

รายงานผลงานวิจัย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

ปี 2549 – 2550



กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



ที่ปรึกษา

นางอรพินท์ วงศ์ชุมพิศ

อธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

นายจตุพร บุรุษพัฒน์

รองอธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

บรรณาธิการวิชาการ

ศ.ดร.จรัล วัฒนศิริ

รศ.ดร.วรารุณ เสือดี

รศ.ดร.พจน์ ชุมมงคล

นายประธาน อารีผล

ผศ.ดร.สุเทพ เรื่องวิเศษ

รศ.ป.ภาสกร ธีระจรรยา

ดร.ศตวรรษ แสนทน

ดร.สิทธิพร ขจรเนติบุตร

บรรณาธิการบริหาร

นายบุญชอบ สุทธมนัสวงษ์

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กองบรรณาธิการ

นางสาวสุกัญญา บุญเฉลิมกิจ

นายสมชัย วินิจนัตต์

นางผกา สุขเกษม

นายมีศักดิ์ มลิทวิสัย

นางนิตยา นักระนาด มัลล

นางสาวหทัยรัตน์ การิเวทย์

นายโสฬส ชันศรีศรี

นางสาวศิริณา ศรีทองทิพย์

นายรณพจน์ สุกสอาด

นางจินดารัตน์ เรืองโชติวิทย์

นางสาวอุไร เกษมศรี



บทนำ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานในสังกัดกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งอยู่ภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ก่อตั้งโดยความร่วมมือระหว่างรัฐบาลไทย และรัฐบาลญี่ปุ่น โดยมีบทบาท และหน้าที่ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการป้องกันและควบคุมมลพิษ และยังเป็นหน่วยงานที่ให้การฝึกอบรม เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อมแก่องค์กรที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมทั้งการให้บริการข้อมูลทางวิชาการด้านการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้มีการนำผลการศึกษาวิจัยไปใช้ในการสนับสนุนการกำหนดนโยบายการจัดการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยที่ดีของประชาชน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำโครงการวิจัยที่สำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศได้ครอบคลุมปัญหาสิ่งแวดล้อมในทุกด้าน ได้แก่ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านของเสียและชีวมวล น้ำ เสียงและความสั่นสะเทือน อากาศ และสารพิษ

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการรวบรวมผลงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สาขาต่างๆ ในช่วงปี 2549-2550 ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม หวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการใช้เป็นเอกสารอ้างอิงแก่นักวิชาการและนักวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนาเทคโนโลยี อันจะนำไปสู่การร่วมมือกันในการป้องกัน บรรเทา และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศต่อไป

**กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**



สารบัญ

บทนำ	1
งานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านอากาศ	
• การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	7
• สถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร	15
• Chemical Composition of Wet Deposition in Suburban Area of Bangkok, Thailand	23
งานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านเสียงและความสั่นสะเทือน	
• ผลกระทบด้านเสียงจากท่าอากาศยานในประเทศไทย	39
งานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านสารพิษ	
• การศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพและอนามัยของเกษตรกรสวนส้มพื้นที่ลุ่มน้ำฝางจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช	51
• การทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวา (<i>Neochetina</i> spp.) ในการกำจัดผักตบชวา (<i>Eichhornia crassipes</i>) ในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน	63
• การเคลื่อนย้ายมลพิษของสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ	75
งานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านน้ำ	
• การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก	85
• โครงการศึกษาการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูน	95
• โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบถ่วงกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางจากวัสดุเหลือใช้ธรรมชาติ	105
งานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านของเสียและชีวมวล	
• การทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศวพ. ในแปลงเพาะปลูกจริง	119







งานวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีด้านอากาศ



- การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย
Chemical Composition from Volatile Organic Compounds Sources
- สถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร
Status of Ambient Volatile Organic Compounds in Bangkok Area
- Chemical Composition of Wet Deposition in Suburban Area of Bangkok, Thailand



การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

Chemical Composition from Volatile Organic Compounds Sources

วรรณา เลาวกุล ศิรพงษ์ สุขทวี หทัยรัตน์ การีเวทย์ ศุภนุช รสจันทร์ สุธีระ บุญญาพิทักษ์ และนิรันดร์ เปี่ยมไย
Wanna Laowagul, Sirapong Sooktawee, Hathairatana Garivait, Supanut Roschan, Sutera Boonyapitak and Nirun Piamyai

บทคัดย่อ

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ดำเนินการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดอยู่กับที่ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น โรงพิมพ์เอกสาร โรงงานผลิตสี และโรงงานทอผ้า ในการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากแหล่งกำเนิดโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยถังคานิสเตอร์ และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Preconcentrator-Gas Chromatograph/Mass spectrometer ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายแตกต่างกัน จากผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาแหล่งกำเนิดหลักของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายต่อไป

คำสำคัญ: สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย องค์ประกอบทางเคมี แหล่งกำเนิดอยู่กับที่

Abstract

Chemical composition from volatile organic compounds sources was carried out. The objective is to identify chemical composition from stationary sources i.e., refinery industry, lubricant industry, printing industry, painting industry and textile industry. In this study the air samples were collected by canister. The samples were analyzed by preconcentrator-gas chromatograph/mass spectrometer. This study indicated that each industry category has difference composition. The finding from this study can be used as a source profile data to consider the major sources of VOCs for the further study.

Keyword: Volatile Organic Compounds, Chemical Composition, Stationary Sources

1. บทนำ

สืบเนื่องจากการศึกษาสถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2544 ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม^[1] พบว่ามีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่า 20 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบบางตัว ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform) เบนซีน (Benzene) และไตรคลอโรเอทีน (Trichloroethene) กับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นแนวทางบนฐานความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดมะเร็งโดยองค์การอนามัยโลก^[2] พบว่าสารดังกล่าวเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลกหลายเท่า นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบบางตัวมีคุณสมบัติก่อให้เกิดมะเร็งได้หากได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน บางตัวมีคุณสมบัติก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และไต และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายบางตัว เป็นตัวการสำคัญหรือมีศักยภาพก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคลอออกซิแดนซ์ในบรรยากาศ ทำให้เกิดโอโซน (Ozone) เพอร็อกซิไนเตรต (Peroxyacyl nitrate) เป็นต้น สารที่เกิดขึ้นเหล่านี้ถ้ามีปริมาณมากในบรรยากาศจะทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทำให้เกิดอาการแสบคอ แสบตา และทำให้การทำงานของปอดผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อพืช ก่อให้เกิดการผิดปกติของยีน ทำให้ใบเปลี่ยนสี หรือเหี่ยวแห้ง เป็นต้น^[3] ปัจจุบันสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยเฉพาะในกลุ่มที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคลอออกซิแดนซ์ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency) และหลายๆ ประเทศกำลังให้ความสนใจศึกษาโดยพิจารณาเลือกสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นดัชนีชี้วัด (Indicator) ในการควบคุมปริมาณของโอโซนซึ่งเกิดจากขบวนการโฟโตเคมีคลอออกซิแดนซ์ในบรรยากาศ^[4] สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ

เรื่อง “Investigation and Analysis of Ozone Precursors for the Mitigation of Photochemical Air Pollution in Bangkok” พบว่าการที่จะลดการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคลอออกซิแดนซ์ ควรที่จะมีการจัดการและควบคุมปริมาณของสารอินทรีย์เป็นอันดับแรก^[5] เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดหลายประเภทที่มีการปลดปล่อยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสู่บรรยากาศ ในการที่รัฐบาลหรือหน่วยงานกำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อมจะดำเนินการควบคุมหรือจัดการเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งกำเนิดทุกประเภท เป็นสิ่งที่ยากมาก ต้องใช้ต้นทุนสูง อาจไม่คุ้มทุน เพื่อให้การจัดการหรือควบคุมปัญหาสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มทุน ควรที่จะต้องทราบว่าแหล่งกำเนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทใดบ้างที่เป็นแหล่งกำเนิดหลักที่จะต้องพิจารณาและดำเนินการควบคุมเป็นอันดับแรก อย่างไรก็ตาม การที่จะหาแหล่งกำเนิดหลักสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย จำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐาน เช่น ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ เป็นข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณา แต่เนื่องจากประเทศไทยยังมีข้อมูลดังกล่าวอยู่น้อยมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบในการศึกษาหาแหล่งกำเนิดหลักสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายต่อไป

2. วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างอากาศในโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น โรงงานผลิตสี โรงพิมพ์เอกสาร และโรงงานทอผ้า โดยใช้ถังคานิสเตอร์ขนาด 6 ลิตร ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในขบวนการผลิตในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างในโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น โรงงานผลิตสี และ



เก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในโรงงาน

โรงงานทอผ้า เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ส่วนโรงพิมพ์ เอกสาร เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทั้งนี้เพราะ ขบวนการผลิตของโรงพิมพ์เอกสารใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างใช้ถังคานิสเตอร์ที่สะอาดอยู่ในสถานะที่เป็นสุญญากาศมีความดันภายในถังน้อยกว่า 50 มิลลิทอร์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Flow controller) สิ่งสำคัญก่อนทำการเก็บ ตัวอย่างอากาศต้องมีการทดสอบการรั่วของถังคานิสเตอร์ และปรับอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้ได้ตาม ที่ต้องการ จดบันทึกความดันเริ่มต้น หลังจากทำการเก็บ ตัวอย่างอากาศนำถังเก็บตัวอย่างมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาเติมก๊าซไนโตรเจนที่สถานะขึ้นให้มีความดันใน ถังสูงกว่าความดันบรรยากาศประมาณ 2 บรรยากาศ จดบันทึกความดันสุดท้าย และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ อยู่ในสถานะสมดุล จากนั้นนำไปวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย ระบบ Preconcentrator-GC/MS โดยเปรียบเทียบกับ

ก๊าซมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวน 77 ชนิด

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

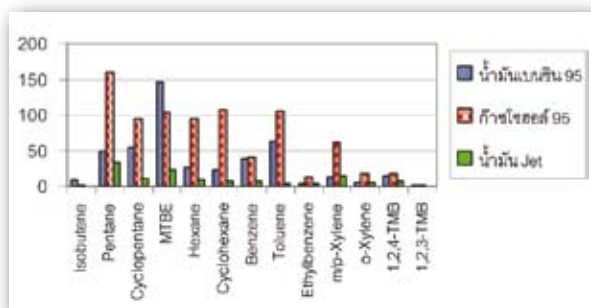
จากการเก็บตัวอย่างจากโรงงาน 5 ประเภท ได้แก่ โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น โรงพิมพ์เอกสาร โรงงานผลิตสี และโรงงานทอผ้า โดยใช้ ถังคานิสเตอร์ขนาด 6 ลิตร และทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีจากโรงงานแต่ละประเภท ด้วยเทคนิค Preconcentrator-GC/MS ด้วยการ เปรียบเทียบกับก๊าซมาตรฐานจำนวน 77 ชนิด ซึ่งทราบ ปริมาณความเข้มข้นที่แน่นอน รายละเอียดผลการศึกษา หาองค์ประกอบทางเคมีจากโรงงานแต่ละประเภทมีดังนี้

