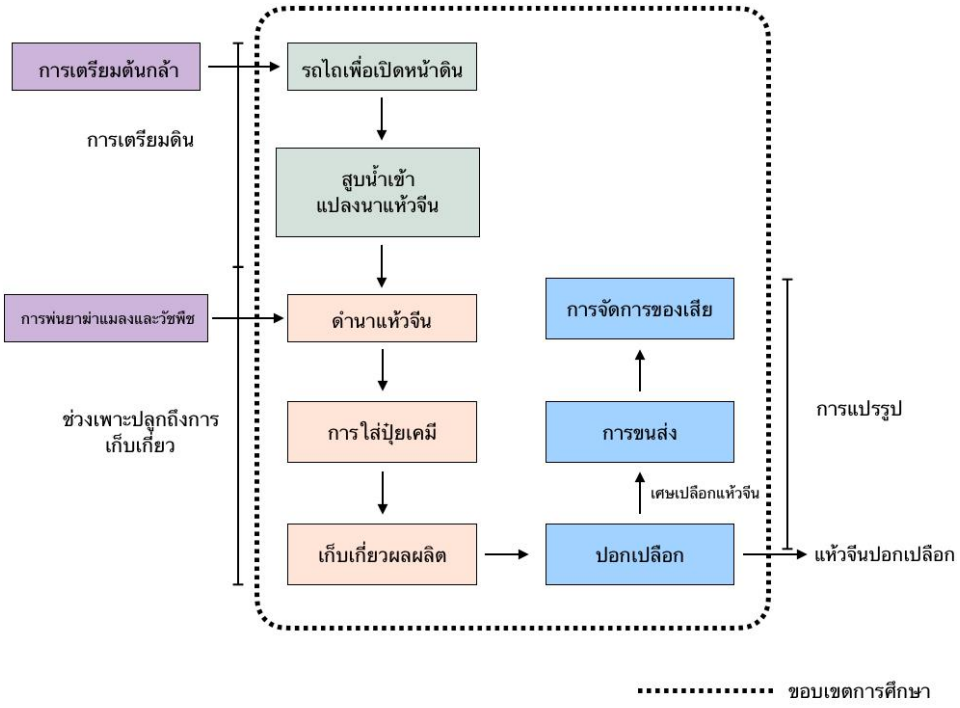
Abstract

This research aims to assess the greenhouse gas (GHG) emission factor of Chinese water chestnuts cultivated in Suphanburi Province. The study covers the cultivation and processing of peeled water chestnuts, using cultivation data from the Department of Agricultural Promotion and following the assessment method according to ISO/TS 14067:2018 (Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification). The scope of this study is “Cradle to gate” with two functional units being 1 kilogram of unpeeled water chestnut and 1 kilogram of peeled water chestnut. The results indicate that methane emissions from waterlogged fields and improper waste management of water chestnut peel contribute the highest greenhouse gas emissions, respectively. Therefore, measures to reduce greenhouse gas emissions should focus on minimizing the waterlogging period and utilizing water chestnut peels.

Keywords : Chinese water chestnut; peeled water chestnut; carbon footprint of product; GHG emission factor