3.1 องค์ประกอบทางเคมีจากโรงงานกลั่นน้ำมัน

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไอระเหยจากคลัง

ตารางที่ 1 ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากโรงงานกลั่นน้ำมัน

ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (ppb)		
	น้ำมันเบนซิน 95	ก๊าซโซฮอล์ 95	น้ำมัน Jet
Isobutene	9.6	1.5	0.48
Pentane	50	160	34
Cyclopentane	54	95	11
MTBE	146	104	23
Hexane	26	94	9.3
Cyclohexane	23	106	7.6
Benzene	39	41	7.6
Toluene	63	104	3.9
Ethylbenzene	2.8	13	2.7
m-,p-Xylene	12	61	15
o-Xylene	4.4	17	5.0
1,2,4-Trimethylbenzene (1,2,4 TMB)	14	17	6.7
1,2,3-Trimethylbenzene (1,2,3 TMB)	2.1	1.8	0.2



ภาพที่ 1 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากไอระเหยของคลังเก็บน้ำมันเบนซิน 95 ก๊าซโซฮอล์ 95 และน้ำมัน Jet

เก็บน้ำมัน 3 ชนิด ของโรงกลั่นน้ำมันได้แก่ น้ำมันเบนซิน 95 ก๊าซโซฮอล์ 95 และน้ำมัน Jet ดังตารางที่ 1 พบว่า MTBE และ Isobutene ในน้ำมันเบนซิน 95 มีความเข้มข้นสูงกว่าก๊าซโซฮอล์ 95 และน้ำมัน Jet อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับก๊าซโซฮอล์ 95 พบว่า Pentane, Cyclopentane, Hexane, Cyclohexane, Toluene, m, p-Xylene และ o-Xylene มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำมันเบนซิน 95 และน้ำมัน Jet อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของสารเบนซินในน้ำมันเบนซิน 95 และก๊าซโซฮอล์ไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้พบว่า น้ำมัน Jet

มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน 95 และก๊าซโซฮอล์ 95 ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของน้ำมัน Jet ในแง่ของความดันไอรวมที่มีค่าต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน 95 และก๊าซโซฮอล์ 95 แสดงดังภาพที่ 1

3.2 องค์ประกอบทางเคมีจากโรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไอระเหยจากคลังน้ำมันโรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นสำหรับไฮดรอลิก และน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถมอเตอร์ไซด์ ดังตารางที่ 2 พบว่าค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำมันหล่อลื่นสำหรับไฮดรอลิก และน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถมอเตอร์ไซด์ค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างน้ำมันหล่อลื่นสำหรับไฮดรอลิก และน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถมอเตอร์ไซด์พบว่า Pentane, Benzene และ m, p-Xylene ในน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถมอเตอร์ไซด์สูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นสำหรับไฮดรอลิกเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากโรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น

ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (ppb)	
	น้ำมันหล่อลื่นสำหรับไฮดรอลิก	น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถมอเตอร์ไซด์
Pentane	0.62	0.98
Isoprene	0.65	0.72
Cyclopentane	0.94	0.97
MTBE	0.44	0.46
Hexane	1.1	1.1
Cyclohexane	0.84	0.86
Benzene	0.28	1.2
Toluene	4.9	4.8
Ethylbenzene	0.44	0.52
m-,p-Xylene	1.3	1.8
o-Xylene	0.51	0.59
Styrene	0.28	0.31
1,2,4-Trimethylbenzene	0.48	0.56

ตารางที่ 3 ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากโรงงานทอผ้า

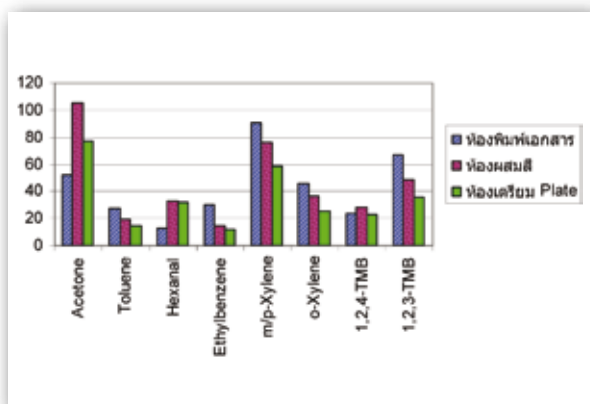
ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (ppb)		
	แผนกผสมสารเคมี	แผนกอบผ้า	บ่อบำบัดน้ำเสีย
Hexane	0.78	0.97	1.1
Chloroform	0.64	0.79	0.86
1,1,1-Trichloroethane	0.68	0.83	0.91
Trichloroethylene	0.56	0.70	0.81
Toluene	4.1	19	0.32
Tetrachloroethylene	0.70	0.94	0.80
m-p-Xylene	0.89	1.6	1.4
o-Xylene	0.42	0.70	0.58

3.3 องค์ประกอบทางเคมีจากโรงงานทอผ้า

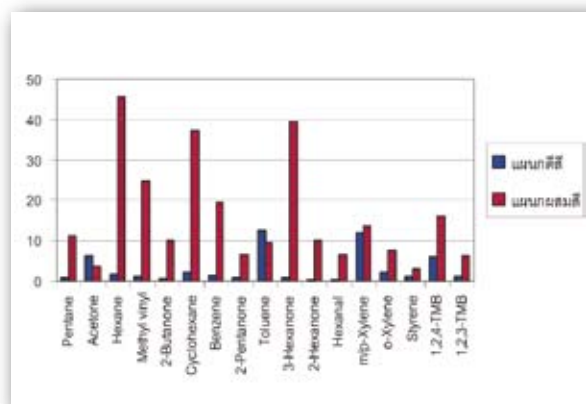
ในการศึกษานี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ บริเวณสถานที่ปฏิบัติงานของโรงงานทอผ้า แผนกผสมสารเคมี แผนกอบผ้า และบ่อบำบัดน้ำเสีย และจากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3 พบว่าค่าความเข้มข้นของ Toluene ในแผนกอบผ้ามีค่าสูงกว่าแผนกผสมสารเคมี และบ่อบำบัดน้ำเสีย ส่วนสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดอื่นในแผนกอบผ้า แผนกผสมสารเคมี และบ่อบำบัดน้ำเสีย มีค่าความเข้มข้นแตกต่างกันเล็กน้อย

3.4 องค์ประกอบทางเคมีจากโรงพิมพ์เอกสาร

ผลการวิเคราะห์จากการเก็บตัวอย่างอากาศ บริเวณสถานที่ปฏิบัติงานของโรงพิมพ์เอกสาร บริเวณห้องพิมพ์เอกสาร ห้องผสมสี และห้องเตรียม Plate พบว่า ค่าความเข้มข้นของ Acetone บริเวณห้องผสมสีมีค่าความเข้มข้นสูงสุด ในขณะที่บริเวณห้องพิมพ์เอกสาร m, p-Xylene มีค่าความเข้มข้นสูงเป็นอันดับรองลงมาเป็น 1,2,3-Trimethylbenzene, o-Xylene และ Toluene ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในโรงพิมพ์เอกสารบริเวณ
ห้องพิมพ์เอกสาร ห้องผสมสี และห้องเตรียม Plate



ภาพที่ 3 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในโรงงานผลิตสี บริเวณ
แพนกตีส์ และแพนกผสมสี

3.5 องค์ประกอบทางเคมีจากโรงงานผลิตสี

ผลการวิเคราะห์จากการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณสถานที่ปฏิบัติงานของโรงงานผลิตสี บริเวณแพนกตีส์และผสมสี พบว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายบริเวณแพนกผสมสีส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าแพนกตีส์ ทั้งนี้เพราะกระบวนการผสมสีเป็นระบบเปิด ในขณะที่กระบวนการตีสีเป็นระบบปิด โดยแพนกผสมสีมี Hexane สูงสุด รองลงมาเป็น 3-Hexanone และ Cyclohexane ดังภาพที่ 3

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลในด้าน

องค์ประกอบทางเคมีชนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งกำเนิดอยู่กับที่ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น โรงงานทอผ้า โรงพิมพ์เอกสาร และโรงงานผลิตสี สำหรับประเทศไทย ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาศึกษาหาแหล่งกำเนิดหลักของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่น โรงงานทอผ้า โรงพิมพ์เอกสาร และโรงงานผลิตสี ที่ให้ความอนุเคราะห์เก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 4 ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากโรงพิมพ์เอกสาร

ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (ppb)		
	โรงพิมพ์เอกสาร	ห้องผสมสี	ห้องเตรียม Plate
Acetone	53	105	77
Toluene	27	19	14
Hexanal	12	33	32
Ethylbenzene	30	15	12
m,p-Xylene	91	76	58
o-Xylene	46	36	26
1,2,4-Trimethylbenzene	24	28	23
1,2,3-Trimethylbenzene	67	48	35

ตารางที่ 5 ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากโรงงานผลิตสี

ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (ppb)	
	แผนกสี	แผนกผสมสี
Pentane	0.72	11
Hexane	1.5	45
Acetone	6.3	3.6
Methyl vinyl ketone	1.1	24
2-Butanone	0.50	10
Cyclohexane	2.3	37
Benzene	1.4	20
Toluene	12	9.6
3-Hexanone	0.80	39
2-Pentanone	0.76	6.5
2-Hexanone	0.16	10
Ethylbenzene	6.8	7.7
m,p-Xylene	12	14
o-Xylene	2.2	7.6
Styrene	1.1	3.0
1,2,4-Trimethylbenzene	5.9	16
1,2,3-Trimethylbenzene	0.96	6.1

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศในบริเวณโรงงาน
พร้อมทั้งขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของโรงงานดังกล่าว
ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและ
ฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมในขณะเข้าไปทำการเก็บตัวอย่าง
สารอินทรีย์ระเหยในโรงงาน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรรณา เลาวกุล พกา สุขเกษม เตชี หมอกน้อย
เพลินพิศ พงษ์ประยูร และจรรยา สุกรเมือง
2546 “การศึกษาสถานการณ์สารอินทรีย์
ระเหยในบรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานคร”
เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อม
แห่งชาติ ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
22-24 มกราคม 2546
- [2] WHO, Guidelines for Air Quality, Geneva,
2000.
- [3] H.J. TH. Bloemen and Burn L, 1993
“Chemistry and analysis of volatile
organic compounds in the environment”,
Blackie Academic & Professional, an
imprint of Chapman & Hall.
- [4] U.S.EPA, United States Environmental
Protection Agency, 1995 “EPA air quality
trend”, EPA-454/F-95-003, Office of air
quality planning and standard, US.EPA,
Research Triangle Park.
- [5] Pollution Control Department (PCD), 2001
“Investigation and analysis of ozone
precursors for the mitigation of
photochemical air pollution in Bangkok”,
Air & Waste Technology Co.Ltd.,
Bangkok, Thailand. 





สถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายใน บรรยากาศบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร

Status of Ambient Volatile Organic Compounds in Bangkok Area

วรรณ ลาอวกุล หทัยรัตน์ การ์ิเวทย์ ศิริพงษ์ สุขทวี เดซี่ หมอกน้อย เพลินพิศ พงษ์ประยูร
ศุภนุช รสจันทร สุธีระ บุญญาพิทักษ์ นิรันดร์ เปี่ยมไย ปรีวิฑิต์ สุดประเสริฐ
Wanna Laowagul, Hathairatana Garivait, Sirapong Sooktawee, Daisy Morknoy,
Plernpis Pongprayoon, Supanut Roschan, Sutera Boonyapitak, Nirun Piemyai
and Pariwat Sudprasert

บทคัดย่อ

การศึกษาสถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ดำเนินการเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2549 – กันยายน 2550 โดยเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณริมถนน บริเวณที่อยู่อาศัย และบริเวณทั่วไป ด้วยถังคานิสเตอร์ ระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศ 24 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Preconcentrator-Gas Chromatograph/Mass Spectrometer ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 3 บริเวณมีสารประกอบอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศจำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน อะลิฟาติกฮาโลจิเนตไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกฮาโลจิเนตไฮโดรคาร์บอน และออกซิเจนเนตไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสาร Benzene ที่ตรวจพบบริเวณริมถนนกับค่ามาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยสำหรับ 1 ปี ที่กำหนดไว้ในประเทศไทย พบว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 5 เท่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในจำนวน 5 กลุ่มนี้บางตัวก่อให้เกิดโรคมะเร็ง บางตัวมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ระบบตับและไต และบางตัวเป็นสารที่ก่อให้เกิดโฟโตเคมีคอลออกซิแดนท์ ได้แก่ โอโซน (Ozone) ดังนั้นควรต้องมีการติดตามตรวจสอบเพื่อเฝ้าระวังระดับของสารดังกล่าวในบรรยากาศและเพื่อจัดการและควบคุมสารดังกล่าวจากแหล่งกำเนิดต่อไป

คำสำคัญ: สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย สถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ Volatile Organic Compounds, VOCs

Abstract

Status of ambient volatile organic compounds in Bangkok area was carried out during November 2006-September 2007. The VOCs samples were collected for 24 hrs using canister at roadside, residential and background areas. The samples were analyzed by preconcentrator-gas chromatograph/mass spectrometer. The results indicated that there are 5 groups of VOCs could be found in the study areas, i.e., aliphatic hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, aliphatic halogenated hydrocarbons, aromatic halogenated hydrocarbons and oxygenated hydrocarbons. Moreover, it was found that average benzene concentration at roadside areas in Bangkok was exceeded than the Ambient Air Quality Standard value of benzene concentration which regulated for 1 year in Thailand about 5 times. However, among of 5 groups VOCs found

in this study, some of them are carcinogenic compounds, some of them may cause adverse affect to human being i.e., respiratory, nervous system, liver and kidney. Some of them may contribute to photochemical oxidants such as ozone. Therefore, it is necessary to continue investigation of VOCs for management and mitigation of VOCs levels from sources.

Keyword: Volatile Organic Compounds, VOCs, Status of VOCs

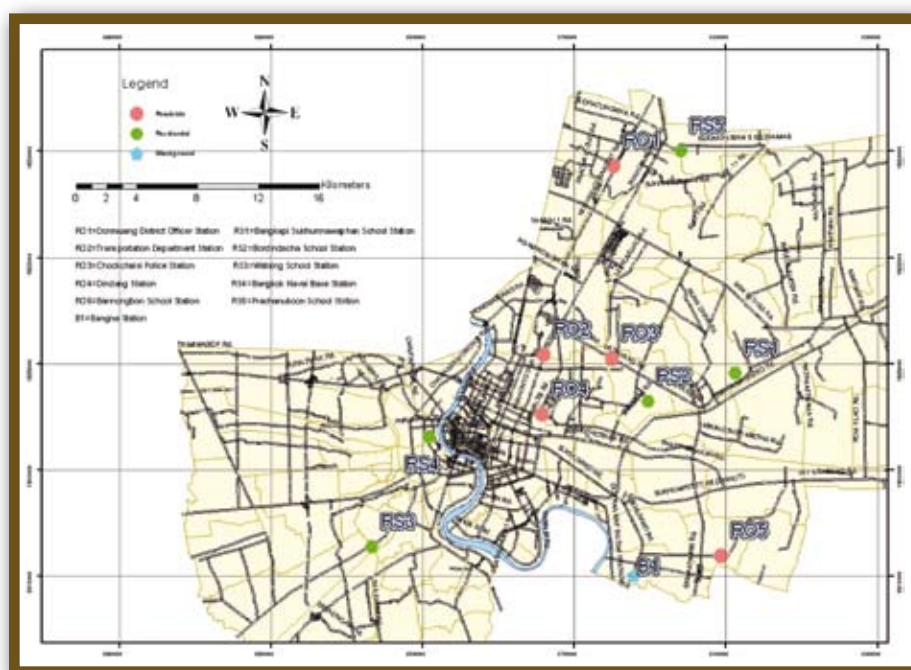
1. บทนำ

ปัญหาสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds; VOCs) เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญและเร่งด่วนระดับชาติที่หน่วยงานภาครัฐ โดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมตระหนัก และให้ความสำคัญ เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายมีหลายชนิดที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและเป็นสารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล สม็อก ตัวอย่างปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เห็นได้อย่าง ชัดเจนในประเทศไทย ได้แก่ ปัญหาการร้องเรียนด้านมลพิษ ปี พ.ศ. 2547-2549 พบว่าปัญหาการร้องเรียนเรื่องกลิ่น มีการร้องเรียนประมาณ 37%-39% ของปัญหาการ ร้องเรียนด้านมลพิษ^[1-3] นอกจากนี้ยังมีปัญหาสารประกอบ อินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่ประชาชนได้รับความเดือดร้อนและร้องเรียนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540-2550 และปัญหาการลักลอบทิ้งสารอันตรายเป็นจำนวน มากในบริเวณอำเภopakช่อง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2547 เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวกรมส่งเสริมคุณภาพ

สิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึง ได้ทำการศึกษาสถานการณ์สารประกอบอินทรีย์ระเหยใน บรรยากาศชั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบระดับความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ และมีเป้าหมายเพื่อนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการจัดตั้งค่ามาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศและ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการและควบคุมแหล่งกำเนิด ให้มีประสิทธิภาพในการศึกษานี้ได้รับความร่วมมือทาง วิชาการจากองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น (Japan International Cooperation Agency) เป็นเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2548-2551)

2. วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ในบรรยากาศในพื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร เดือนพฤศจิกายน 2549-กันยายน 2550 บริเวณริม ถนน (Roadside area) จำนวน 5 จุด ได้แก่ สถานี ตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดง สถานีตำรวจโชคชัยสี่ สำนักงานเขตดอนเมือง กรมขนส่งทางบก และโรงเรียน



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ บริเวณริมถนน บริเวณที่อยู่อาศัย และบริเวณทั่วไป



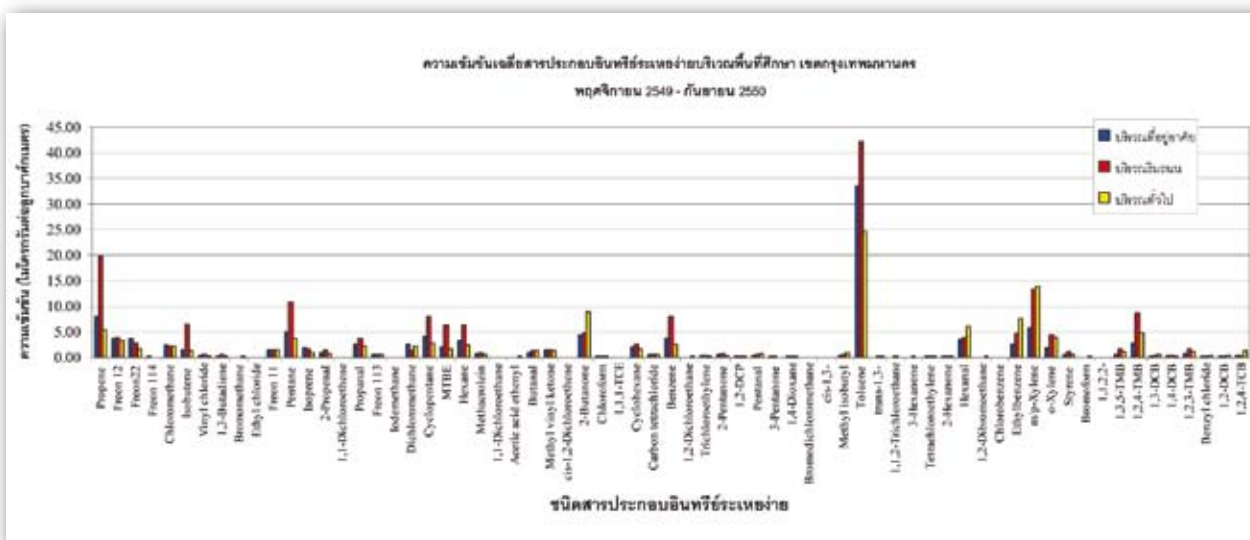
การเก็บตัวอย่างด้วยถังคาบิสเตอร์



การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Preconcentrator - GC/MS

บ้านหนองบอน บริเวณที่อยู่อาศัย (Residential area) จำนวน 5 จุด ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โรงเรียน บดินทร์เดชา โรงเรียนวัดสิงห์ โรงเรียนบางกะปิชุมชนวนพันธ์อุปถัมภ์ โรงเรียนประชานุกุล ฐานทัพเรือบริเวณทั่วไป (Background area) จำนวน 1 จุด ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบางนา ดังภาพที่ 1 โดยใช้ถังคาบิสเตอร์ที่ทำความสะอาดแล้วและภายในถังมีสภาวะเป็นสุญญากาศ ความดันภายในถังต่ำกว่า 50 มิลลิทอร์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งสามารถควบคุมอัตรา