บทนำ

แห้วมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบทั้งอาหารคาวและหวาน รวมถึงอาหารสัตว์ พันธุ์ที่ปลูกแพร่หลาย คือ แห้วจีน (ชื่อวิทยาศาสตร์ Eleocharis dulcis (Burmann.f.) trin.) ซึ่งจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นพื้นที่เพาะปลูกแห้วจีนขนาดใหญ่และมีชื่อเสียงที่สุด จนได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ และได้ชื่อเรียก “แห้วสุพรรณ” การปลูกแห้วจีนใช้เวลา 8 – 9 เดือน เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนหรือดินเหนียวในพื้นที่แฉะที่มีน้ำเพียงพอ การปลูกแห้วคล้ายกับการปลูกต้นข้าว ซึ่งเกษตรกรอาจปลูกสลับกับข้าวหรือปลูกในช่วงทำนาข้าวในพื้นที่ที่มีน้ำเพียงพอตลอดทั้งปี โดยในระยะ 6 เดือนแรกต้องขังน้ำในแปลงปลูกแห้วตลอดเวลาและบำรุงด้วยปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพอย่างน้อย 2 ครั้ง [1] จากการสืบค้นฐานข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) และงานวิจัยอื่น ยังไม่พบการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor) ของแห้วจีน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission Factor) ของแห้วจีนและแห้วจีนปอกเปลือก โดยใช้ข้อมูลการปลูกแห้วจีนของจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งศึกษาโดยกรมส่งเสริมการเกษตร ได้แก่ ข้อมูลผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ การใช้ปุ๋ย การใช้เครื่องจักร และค่าใช้จ่ายรายการวัตถุดิบที่ใช้ในการเพาะปลูก สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขังน้ำในนาปลูกจะอ้างอิงจากข้อมูลของนาข้าว และเพื่อประโยชน์สำหรับกระบวนการที่ใช้แห้วจีนปอกเปลือกเป็นวัตถุดิบ การศึกษานี้จึงประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการแปรรูปแห้ว ประกอบด้วยการปอกเปลือกแห้วด้วยแรงงาน การจัดการเศษเปลือกแห้ว และการขนส่งเศษเปลือกแห้วด้วย

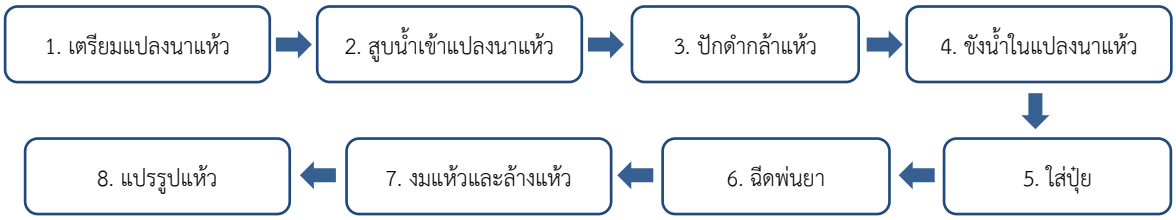


รูปที่ 1 แสดงขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแห้วจีนปอกเปลือก

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลวิธีการปลูกแห้วจีนในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีของกรมส่งเสริมการเกษตร โดยขอบเขตการวิจัยเป็นแบบ Cradle to gate หรือ Business to Business (B2B) ครอบคลุมการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกแห้วจีน การสูบน้ำเข้าแปลง การใส่ปุ๋ย การปล่อยก๊าซมีเทนจากการขังน้ำในช่วงการปลูกแห้วจีน จนถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แห้วจีนปอกเปลือก และจัดการเศษเปลือกแห้วจีน โดยไม่รวมขั้นตอนการเตรียมต้นกล้าและการใช้ยากำจัดศัตรูพืชและยาฆ่าแมลง ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแห้วจีนไม่ปอกเปลือก ได้กำหนดหน่วยการทำงาน คือ 1 กิโลกรัมของแห้วจีน และสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแห้วจีนปอกเปลือก ได้กำหนดหน่วยการทำงาน คือ 1 กิโลกรัมของแห้วจีนปอกเปลือก โดยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of product) ดำเนินการตามมาตรฐาน ISO/TS 14067: 2018 Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for

quantification (Standardization, 2018) หรือ มตช.14067 – 2562 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก อบก. (ฐานข้อมูลปี 2565) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานวิจัยในประเทศไทย



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการเพาะปลูกแห้วจนถึงการแปรรูปแห้ว

1. **ขั้นตอนการเพาะปลูกแห้วจนถึงการแปรรูปแห้ว** แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้
   - 1.1 เตรียมแปลงนาแห้ว โดยใช้รถไถแปร เปิดหน้าดิน และใช้รถไถ 2 ล้อแบบเดินตาม ตีขลุบทำเทือกนา แล้วตากแดด 2 สัปดาห์ เพื่อให้ดินแห้ง
   - 1.2 สูบน้ำเข้าแปลงนาแห้วให้ท่วม ทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์ เพื่อให้ดินอ่อนตัวและกำจัดวัชพืช
   - 1.3 ปักดำกล้าแห้วโดยใช้คน
   - 1.4 ขังน้ำในแปลงนาแห้ว โดยจะต้องมีน้ำขังตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มปักดำจนแห้วจีนมีอายุ 6 เดือน
   - 1.5 ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพอย่างน้อย 2 ครั้ง
   - 1.6 ฉีดพ่นยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลง และยาฆ่าเชื้อรา
   - 1.7 งมแห้วและล้างแห้วโดยใช้คน
   - 1.8 แปรรูปแห้ว โดยการปอกเปลือกแห้วและการจัดการเศษเปลือกแห้ว
2. **การจัดทำบัญชีรายการข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ**
   - 2.1 *ทรัพยากรที่ใช้ในการปลูกแห้วจีน*

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลต้นทุนการปลูกแห้วจีนของกรมส่งเสริมการเกษตร ในการปลูกแห้วของปี 2566 โดยค่าเฉลี่ยผลผลิตแห้วจีนของจังหวัดสุพรรณบุรีมีเท่ากับ 2,900 ตันต่อไร่ ต้นทุนของเกษตรกรปลูกแห้วจีน ประกอบด้วย

2.1.1 ค่าไถ 613 บาทต่อไร่ ประเมินเป็นการใช้รถไถขนาด 35 แรงม้า ไถตอซังและเปิดหน้าดินเพื่อเตรียมดินปลูก และใช้เครื่องไถนา 2 ล้อ แบบเดินตามขนาด 11 แรงม้า ซึ่ง ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ และคณะ, 2550 ได้ศึกษาการใช้รถไถกำลังเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า 2 ล้อ ขนาด 11 แรงม้า พบว่า อัตราเฉลี่ยขลุบดินมีค่าเท่ากับ 3.11 ไร่ต่อชั่วโมง หรือ 0.3215 ชั่วโมงต่อไร่ [2]

2.1.2 ค่าวิดน้ำเข้าแปลงเพาะปลูกแห้วจีน 110 บาทต่อไร่ ซึ่งประเมินจากค่าเชื้อเพลิงเครื่องสูบน้ำเครื่องยนต์เบนซินสำหรับวิดน้ำเข้าแปลง ราคาน้ำมันเบนซินธรรมดา 95 ขาย ณ จังหวัดสุพรรณบุรี ราคา 44.15 บาทต่อลิตร (อ้างอิงราคาประกาศของ ป.ต.ท. เฉลี่ยในช่วงเดือนมีนาคม 2566 ถึงเดือนเมษายน 2566) คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน 2.5 ลิตรต่อไร่ (ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเบนซิน 95 ที่ 15 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.7532 [3])

2.1.3 ค่าปุ๋ย 6,625 บาทต่อไร่ เป็นการใส่ปุ๋ยเคมี ประกอบด้วย

ปุ๋ยสูตร 16-8-8	อัตรา	25	กิโลกรัมต่อไร่
ปุ๋ยสูตร 13-13-21	อัตรา	250	กิโลกรัมต่อไร่
ปุ๋ยสูตร 0-0-60	อัตรา	200	กิโลกรัมต่อไร่

2.1.4 การจัดการเศษเปลือกแห้วจีนจากการแปรรูปเป็นแห้วปอก โดยทิ้งร่วมกับขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งเป็นการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนเป็นแบบเทกอง [4] ภายในอำเภอศรีประจันทร์ จังหวัดสุพรรณบุรี ใช้รถบรรทุกขยะ 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน โดยประมาณระยะทางเฉลี่ยการขนส่งขยะภายในพื้นที่อำเภอศรีประจันทร์ เท่ากับ 15 กิโลเมตร