การไหลของอากาศได้ 3.4 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำถังเก็บตัวอย่างอากาศทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลย์ และทำการอัดก๊าซไนโตรเจนที่สภาวะชื้นและบริสุทธิ์เข้าสู่ถังเก็บตัวอย่างอากาศจนมีความดันเพิ่มขึ้นสูงกว่าความดันบรรยากาศประมาณ 2 บรรยากาศ หลังจากอัดก๊าซไนโตรเจนที่บริสุทธิ์แล้วพักถังตัวอย่างเพื่อให้เกิดสมดุลย์ของก๊าซภายในถังเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง หลังจากนั้นวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายใน



ภาพที่ 2 ชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย บริเวณพื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

บรรยากาศด้วยเครื่อง Preconcentrator-GC/MS โดยเปรียบเทียบกับก๊าซมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวน 77 ชนิด โดยใช้คอลัมน์ 6% Cyanopropyl-phenyl, 94% dimethyl polysiloxane (DB-624) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 60 เมตร ความหนาของฟิล์ม 1.4 ไมครอน และในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างได้มีการทำประกันคุณภาพด้วย เพื่อให้ข้อมูลที่ตรวจวัดได้มีคุณภาพและเชื่อถือได้

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

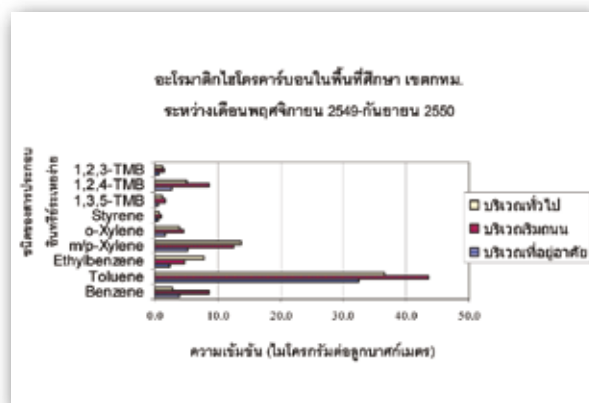
จากการเก็บตัวอย่างบริเวณริมถนน จำนวน 5 จุด บริเวณที่อยู่อาศัยจำนวน 5 จุด บริเวณทั่วไป จำนวน 1 จุด และวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับก๊าซมาตรฐาน 77 ชนิด เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2549 - กันยายน 2550 ผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 2 พบว่ามีสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน อะลิฟาติกฮาโลเจนเตไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกฮาโลเจนเตไฮโดรคาร์บอน และออกซิเจนเตไฮโดรคาร์บอน โดยกลุ่มของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีความเข้มข้นสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

เมื่อพิจารณาสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในแต่ละกลุ่ม พบว่าบริเวณริมถนนมีความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนจำนวน 7 ชนิด สูงกว่าบริเวณที่อยู่อาศัยและบริเวณทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ Propene, Isobutene, 1,3 - Butadiene, Pentane, Cyclopentane, Hexane และ Cyclohexane ดังภาพที่ 3 ซึ่งสารดังกล่าวส่วนใหญ่พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ^[4,5]

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน พบว่าบริเวณริมถนน มีจำนวน 3 ชนิด สูงกว่าบริเวณที่อยู่อาศัยและบริเวณทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ Benzene, Toluene และ 1,2,4-



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน



ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

Trimethylbenzene ซึ่งสารดังกล่าวส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ^[6,7,8,9] และจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร Benzene ในบรรยากาศบริเวณริมถนน (8.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) กับค่ามาตรฐานสำหรับสาร Benzene 1 ปีที่กำหนดในประเทศไทย (1.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)^[10] พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงกว่าเกณฑ์ค่ามาตรฐานประมาณ 5 เท่า ดังภาพที่ 4

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มออกซิเจนเตไฮโดรคาร์บอน พบว่าบริเวณริมถนน มีจำนวน 4 ชนิด สูงกว่าบริเวณที่อยู่อาศัยและบริเวณทั่วไป ได้แก่ MTBE,

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณผู้บริหารระดับสูงและเจ้าหน้าที่ของฐานทัพเรือ สำนักงานเขตดอนเมือง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของกรมควบคุมมลพิษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ติดตั้งชุดเก็บตัวอย่าง ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดง โชคชัยสี่ โรงเรียนบดินทรเดชา โรงเรียนวัดสิงห์ กรมขนส่งทางบก และกรมอุตุนิยมวิทยา ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ทุกท่านจากโรงเรียนบางกะปิ สุขุมวิทพันธุ์อุปถัมภ์ โรงเรียนบ้านหนองบอน และโรงเรียนประชานุกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกให้แก่เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] http://www.pcd.go.th/info__serv/pol__stat2547.html กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษ ปี 2547
- [2] http://www.pcd.go.th/info__serv/pol__stat2548.html กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษ ปี 2548
- [3] http://www.pcd.go.th/info__serv/pol__stat2549.html กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษ ปี 2549
- [4] Nelson P.F., Quigley S.M., The Hydrocarbons Composition of Exhaust Emitted from Gasoline Fueled Vehicles, Atmospheric Environment, 18, 2769-2772, 1984.

- [5] Tom, R.T., Roeland, F. van O., Peter, L., 1999. Determination of Source Contributions to Ambient Volatile Organic Compound Concentrations in Berlin. Journal of the Air & Waste Management Association 49, 1394-1404.
- [6] Zielinska B., Sagebiel J.C., Harschfield G., Gerther A.V., Pierson W.R., Volatile Organic Compounds up to C20 Emitted from Motor Vehicles; Measurement Methods, Atmospheric Environment, 30 (12), 2269 -2286, 1996.
- [7] Lofgren L., Peterson G., Proportions of Volatile Hazardous Hydrocarbons Vehicle Polluted Urban Air, Chemosphere, 24, 135-140, 1992.
- [8] Grosjean E., Rasmussen R.A., Grosjean D., Ambient Levels of Gas Phase Pollutants in Porto Alegre, Brazil, Atmospheric Environment, 32, (20), 3371-3379, 1998.
- [9] Lee S.C., Chiu M.Y., Ho K.F., Zou S.C., Xinming W., Volatile Organic Compounds (VOCs) in Urban Atmosphere of Hong Kong, Chemosphere, 48, 375-382, 2002.
- [10] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไป ในเวลา 1 ปี ประกาศ ณ วันที่ 14 กันยายน 2550 ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนพิเศษ 143 ง วันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2550 





Chemical Composition of Wet Deposition in Suburban Area of Bangkok, Thailand

H. Garivait^{a,*}, K. Yoshizumi^b, D. Morknoy^a, D. Chanatorn^a, J. Meepol^a, and A. Mark-Mai^a

ABSTRACT

Within the framework of the Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET), the monitoring station at the Environmental Research and Training Center (ERTC) has been selected to represent the results of wet deposition monitoring in suburban area of Thailand. Wet-only samples were collected on a daily basis during 2001-2004 (total 287 precipitation samples) and were analyzed for their pH, conductivity and ionic species. The ion chromatography technique was used for quantification of Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- . The ionic abundance in precipitation ($\mu\text{eq/l}$) showed a general pattern as $\text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. The volume weighted mean pH of precipitation during 2001-2004 ranges between 4.85 and 5.30 indicated the pH tendency is toward acidity in this area. However, both of acidified and neutralized rainwater during the period falls here at the frequency of almost fifty-fifty ratios with reference to $\text{pH}=5.6$.

The calculation of volume-weighted mean concentration showed that NH_4^+ was the most abundant specie in this area followed by SO_4^{2-} and Ca^{2+} at 33.1, 30.4 and 23. $\mu\text{eq/l}$, respectively. The arithmetic mean for $\Sigma\text{cations}$ (114.6 ± 85.4) and for Σanions (85.1 ± 75.5) as well as the ratio of $\Sigma\text{cations}/\Sigma\text{anions}$ is found to be 1.3 indicated the anion deficiency. This may be due to the exclusion of the HCO_3^- and some organic acids such as formate (HCOO^-) and acetate (CH_3COO^-) from the measurements. Comparisons between volume weighted average and the arithmetic mean of ionic species in the rainwater suggested the effect of rainfall amount to the amount of chemical composition, i.e., higher components concentrations were generally associated with lower precipitation amounts. The observation showed about 62% of total acidic species of SO_4^{2-} and NO_3^- would be neutralized by NH_4^+ and CaCO_3 . The calculation of neutralization factor during 2001-2004 for Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} and K^+ were 0.73, 0.85, 0.11 and 0.04, respectively. This feature suggested the effect of crustal components in the neutralization process of rainwater at ERTC is prevailing. In this connection, the major deposition of all components (meq/m^2) was occurred during wet season.

The correlation between components and the cluster analysis revealed that the rain water composition at ERTC during 2001-2004 was influenced by the local terrestrial source, agricultural activity and secondary aerosols derived by photochemical reaction of acidic gases transported from Bangkok. The contribution of sea salt to the rainwater in this area can be considered as minor source.

Keywords: wet deposition, suburban area, neutralization, chemical compositions, source contributions.

^aEnvironmental Research and Training Center, Technopolis, Klong Luang Pathumthani 12120 Thailand

^bKyoritsu Women's University, 2-2-1 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8433 Japan

(*author for correspondence, e-mail: hathairatana@yahoo.com, fax: 66-2 5771138)

1. Introduction

Along with many South-East Asian Countries, Thailand is experiencing a considerable increase in air pollution because of a rapid growth in population, economic development and industrial productivity. As the country strives to be industrialized, the environment suffers from inadequate attention. Combustion of fossil fuels for industrial activities and transport are among the major anthropogenic causes of air pollution. In Thailand, primary energy consumption in 2005 was 64,948 ktoe (oil equivalent). The major energy source consumed in the country is coal, accounting for 38% of the total in 2004. The total primary energy consumption in 2016 is estimated to be 124,636 ktoe, twice larger than in 2005 (JGSEE 2006). The high consumption of energy increases the amount of toxic air pollutants in the major cities, especially in Bangkok, may cause an adverse effect to the human health (Garivait et al., 1999, Garivait et al., 2001). Besides increase in energy consumption of fossil fuel may seriously affect the ecosystems through the atmospheric deposition if no effective measures are taken. Preliminary results from the composition and Acidity of Asian Precipitation (CAAP) workshop held in Bangkok, in November 1998 (www.rapidc.org), have clearly indicate that the level of acid deposition received in several areas of Asia including Thailand may exceed the carrying capacity of their soil (Kuylenstierna et al., 1998).