2.1.5 ค่าสารเคมี ยาเชื้อรา แมลง ฮอร์โมน และค่าคุมหญ้าคันนาในแปลง 5,727 บาท

รายละเอียดบัญชีรายการข้อมูลปฐมภูมิวัตถุดิบและเครื่องจักรที่ใช้ในการปลูกแห้ว แสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่รวมการใช้สารเคมี ได้แก่ ยาเชื้อรา ยาฆ่าแมลง ฮอร์โมน และยากำจัดศัตรูพืช

ตารางที่ 1 แสดงรายการข้อมูลปฐมภูมิของการปลูกแห้วต่อไร่

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
1) เครื่องจักร		
รถไถตอซังขนาด 35 แรงม้า	ไร่	1
รถแทรกเตอร์ 2 ล้อ (รถไถเดินตาม) ขนาดน้อยกว่า 18 แรงม้า	ไร่	1
2) รายการวัตถุดิบ		
น้ำมันเบนซิน 95	ลิตร	2.5
ปุ๋ยสูตร 16-8-8	กิโลกรัม	25
ปุ๋ยสูตร 13-13-21	กิโลกรัม	250
ปุ๋ยสูตร 0-0-60	กิโลกรัม	200
3) รถขนส่ง		
รถบรรทุกขยะ 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน	กิโลเมตร	15

2.2 *ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก*

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากฐานข้อมูลของ อบก. และบทความวิจัยภายในประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงรายการข้อมูลทุติยภูมิ-ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รายการ	**หน่วย**	**EF ($kgCO_2eq$/หน่วย)**
1) เครื่องจักร		
รถไถตอซังขนาด 35 แรงม้า	ตารางเมตร	0.0027
รถแทรกเตอร์ 2 ล้อ (รถไถเดินตาม) ขนาดน้อยกว่า 18 แรงม้า	ชั่วโมง	7.5630
2) รายการวัตถุดิบ		
น้ำมันเบนซิน 91	กิโลกรัม	1.3268
ยูเรีย as N	กิโลกรัม	3.3036
ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) as P_2O_5	กิโลกรัม	1.5716
โพแทสเซียมคลอไรด์ as K_2O	กิโลกรัม	0.4974
3) การเผาไหม้น้ำมันเบนซิน		
น้ำมันเบนซิน	ลิตร	2.3171
4) การจัดการขยะ		
รถบรรทุกขยะ 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน วิ่งปกติ 100 %	ตัน-กิโลเมตร	0.0475
การจัดการขยะแบบเทกอง	กิโลกรัม	1.0388
5) การปลูกแบบน้ำขัง	**หน่วย**	**EF ($mgCH_4$/หน่วย)**
ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกในเวลาน้ำขัง [5]	ตารางเมตร•ชั่วโมง	25.85

หมายเหตุ : EF หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกแห้วจีน

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละปัจจัยการผลิต เป็นดังนี้

(1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการไถแปรโดยใช้รถไถตอซัง 1 ครั้ง ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.0027 $kgCO_2eq/m^2$ (ครอบคลุมการผลิตรถแทรกเตอร์ การผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วง และการนำไปใช้ในการเกษตร; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03) คิดเป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4.320 $kgCO_2eq$/ไร่

(2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการตีขลุบทำเทือกนาโดยใช้เครื่องไถนา 2 ล้อ แบบเดินตาม โดยการตีขลุบทำเทือกนา 1 ไร่ ใช้เวลา 0.3215 ชั่วโมง ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7.563 $kgCO_2eq$/ชั่วโมง คิดเป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2.4315 $kgCO_2eq$/ไร่

(3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าแปลงเพาะปลูกแห้วจีน ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งน้ำมันเบนซินมีค่าเท่ากับ 1.3268 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้น้ำมันเบนซินเครื่องยนต์ 2 จังหวะมีค่าเท่ากับ 2.3171 $kgCO_2eq$/ลิตร อ้างอิงจากฐานข้อมูล อบก. คิดเป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงเครื่องสูบน้ำ 8.2911 $kgCO_2eq$/ไร่

(4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ย คำนวณตามแนวทางของ อบก. จากสัดส่วนองค์ประกอบ N-P-K ของปุ๋ยเคมี ในรูปของยูเรีย ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ ได้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปุ๋ยแต่ละสูตร ดังนี้

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งปุ๋ยสูตร 16-8-8 = (0.16×3.3036) + (0.08×1.5716) + (0.08×0.4974)
= 0.5286 + 0.1257 + 0.0398 = 0.6941 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม

ทั้งนี้ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนทางการเกษตรก่อให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่ง อบก. ได้แนะนำสัดส่วนธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยที่จะกลายเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์อยู่ที่ร้อยละ 1 โดยมวลไนโตรเจนของปุ๋ย และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในช่วงระยะเวลา 100 ปี ของก๊าซไนตรัสออกไซด์เทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีสัดส่วนเท่ากับ 298 : 1 (AR4)

ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากปุ๋ยสูตร 16-8-8 = (0.16×1/100) × (44/28) kgN_2O/กิโลกรัม
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใส่ปุ๋ยสูตร 16-8-8 = 0.0025 × 298 = 0.7493 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม
รวมค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใส่ปุ๋ยสูตร 16-8-8 = 0.6941 + 0.7493 = 1.4434 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม

ประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปุ๋ย ตามอัตราการใส่ปุ๋ยต่อไร่ ดังนี้

ปุ๋ยสูตร 16-8-8	มีค่า 1.4434 $kgCO_2eq$/kg × 25 กิโลกรัม/ไร่	= 36.085 $kgCO_2eq$/ไร่
ปุ๋ยสูตร 13-13-21	มีค่า 1.3470 $kgCO_2eq$/kg × 250 กิโลกรัม/ไร่	= 336.75 $kgCO_2eq$/ไร่
ปุ๋ยสูตร 0-0-60	มีค่า 0.2984 $kgCO_2eq$/kg × 200 กิโลกรัม/ไร่	= 59.68 $kgCO_2eq$/ไร่

รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใส่ปุ๋ย มีค่าเท่ากับ 432.515 $kgCO_2eq$/ไร่

(5) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขังน้ำในนาปลูกแห้วจีน ซึ่งการปลูกแห้วมีลักษณะการขังน้ำเช่นเดียวกับการปลูกข้าว ดังนั้นจึงประเมินโดยใช้ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากการขังน้ำในนาข้าว โดยใช้ผลการศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวในพื้นที่ของจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า การปลูกข้าวมีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 19.5 – 32.2 mg m^{-2} h^{-1} [5] ใช้ค่าเฉลี่ย 25.85 mg CH_4 m^{-2} h^{-1} แปลงนาแห้วมีระยะเวลาขังน้ำในช่วงการเตรียมดินประมาณ 2 สัปดาห์ และในช่วงเริ่มปักดำ จนต้นแห้วมีอายุ 6 เดือน รวมเวลานาแห้วมีน้ำขัง 6.5 เดือน หรือ 195 วัน ประเมินการปล่อยก๊าซมีเทน 193.565 $kgCH_4$/ไร่ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการปล่อยก๊าซมีเทน ฐานข้อมูล IPCC GWP100 (AR5) เท่ากับ 28 $kgCO_2eq/kgCH_4$ คิดเป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 5,419.814 $kgCO_2eq$/ไร่