The composition of wet deposition actually reflects the composition of the atmosphere through

which it falls. In Thailand, during the last decade, a number of studies have been carried out on chemical composition of precipitation samples (Simachaya et al., 1994; Khunasopa et al., 1998). Recently, the relative contribution from national emission sources to the potential acidification problem has been studied in the co-operative project between Environmental Research and Training Center, Thailand and the Swedish Environmental Research Institute (IVL) and Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) during 2001-2003 (Technical Report on Acidification in Thailand 2003). Based on the measurements and modeling results generated in this study, we conclude that 70-80% of the anthropogenic total sulfur and oxidized nitrogen deposition in Thailand arises from sources within Thailand itself. Additionally it is clear that, in comparison with other parts of Thailand, the maximum amount of sulfur depositions of 3-10 g S/m²/year occurred in Bangkok Metropolitan and its vicinity (covering an area of ca. 200 x 200 km²). However, acid deposition information in this area is still limited as well as the causes and consequences of deposition in the affected areas also remain unclear.

This study has been conducted within the framework of the Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). It was designed to evaluate the chemical composition of rainwater in the suburban area in Thailand. This is to provide an understanding of the source types that contribute to rainwater chemistry, and enhance the



Figure 1 Map of sampling site



Figure 2 Picture of the sampling station at the Environmental Research and Training Center (ERTC), Pathumthani.

understanding of the local and regional dispersion of pollutants and their potential impacts on ecosystem through deposition processes, finally to establish a baseline data of chemical composition of rainwater at a suburban area of Bangkok where proper data are still limited.

2. Experimental methods

2.1 Sampling location

The ERTC station is located in Pathumthani province 50 km northeastern of Bangkok and occupies the area of about 1,526 square kilometers with population of about 500,000. There is no significant man made air pollution sources are found within the distance of 10 km radius. There is a highway within 5 km radius to the southwest,

with the car density of 50,000 cars/day. Similar to Bangkok, the climate of the province is dominated by the monsoons, characteristic of a tropical climate. A southwest monsoon predominant during February-October (summer) and with it comes the rainy season. A northeast monsoon predominant during November-January (winter) and with it brings drier air with relative rainfalls. In terms of meteorological condition, there is a little change in temperature and humidity throughout the year in Pathumthani. The annual average temperature ranges from 28-34 °C, the average humidity is at 70-80% and the annual rainfall of over 200 mm. The map of sampling site and the picture of the sampling station at ERTC are shown in figure 1 and 2, respectively.

According to the EANET site criteria for rural area, the monitoring results at this station will be used to evaluate the effects of acid deposition on agriculture, crops, forest and livestock farming.

2.2 Sample collection

Rainwater samples were collected on a daily basis with an automated wet-dry sampler (Graseby, model T87-100) during 2001-2004. The wet collector is a HDPE bucket with 288 mm diameter, and will automatically close its lid when precipitation ceases. The sampling was done according to the EANET guideline for the data quality objectives. Most of the samples were normally removed from the collector everyday at 9:00 am except the day when rain still continue over the collecting time. The bucket was tightly covered with a cleaned HDPE cap during transport to the laboratory to prevent possible atmospheric contamination to the sample everyday. The bucket is replaced everyday in the sampler even though there is no rainwater sample in the bucket. A total of 287 samples were collected during this 4-year period.

In the laboratory, the precipitation amount was measured by weighing the rainwater sample and the measurement of conductivity and pH were done. A part of rainwater sample will be filtered with a 0.45 μm pore-size cellulose nitrate membrane filter paper then sealed and stored at 4 °C (in the dark) without any preservatives prior to chemical analysis by Ion Chromatography.

2.3 Chemical Analysis

The chemical analysis in this study was

done based on the Technical Documents for Wet Deposition Monitoring in East Asia (EANET Technical Document for Wet Deposition Monitoring 2000). The measurement of inorganic cations and anions (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- and Cl^-) in precipitation samples at ERTC were analyzed separately by 2 sets of Ion Chromatography (DIONEX DX-100) with self-regenerating suppressors. The anion analysis was performed using AS12A separator column with 4.25 mM Na_2CO_3 /0.3 mM NaHCO_3 mobile phase. While cation analysis used CS12A separator column with 20 mM H_2SO_4 mobile phase. In both analyses, the samples were filtered through cellulose nitrate membrane filter or IC acrodisc 13 mm syringe filter 0.45 μm and introduced by AS40 auto-sampler with 100 μl sample loop and 1 ml/min flow rate of mobile phase. The calibration curve was evaluated by analysis of MERCK standards ranged between 0.02 and 10 ppm in duplicate, i.e., before and after the analysis of a set of samples. Field blanks were handled in exactly the same way as other samples and analyzed. Levels of all the ions in the blanks were found to be below the detection limits. Measurement of pH and conductivity was made using a pH meter (TOA HM30V with ST 5421C glass electrode) and a conductivity meter (TOA CM40 with CG 511B conductivity cell). The detection limit and determination limit values were mostly within the EANET guideline except for Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} and SO_4^{2-} . To assure the data quality, ERTC has participated in the inter-laboratory comparison project under the Quality Assurance/

Quality Control (QA/QC) Program of EANET since 2001. The ERTC results of inter-laboratory comparison on wet deposition during 2001-2004 are shown in Table 1. The results showed good accuracy for the analysis of high concentration rainwater. In contrast with the one of low concentration, only moderate accuracy could be obtained especially for the year 2002 where cations were found out of the range from the data quality objectives given by EANET. However, this problem was resolved well in the following year.

3. Results and Discussion

3.1 Rain Quantity and Ionic Balance

A total number of 287 daily rainwater samples were collected at the ERTC during 2001-2004. The monthly average rainfall during the study period depicted well the wet and dry season in Thailand, i.e., May-October (wet season) and November-April (dry season). It is clear that

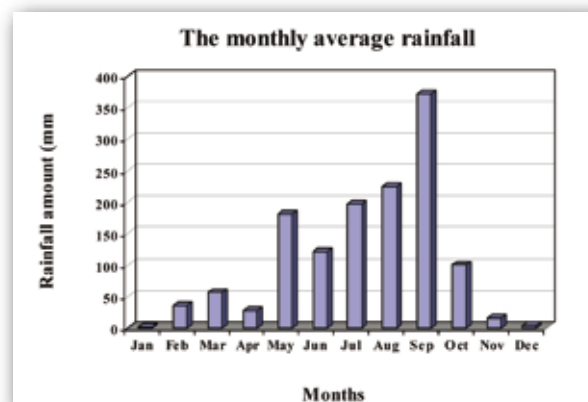


Figure 3 Monthly average rainfall during the study period 2001-2004

the highest average rainfall was during September followed by August and July. The highest levels of precipitation were 373 mm in September (Figure 3).

As for the ratio of total cations to that of anions ($\Sigma \text{cations} / \Sigma \text{anions}$), in this study, the sum of cations was represented by Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} and H^+ and the sum of anions were represented by Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} and HCO_3^- . It should be noted that the HCO_3^- was determined by

Table 1. Accuracy assessment using the artificial rainwater samples of the EANET Network Center.

											(μmol/l)
Year	Rainwater	pH	EC (mS/m)	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
2001	High conc.	4.16	7.17	86.4	93.3	109.3	63.5	15.8	42.4	19.4	88.8
	Low conc.	4.89	1.67	21.7	18.9	34.1	26.3	4.3	15.7 E	4.5 E	15.5
2002	High conc.	4.35	3.62	41.1	51.1	32.7	14.3	6.2	19.6	7.1	44.0
	Low conc.	5.19	0.69	8.9	8.5	9.4	6.0 E	1.4 E	9.4 X	2.3 X	1.3 X
2003	High conc.	4.56	3.36	43.2	30.8	65.4	45.0	6.5	20.2	6.9	49.4
	Low conc.	4.80	1.52	12.9	22.6	28.7	25.0	2.2	4.5	3.5	11.7 E
2004	High conc.	4.65	3.83	59.2	40.4	74.5	65.0	6.4	39.4	9.5	38.6
	Low conc.	5.04	1.35	17.6	18.2	21.8	20.5	4.7	11.0	2.7	15.2

E : Value exceeded the Data Quality Objective (± 15) by a factor of 2

X : Value exceeded the Data Quality Objective (± 15) more than a factor of 2

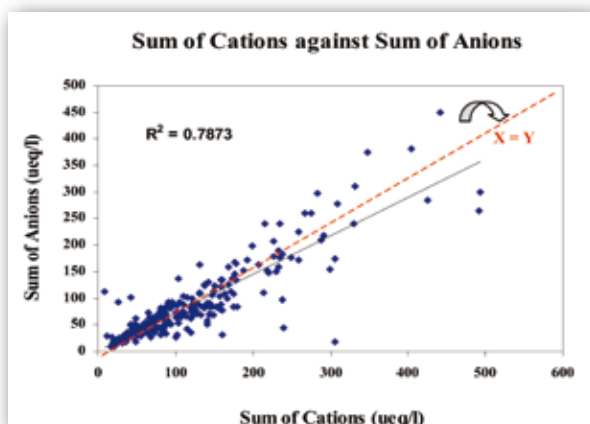


Figure 4 Linear regression of the cations and anions sum

calculation and it will be accounted in the total anions only in the case of pH value was greater than 6.0. The figure 4 showed fairly good correlation between sum of cations and anions ($r^2 = 0.79$). Furthermore, the arithmetic mean for Σ_{cations} (114.6 ± 85.4) and for Σ_{anions} (85.1 ± 75.5) as well as the ratio of $\Sigma_{\text{cations}}/\Sigma_{\text{anions}}$ was found to be 1.3 indicated the anion deficiency. This may be due to the exclusion of the HCO_3^- and some organic acids such as formate (HCOO^-) and acetate (CH_3COO^-) from the measurements. The main source of organic acids in the atmosphere is either the oxidation of hydrocarbons emitted naturally or directly from anthropogenic sources (Keene et al., 1988). Since ERTC site is located in the rural area encompassed by agricultural fields as well as being either leeward or windward of Bangkok city where the population and traffic density are the highest in the country, both organic and bicarbonate ions might have contributed in an appreciable quantity. Yoshizumi et al. (1996) have also reported the existence of

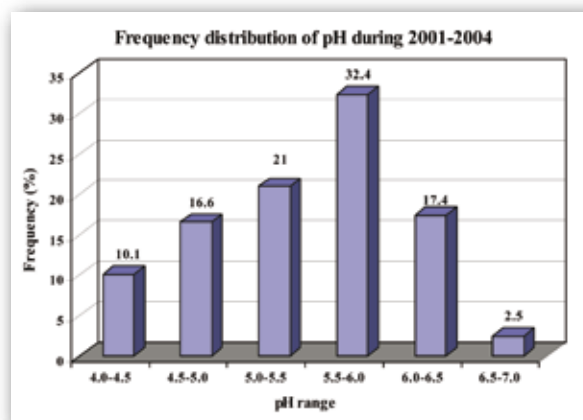


Figure 5 Frequency distribution of pH

CaCO_3 in the atmosphere around the Pathumthani/Bangkok area, which may derived from soil, resulting in cation rich aerosols and rainwater.