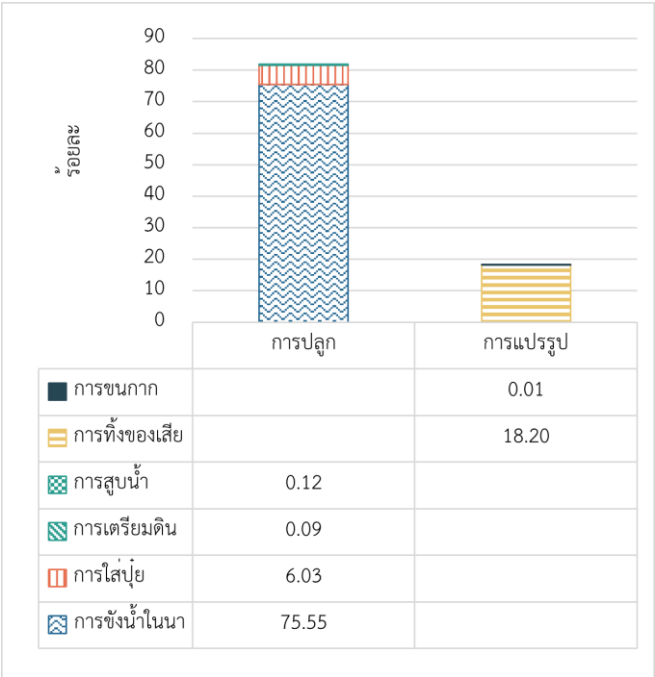
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกครอบคลุมตั้งแต่การใส่ปุ๋ย การใช้เครื่องจักร การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการสูบน้ำ และการขังน้ำในนาแห้วจีน รวม 5,867.372 $kgCO_2eq$/ไร่ ประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงเพาะปลูกต่อผลผลิตแห้วจีน 1 กิโลกรัม เท่ากับ 2.023 $kgCO_2eq$

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการแปรรูปแห้วจีนและการจัดการของเสีย

พิจารณาน้ำหนักเนื้อแห้วจีนที่เหลือจากการปอก พบว่า แห้วจีน 1 ถัง มีน้ำหนักเท่ากับ 15 กิโลกรัม ปอกเปลือกแล้วจะเหลือประมาณ 8 -9 กิโลกรัม [6] คิดเป็นอัตราส่วนเนื้อแห้วจีนปอกเปลือกเฉลี่ยต่อน้ำหนักแห้วจีน ร้อยละ 56.67 เนื่องจากการปอกเปลือกแห้วจีนโดยส่วนใหญ่ยังใช้แรงงานที่คนมีทักษะ ดังนั้นในการศึกษานี้ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการปอกเปลือกแห้วจีนคิดเป็นศูนย์เนื่องจากใช้คนปอก ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกแห้วจีนเมื่อคิดเทียบกับเนื้อแห้วจีนเมื่อปอกเปลือกแล้ว มีค่าเท่ากับ 3.5702 $kgCO_2eq$ ต่อกิโลกรัมเนื้อแห้วจีน

กรณีเศษเปลือกแห้วจีนถูกนำไปใช้ประโยชน์ จะไม่ถูกคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการเศษเหลือ แต่กรณีทิ้งเศษเปลือกแห้วจีนไปกับขยะเทศบาลจะถูกพิจารณาเป็นการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนแบบเทกอง มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1.0388 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม (ครอบคลุมกิจกรรมการดำเนินงาน ณ ลานเทกอง ได้แก่ การบด อัด หรือดันขยะในพื้นที่ลานเทกอง และการลดกลิ่นขยะที่เกิดขึ้น) คิดเป็น 0.7943 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม และการขนส่งเศษแห้ว ด้วยรถบรรทุกขยะ 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน คิดระยะทาง 15 กิโลเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งเศษแห้วจีน 0.0005448 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม รวมเป็น 0.7948134 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม เมื่อพิจารณารวมกับขั้นตอนการปลูกแห้วจีน ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแห้วจีนปอกเปลือก เท่ากับ 4.3650 $kgCO_2eq$ ต่อกิโลกรัมเนื้อแห้วจีน

สรุปผล



รูปที่ 3 แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรม

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแห้วจีนในช่วงการปลูก ครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมดิน การไถพรวน การใส่ปุ๋ย และการสูบน้ำ รวม 5,867.372 $kgCO_2eq$/ไร่ ซึ่งการขังน้ำในนาทำให้เกิดก๊าซมีเทน 5,419.814 kg CO_2eq/ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 92.37 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการเพาะปลูกทั้งหมด ไม่รวมการเตรียมต้นกล้าและการใช้ยากำจัดศัตรูพืช ซึ่งค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแห้วจีนในช่วงการเพาะปลูก มีค่าเท่ากับ 2.023 $kgCO_2eq$/กิโลกรัมแห้วจีนไม่ปอกเปลือก สำหรับผลิตภัณฑ์แห้วจีนปอกเปลือก พบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเนื้อแห้วจีนปอกเปลือกเท่ากับ 4.36501 $kgCO_2eq$ /กิโลกรัมเนื้อแห้วปอกเปลือก หากเปรียบเทียบกับการปลูกข้าว ที่ต้องการน้ำขังในช่วงการเพาะปลูก พบว่า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของข้าวเปลือก มีค่าเท่ากับ 2.19 $kgCO_2eq$ /กิโลกรัม [8] และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิที่สีแล้ว ครอบคลุมการปลูกข้าวตั้งแต่การเตรียมเมล็ดการเพาะปลูก การสีข้าว มีค่าเท่ากับ 3.071 - 4.0154 $kgCO_2eq$/กิโลกรัมข้าวสาร [8] ซึ่ง อบก. มีการเผยแพร่ข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิ 3.72 $kgCO_2eq$/กิโลกรัมข้าวสาร [7] ดังนั้น หากต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรพิจารณาปรับปรุงช่วงการปลูกแบบน้ำขังโดยลดระยะเวลาการขังน้ำ และควรศึกษาวิธีการปลูกแห้วจีนแบบน้ำแห้งแทนน้ำขัง เพื่อลดการเกิดก๊าซมีเทนจากการย่อยสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ และควรใช้ประโยชน์เศษเปลือกแห้ว เช่น การนำไปทำปุ๋ยหมัก หรืออาหารสัตว์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณคณะอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์จีมา ศรลัมพ์ ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์วรพจน์ กนกกันฑพงษ์ สำหรับคำแนะนำตลอดการดำเนินงานวิจัย การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอดทนของ ดร.ศิรกาญจน์ เหลืองสกุล ผู้ให้กำลังใจ คำแนะนำ รวมถึงการเรียบเรียงคำ ท้ายสุดนี้ ผมขอขอบคุณครอบครัวสำหรับความเข้าใจ ความเสียสละ และความสนับสนุนด้านการเงินตลอดการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2566) *ไขความลับแห้ว ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเกษตร* กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[2] ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ และคณะ (2550). ออกแบบและพัฒนาขลุบหมุนติดพ่วงท้ายรถไถเดินตาม, วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 25 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2550, 104 – 111

[3] บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน). 2562. ข้อมูลน้ำมันเบนซินพื้นฐาน https://www.irpc.co.th/wp-content/uploads/2019/06/02-Gasoline-base.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2568

[4] กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2566 รายงานสถานการณ์ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ.2565 https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2023/04/pcdnew-2023-04-11_03-13-24_292638.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2568

[5] Yagi, K., Chairoj, P., Tsuruta, H., Cholitkul, W., & Minami, K. (1994). Methane emission from rice paddy fields in the central plain of Thailand. Soil science and plant nutrition, 40(1), 29-37.

[6] ภาณุมาศ ครุฑสิงห์ และ สวรรยา ธรรมอภิพล (2560). สภาพแวดล้อมและระบบการทำนาแห้วของเกษตรกรจังหวัดสุพรรณบุรี. Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and Arts), 10(2), 1828-1842.

[7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2566. ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไทย 1 กิโลกรัม https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWVhCd2NtOTJZV3c9&action=WkdWMFlXbHM&param=TVRReU1EST0 สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2568

[8] Arunrat, N., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., Chareonwong, U., & Wang, C. (2021). Comparison of GHG emissions and farmers' profit of large-scale and individual farming in rice production across four regions of Thailand. Journal of cleaner production, 278, 123945.