3.2 Variation of pH

The variation of pH is shown by a frequency distribution of pH during 2001-2004 (Figure 5). The naturally existing CO_2 , NO_x and SO_2 will dissolve into the clouds and rain droplets then result in pH values of the rain in the clean atmosphere to be between 5.0 and 5.6 (Atmospheric acidity 1992). In this study, the frequency distribution showed both of acidified and neutralized rainwater falls here at the frequency of almost fifty-fifty ratios with reference to pH=5.6. This observation is similar to that reported by Migliavacca, et.al., 2005 for the chemical composition in wet deposition at an urban site in Brazil. The annual pH volume weighted mean was calculated from the volume weighted concentration of H^+ of the rain collected daily. The volume weighted mean pH of precipitation at ERTC during the study period ranged between 4.85 and 5.30

with no significant variation in pH values. Earlier study reported that the volume weighted mean pH in different location of Thailand lies between 4.82–5.68 (Thephanondh, S., et al. 2005, personal contact). Noting that the high acidity range of the precipitation usually occurred during the beginning of rainy season (May) where the prevailing wind come from Southwest and the sampling site was found down wind of Bangkok city. SO_x and NO_x emission from emission sources in Bangkok might result in the formation of sulfuric acid and nitric acid in the atmosphere and thus affected the acidity of this sampling site. The low acidity range of the precipitation was usually found in the middle of the monsoon period (September). This may due to the neutralization of the precipitation during strong wind and high soil dust in the atmosphere

as well as the dilution effect of the rain in September where the highest average rainfall amount was found.

3.3 Chemical composition of precipitation

Table 2 shows the average, range values and volume weighted average (VWA) for pH, conductivity and major ion concentration of the

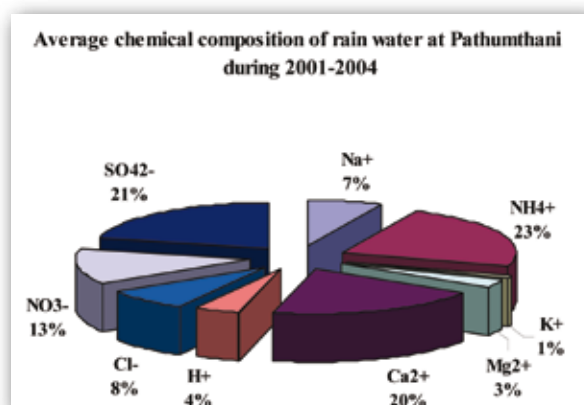


Figure 6 Average chemical composition of rain water in the rural area of Thailand during 2001-2004.

Table 2 Average, range volume weighted average (VWA), $\mu\text{eq/l}$ in rainwater at Pathumthani during 2001– 2004 for pH, conductivity ($\mu\text{S/cm}$) and major ion concentrations.

Components	Wet precipitation (n = 287)		
	Average	Range	VWA
pH	5.53	4.25 - 6.68	5.07
Conductivity	16.9	4.54 - 65.2	17.8
Cl ⁻	15.7	2.23 - 121	10.3
NO ₃ ⁻	27.2	1.61 - 177	19.0
SO ₄ ²⁻	41.8	5.59 - 176	30.4
Na ⁺	14.3	0.57 - 90.5	7.59
NH ₄ ⁺	46.2	0.33 - 246	33.1
K ⁺	2.07	0.13 - 39.4	1.28
Mg ²⁺	6.08	0.42 - 38.8	3.56
Ca ²⁺	41.2	2.06 - 404	23.6

n = number of samples

287 daily samples of atmospheric precipitation. The ionic abundance in precipitation ($\mu\text{eq/l}$) showed the general trend $\text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, as shown in Figure 6. Higher concentrations of NH_4^+ are expected due to the agricultural activities. Na^+ and Cl^- indicate marine influence, contributed about 15% whereas SO_4^{2-} and NO_3^- together contributed about 34%. A similar dominance of NH_4^+ and SO_4^{2-} were observed in other studies (Migliavacca et al., 2005; Kulshrestha et al., 1996) where the sampling sites were located nearby city, industrial and agricultural areas. Comparisons of volume-weighted average (VWA) and the average values illustrated the effect of rainfall amount to the amount of chemical composition in the rainwater. Most of the VWA concentrations were lower than the average values,

indicating that higher concentrations were generally associated with lower precipitation amounts.

When compare the data of this study with those from other areas reveal that concentration of major acidic ions in rainwater SO_4^{2-} and NO_3^- are in the same range which found in Rampur, where the site is away from anthropogenic sources, but significantly lower than the sites located in the industrialized urban areas of Singapore and Jordan. As for the neutralization species such as NH_4^+ and Ca^{2+} , their concentrations found in this study are relatively high, which the values are higher than those of suburban sites in Singapore and Brazil. It is obviously seen that the concentration of Ca^{2+} in this study is significantly lower than in India and Jordan, where the contribution of soil dust are very important. The comparison is shown in Table 3.

Table 3 Volume weighted average concentration ($\mu\text{eq/l}$) of major components in rainwater at different sites

Sites	Present Study (Pathumthani, Thailand.)	Thailand (Granat et al., 1996) SR	India (Singh et al., 2001) Rampur	India (Mouli et al., 2005) Tirupati	Brazil (Miglia-vacca et al., 2005) Guaiba	Singapore (Hu et al., 2003)	Jordan Al-Khashman et al., 2005)
pH	5.07	7.0	6.60	-	5.72	4.20	6.62
Cl^-	10.3	6.0	25.7	33.9	6.98	34.2	122
NO_3^-	19.0	4.0	13.0	40.8	2.47	22.3	63.7
SO_4^{2-}	30.4	13.0	29.1	128	13.2	83.5	122
Na^+	7.59	5.0	13.9	33.1	11.1	32.8	85.1
NH_4^+	33.1	9.0	41.4	20.4	28.1	19.1	43.0
K^+	1.28	1.8	10.9	33.9	2.81	7.20	51.1
Mg^{2+}	3.56	2.0	39.3	55.5	3.85	6.54	134
Ca^{2+}	23.6	9.0	52.2	151	8.41	16.1	192

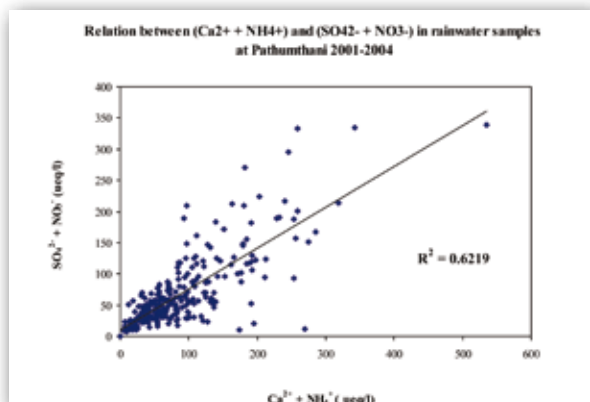


Figure 7 Relation between $(Ca^{2+}+NH_4^+)$ and $(SO_4^{2-}+NO_3^-)$ in rainwater samples in Pathumthani 2001-2004.

3.4 Neutralization potentials

The acidification potential of precipitation is usually due to the presence of acid forming ions H_2SO_4 , HNO_3 and organic acids and the neutralization of these species occurs in the presence of alkaline species NH_4^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} (Kulshrestha et al., 1996). Figure 7 shows the linear regression between acidification variables (SO_4^{2-} and NO_3^-) and neutralization potential (Ca^{2+} and NH_4^+) for the rainwater samples of the site in Pathumthani during 2001-2004. The correlation coefficient in the rainwater samples was 0.62 indicating that only moderate neutralization can be seen by this relation. This may be consistent with the fact that other ionic species such as HCO_3^- and some organic acids ($HCOO^-$, CH_3COO^-) were not measured in this study.

Neutralization factors (NF) were used to evaluate the relative neutralization of precipitation by crustal components and ammonia. NF were calculated according to the following equations (Possanzini et al., 1988)

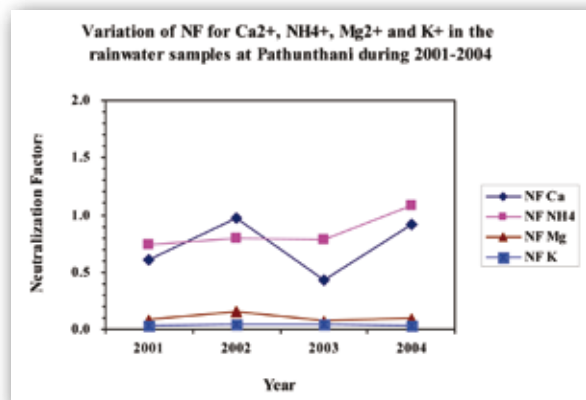


Figure 8 Yearly variation of NF for Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} and K^+ in the rainwater samples at Pathumthani during 2001-2004.

$$NF_{X_i} = \frac{[X_i]}{[SO_4^{2-}] + [NO_3^-]}$$

where X_i is the chemical component of interest and all the ions expressed in $\mu\text{eq/l}$. In this study, NF was computed for different alkaline constituents such as Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} and K^+ . Average NF values during 2001-2004 were 0.73, 0.85, 0.11 and 0.04 for Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} and K^+ , respectively. The results showed that NH_4^+ and Ca^{2+} neutralize a larger fraction of the available acid in the rainwater while the neutralization by Mg^{2+} and K^+ were generally negligible. The feature suggested the effect of crustal components in the neutralization process of rainwater at ERTC is prevailing. Figure 8 shows the annual variation of NF for Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} and K^+ in the rainwater samples at Pathumthani during 2001-2004. It is obvious that NH_4^+ was the major neutralization species in this area except for the year 2002. This exceptional phenomena may explained by the fact

that there were many construction activities for the establishment of new buildings in the Technopolis nearby the location of ERTC.

3.5 Source contributions

In order to find possible association between ions in precipitation and probable sources of pollutants, correlation between ions in rainwater samples was calculated. The results of the correlation analysis suggested that $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ($r=0.73$), MgCl_2 ($r=0.72$), MgSO_4 ($r=0.69$), NaCl ($r=0.69$), CaSO_4 ($r=0.67$) and NH_4NO_3 ($r=0.66$) were formed in the studied area during the neutralization processes of the precipitation samples. The atmospheric ammonia may have originated from the use or the production of fertilizers, while the compounds with sulfate and nitrate may be formed in the atmospheric water droplets by scavenging of aerosols and photochemical reaction of gaseous species transported from Bangkok (Yoshizumi et al., 1996). The partial dissolution of carbonate mineral such as CaCO_3 is the most important reaction affecting the rainwater composition viewed by the neutralization factor of Ca. The correlation of NO_3^- and SO_4^{2-} is strong ($r=0.78$) indicating their origin from anthropogenic sources. Similarly, a strong correlation was seen between Ca^{2+} and Mg^{2+} ($r=0.86$), suggesting the common source of these ions from natural source (crustal origin). NH_4^+ and SO_4^{2-} ($r=0.73$) were correlated more closely than that with NO_3^- ($r=0.66$). This is in agreement with the observed ammonium/sulfate/nitrate system, whereby the available ammonia will first react with

H_2SO_4 to form $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and NH_4HSO_4 , and then the remaining ammonia will be taken by HNO_3 to form NH_4NO_3 (Seinfeld, 1986). Moreover, NH_4NO_3 can be evaporated due to the high temperature in the tropical climate (Yoshizumi et al., 1985). The correlation between NH_4^+ and Ca ($r=0.64$) reflect the influence of agricultural activity. Major source of NH_4^+ was probably the use of fertilizers in the agricultural activities since the rice paddy fields were still predominant in this area during 2001-2004. Cluster analysis was also applied to the major ions in this study to confirm the association of potential sources to the chemical composition of the rainwater samples. Cluster analysis is an exploratory data analysis tool which aims at sorting different objects into groups in a way. In our case, Ward's method was applied using correlation coefficients between 8 components i.e., Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , K^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} . This method uses an analysis of variance approach to evaluate the distances between clusters. In short, it attempts to minimize the sum of squares of any two clusters that can be formed at each step. The results of acidic rainwater ($\text{pH}<5.6$) showed close association between sulfuric acid and nitric acid, which implies that the photochemical reaction commonly with OH radical in the ambient air is a key process although the formation of sulfuric acid is slower than nitric acid by a factor of about 10. Therefore, the major acidity in and around Bangkok is derived from the secondary formation of sulfuric acid and nitric acid in the ambient air. These acidic species would be at first neutralized by Ca^{2+} and

Mg^{2+} which are derived from the soil. Then K^+ and NH_4^+ would neutralize the residual acidity. The origin of K^+ is considered to be combustion and crust component. NH_4^+ is derived from a cultivation field and partially from motor vehicle exhaust gas after a three-way catalytic converter (Wang wongwattana, 2006 presented in the Third Country Training on Emission Inventory and Modeling for Acid Deposition Assessment, ERTC). The findings by cluster analysis are in good accordance to the justification of source contribution of the components in the rainwater in a suburban area of Bangkok assessed by correlation between ions.

4. Conclusion

An investigation of the chemical composition of precipitation at ERTC, Pathumthani was carried out during 2001-2004 and performed according to the technical document for wet deposition monitoring in East Asia. The purpose of the study is to evaluate the chemical composition of rainwater in the suburban area of Bangkok where the proper data are still limited. The results show that the rainwater at ERTC has the tendency toward acidity with the volume weighted mean pH of precipitation ranged between 4.85 and 5.30. The ionic abundance in the 287 daily precipitation samples ($\mu eq/l$) showed the general trend of $NH_4^+ > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > NO_3^- > Cl^- > Na^+ > H^+ > Mg^{2+} > K^+$. Cations contribute about 58% in the rainwater whereas remaining 42% is formed by anions. Ammonium (NH_4^+) shows the maximum contribution (23%), followed by SO_4^{2-} (21%),

Ca^{2+} (20%) and NO_3^- (13%). The reason of high concentration of NH_4^+ in the precipitation samples may explained by the intensive use of fertilizer and relatively poor treatment of waste from agricultural and residential activities in the suburban area. The result coincides with the fact that the emission of ammonia in the Asian region is several times higher than in the North America and Europe (Erisman et al., 1998). The results of the correlation analysis suggested that $(NH_4)_2SO_4$ ($r=0.73$), $MgCl_2$ ($r=0.72$), $MgSO_4$ ($r=0.69$), $NaCl$ ($r=0.69$), $CaSO_4$ ($r=0.67$) and NH_4NO_3 ($r=0.66$) were the major compounds formed in the precipitation samples. The results of NF calculation revealed that Ca^{2+} and NH_4^+ play an important role in neutralization of precipitation in this area. In addition, the cluster analysis result confirmed that the rain water composition at ERTC during 2001-2004 was influenced by the local terrestrial source, agricultural activity and secondary aerosols due to photochemical reaction of gaseous species transported from Bangkok. The contribution of sea salt to the rainwater in this study can be considered as minor source.

5. REFERENCES

- Chandra Mouli, P., Venkata Mohan, S., And Jayarama Reddy, S., 2005. Rainwater Chemistry At a Regional Representative Urban Site: Influence of Terrestrial Sources on Ionic Com-position. Atmospheric Environment, 39, 999-1008.

- Charasaiya, T., Khunasopa, D., Sukasem, P., and Tabucanon, M. S., 1997. Investigation on acid deposition in Pathumthani Province, Thailand.
- Emberson, L.D., Ashmore, M.R., Murray, F., and Kuylenstierna, J. C. I., 2002. Impacts of Air Pollutants on Vegetation in Developing Countries, Stockholm Environment Institute, Sweden.
- Erisman, J. W., Mennen, M. G., Fowler, D., Flechard, C. R., Spindler, G., Gruner, A., Duyzer, J. H., Ruigrok, W., And Wyers, G. P., 1998. Deposition Monitoring In Europe. Environmental Monitoring And Assessment, 53, 279-295.
- Garivait, H., Polprasert, C., Yoshizumi, K., and Baetz Reutergardh, L., 1999. Airborne polycyclic aromatic hydro-carbons (PAH) in Bangkok urban air I. Characterization and Quantification. Polycyclic Aromatic Compounds, 13, 313-327.
- Garivait, H., Polprasert, C., Yoshizumi, K., and Baetz Reutergardh, L., 2001. Airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Bangkok urban air II. Level and Distribution. Polycyclic Aromatic Compounds, 18, 325-350.
- Howells, G., 1995. Acid Rain and Acid Waters, second edition.
- Hu, G. P., Balasubramanian, R., And Wu, C. D., 2003. Chemical Characterization Of Rainwater At Singapore. Chemosphere, 51, 747-755.
- Iverfeldt, A., Sjoberg, K., Engardt, M., Garivait, H., Robertson, L., Ferm, M., and Peterson, K., 2003. Technical Report on Study of Possible Acidification in Thailand.
- Jacobson, M. Z., 2002. Atmospheric Pollution, Cambridge University Press.
- Keene, W.C. And Galloway, J.N., 1988, The Biogeochemical Cycling Of Formic And Acetic Acids Through The Troposphere: An Overview Of Current Understanding, Tellus 40B, 322-334.
- Khummongkol, P., 1999. Acid deposition problems and related activities, October 6-8, Bangkok, Thailand.
- Khunasopha, D., 1998. Regional Background Acidity and Chemical Composition of Precipitation in Asia, September 30-October 1, 1998, Bangkok, Thailand.
- Kulshrestha, U. C., Sakka, A. K., Srivastava, S. S. And Parashar, D. C., 1996. Investigation Into Atmospheric Deposition Through Precipitation Studies At New Delhi (India). Atmospheric Environment, Vol. 30 (24), 4149-4154.
- Migliavacca, D., Teixeira, E. C., Pires, M., And Fachel, J., 2004. Study Of Chemical Elements In Atmospheric Precipitation In South Brazil. Atmospheric Environment, 38, 1641-1656.
- Migliavacca, D., Teixeira, E. C., Wiegand, F., Machado, A.C.M., And Sanchez, J., 2005. Atmospheric Precipitation And Chemical Composition Of An Urban Site, Guaiba

- Hydrographic Basin, Brazil. *Atmospheric Environment*, 39, 1829-1844.
- Omar Ali Al-Khashman, 2005. Study Of Chemical Composition In Wet Atmospheric Precipitation In Eshidiya Area, Jordan. *Atmospheric Environment*, 39, 6175-6183.
- Radojevic, M. and Harrison R.M., 1992. *Atmospheric Acidity*, ISBN 1-85166-777-6.
- Safai, P. D., Rao, P. S. P., Momin, G. A., Ali, K., Chate, D. M., And Praveen, P. S., 2004. Chemical Composition Of Precipitation During 1984–2002 At Pune, India. *Atmospheric Environment*, 38, 1705-1714.
- Simachaya, S., Laowakul, W., Tabucanon, M.S., Sakata, M., and Tanaka, S., 1993. Acidic deposition in urban area of Thailand. *International Conference on Regional Environment and Climate Change in East Asia*. November 30-December 3, Taipei.
- Singh, S. P., Khare, P., Satsangi, G. S., Lakhani, A., Maharaj Kumari, K., And Srivastava, S. S., 2001. Rainwater Composition At A Regional Representative Site For A Semi-Arid Region Of India. *Water, Air And Soil Pollution*, 127, 93-108.
- Stern, A.C., *Air Pollution*, volume VII, 1986, Third edition, ISBN 0-12-666607-5.
- Seinfeld, J. H., 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley and Sons, New York, vol. 219.
- Wangwongwattana, S. “Cleaner Fuel and Vehicle Emission in Thailand”. *Proceedings of the Third Country Training on Emission Inventory and Modeling for Acid Deposition Assessment*, January 15–February 3, 2006, ERTC, Thailand.
- Technical Documents for Wet Deposition Monitoring In East Asia, Acid Deposition Monitoring Network In East Asia (EANET), March 2000.
- The Joint Graduate School of Energy and Environment, contract Thailand Research Fund, 2006. “Policy Research for Promoting the Development and Utilization of Renewable Energy and the Improvement of Energy Efficiency in Thailand” Project Progress Report No.1.
- Yoshizumi, K. And Hoshi, A., 1985. Size Distribution Of Ammonium Nitrate And Sodium Nitrate In Atmospheric Aerosols. *Environ. Sci. Technol.*, 19, 258-261.
- Yoshizumi, K., Ishibashi, Y., Garivait, H., Paranamara, M., Suksomsank, K., And Tabucanon, M. S., 1996. Size Distributions And Chemical Composition Of Atmospheric Aerosols In A Suburb Of Bangkok, Thailand. *Environmental Technology*, 17, 777-782. 🍃



งานวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีด้านเสียง และความสั่นสะเทือน



- ผลกระทบด้านเสียงจากท่าอากาศยานในประเทศไทย
Aircraft Noise problem in Thailand



ผลกระทบด้านเสียงจากท่าอากาศยานในประเทศไทย Aircraft Noise problem in Thailand

รณพันธ์ สุกสาธิต*, นัฐพงษ์ จันทรสมบัติ*, มนต์รี จันเล็ก*, ศิวฤทธิ์ ไรจนสีมานนท์*,
อำนวยการชัย คงดี*, เวชฎาพร รอดพิพัฒน์*, สุโรชา พูลสวัสดิ์**, สมศักดิ์ ชเนงาม**,
ณัฐพล สุทธิพงษ์**

Thanaphan Suksaard*, Nattapong Chansombat*, Montri Chanlek*,
Siwarit Rojanasemanont*, Amnuaychai concdee*,
Jadsadaporn Lodpipat*, Surocha phoolsawat**, Somsak chanangam**,
Nattaphon Suttiiphong**



บทคัดย่อ

จากอัตราการเจริญเติบโตของสายการบินอย่างรวดเร็วใน
รอบ 5 ปีที่ผ่านมา ส่งผลทำให้ท่าอากาศยานทุกแห่งของประเทศไทย
มีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มขึ้น เพื่อรองรับกับความต้องการในการเดินทาง
ที่สะดวกและรวดเร็ว จากจำนวนเที่ยวบินที่เพิ่มขึ้นนี้ก่อให้เกิด
ปัญหาด้านเสียงรบกวนจากการขึ้นและลงของเครื่องบิน ซึ่งส่งผล
กระทบโดยตรงต่อสุขภาพและการพักผ่อนนอนหลับ ตลอดจน
สุขภาพการได้ยินของประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบท่าอากาศยาน ซึ่งใน
ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีแนวทางปฏิบัติ ในการจัดการการใช้

ประโยชน์ที่ดินบริเวณโดยรอบท่าอากาศยานอย่างชัดเจน จึงมีเรื่องร้องเรียนจากประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวเป็น
จำนวนมาก ประกอบกับยังไม่มีมาตรฐานเกี่ยวกับเสียงรบกวนจากเครื่องบิน จึงทำให้การแก้ไขปัญหาผลกระทบด้านเสียงจาก
อากาศยานไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ร่วมกับ
สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ จึงได้ร่วมกันศึกษาผลกระทบด้านเสียงบริเวณท่าอากาศยานของ
ประเทศไทย ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าท่าอากาศยานที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 20,000 เที่ยวบินต่อปี ส่งผลกระทบด้านเสียงต่อ
ชุมชนโดยรอบท่าอากาศยาน ทั้งนี้ยังได้ศึกษาวิธีการตรวจวัดเสียงจากอากาศยาน แบบตรวจวัด ค่า Sound Exposure Level
(SEL) แล้วนำมาคำนวณหาค่าเส้นทำนายระดับเสียง Noise Exposure Forecast, NEF สามารถใช้แทนวิธีการตรวจวัด
แบบ Effective Perceived Noise Level (EPNL) ที่มีการคำนวณซับซ้อนได้ และจากการทดสอบแบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากท่าอากาศยาน (INM 6.2) พบว่ามีความแม่นยำพอประมาณในการคาดการณ์ระดับเสียง
จากท่าอากาศยานในประเทศไทย

คำสำคัญ: เสียงจากอากาศยาน, เส้นทำนายระดับเสียง, ค่าระดับเสียงเทียบเท่าใน 1 นาที

* ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion
** สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ
Air quality and noise management Bureau, Pollution Control Department

Abstract

After the airline industry has been rapidly growing up over the past 5 years, the aircraft movement of all airports in Thailand also has been increased in order to support the demands of air passengers. This increasing is the cause of aircraft noise during takeoff and landing which affected the health especially the hearing of people who lived nearby the airport. Now, there is no guideline for airport land use management in Thailand. Therefore, many people had complained about aircraft noise. In addition, there is also no aircraft noise standard. So, Aircraft noise is still a serious problem. The Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion cooperated with Air Quality and Noise Management Bureau, Pollution Control Department had carried out the study on aircraft noise effect of the airports in Thailand. As the result, the airport of the aircraft movements more than 20,000 flights a year face with the noise pollution especially in the area around the airport. Moreover, this study indicated that calculation method for Noise Exposure Forecast (NEF) from sound exposure level (SEL) can be used instead of effective perceived noise level (EPNL) which is a complicated method. The accuracy of the Integrated Noise Model (INM 6.2) for noise exposure forecast was fair enough for aircraft noise prediction in Thailand.

Keywords: Aircraft Noise, Effective Perceived Noise Level (EPNL), Sound Exposure Level (SEL), Noise Exposure Forecast (NEF)

1. บทนำ

ปัญหามลพิษด้านเสียงจากอากาศยานเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบท่าอากาศยาน ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานเกี่ยวกับเสียงรบกวนจากอากาศยาน จึงประสบปัญหาในการป้องกันและแก้ไขปัญหาเรื่องเสียงให้กับชุมชนโดยรอบศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ร่วมกับสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ จึงได้ดำเนินการโครงการศึกษาผลกระทบด้านเสียงจากท่าอากาศยาน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบด้านเสียงจากท่าอากาศยานตามจำนวนเที่ยวบิน โดยศึกษาเปรียบเทียบการดำเนินการของท่าอากาศยานแต่ละแห่งมีผลกระทบต่อค่าระดับเสียงในพื้นที่ชุมชนโดยรอบท่าอากาศยานอย่างไร ทั้งนี้ในการศึกษาได้ตรวจวัดระดับเสียงจากท่าอากาศยานขนาดต่างๆ จำนวน 8 แห่ง ได้แก่ ท่าอากาศยานภูเก็ต หาดใหญ่ สมุย เชียงใหม่ ขอนแก่น กระบี่ และนครพนม จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่าค่าระดับเสียงในพื้นที่โดยรอบท่าอากาศยานแต่ละขนาดมีอยู่ในระดับใดและส่งผลกระทบต่อชุมชนที่อยู่โดยรอบอย่างไร รวมทั้งได้ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่

นำมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมว่ามีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด ตลอดจนได้แนวทางวิธีการตรวจวัดเสียงรบกวนจากอากาศยาน เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงจากอากาศยานที่ลุ่มฤทธิ์ผลต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าระดับเสียงจากอากาศยานพร้อมทั้งศึกษาค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับความรุนแรงของเสียงจากอากาศยานตลอดจนศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากการจราจรทางอากาศ
2. วางแผนการวิจัยโดยการเลือกท่าอากาศยานที่จะใช้ในการศึกษา
3. กำหนดจุดตรวจวัดเสียงบนแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 โดยมีจุดตรวจวัดทั้งภายในท่าอากาศยานจำนวน 2 จุด และจุดตรวจวัดภายนอกท่าอากาศยานและในชุมชนที่อยู่ในแนวขึ้น และลงของเครื่องบิน
4. ออกสำรวจและติดตั้งเครื่องมือวัดเสียงรวมทั้งบันทึกข้อมูลเบื้องต้น และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดตรวจวัดระดับเสียง



ภาพแสดงการตรวจวัดเสียงจากท่าอากาศยาน

5. ตรวจวัดระดับเสียงแบบต่อเนื่อง 7 วัน สำหรับทุกท่าอากาศยาน เพื่อให้ครบรอบตารางการบิน ซึ่งโดยปกติจะกำหนดตารางการบินเป็นรายสัปดาห์ สำหรับค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการตรวจวัด คือ $L_{eq}(24 \text{ hrs.})$ DNL และ EPNL โดยในการตรวจวัดใช้การตรวจวัดแบบเหตุการณ์เดี่ยว (Single Event) และการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

6. วิเคราะห์ข้อมูลระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดประกอบกับตารางการบินที่ได้จากห้องบังคับการบิน

7. เตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (INM 6.2) โดยใช้ข้อมูลการบินเดียวกับข้อมูลที่นำไปวิเคราะห์ค่าระดับเสียงในข้อ 6 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ ได้แก่ พิกัดจุดตรวจวัด พิกัดทางวิ่ง จำนวนเที่ยวบิน เส้นทางการบิน ตลอดจนชนิดของเครื่องบินที่ขึ้น-ลง

8. หาสมการความสัมพันธ์ NEF ที่ได้จาก การตรวจวัด และค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (INM 6.2)

9. ประเมินผลกระทบด้านเสียงของท่าอากาศยานแต่ละแห่งต่อชุมชนโดยรอบท่าอากาศยาน

2.2 การวิเคราะห์และแปลผล

จากผลการตรวจวัดระดับเสียงและข้อมูลการบินที่ได้ นำมาวิเคราะห์และแปลผลดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลการบินเพื่อหาจำนวนเที่ยวบินในแต่ละวัน สัดส่วนการใช้ทางวิ่ง สัดส่วนเครื่องบินแต่ละชนิดที่ใช้บริการที่ท่าอากาศยานต่างๆ

2. วิเคราะห์ค่าระดับเสียงทั่วไปโดยวิเคราะห์ ค่า $L_{eq} 24$ ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยระดับเสียงใน 7 วัน ของจุดตรวจวัดต่างๆ โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \right] \text{ หน่วย เดซิเบล(เอ)}$$

เมื่อ n คือจำนวนครั้งของการวัด

L_i คือระดับเสียงที่ i

3. วิเคราะห์ค่าระดับเสียง L_{dn} หรือ DNL เฉพาะเหตุการณ์เครื่องบิน โดยใช้ค่า sound exposure level (SEL) ที่ได้จากการตรวจวัดเสียงของเครื่องบินมาคำนวณโดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$L_{dn} = \bar{L}_{ex} + 10 \log N - 49.4$$

เมื่อ $N = (N_d + 10N_n)$

N_d = จำนวนเหตุการณ์เสียงจากเครื่องบินทั้งหมดในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 22.00 น.

N_n = จำนวนเหตุการณ์เสียงจากเครื่องบินทั้งหมดในช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 07.00 น.

$\bar{L}_{ex}$ = ค่าเฉลี่ยพลังงานของค่า L_{ex} ของเหตุการณ์เสียงเดียว

ซึ่ง ค่า L_{ex} คือ sound exposure level (SEL) ได้จากการตรวจวัดค่าเหตุการณ์เสียง หรือสามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$L_{ex} \cong L_{max} + 10 \log_{10} T/2$$

เมื่อ L_{max} คือ ค่าระดับเสียงสูงสุดจากการตรวจวัดโดยใช้วงจรถ่วงน้ำหนัก A และตั้งการตอบสนองของเครื่องแบบ slow และ T คือ ค่าระยะเวลาของเหตุการณ์เสียงจากเครื่องบินในช่วง $L_{max} - 10$ มีหน่วยเป็นวินาที

4. วิเคราะห์ค่า L_{eq} 24 ชั่วโมงของเหตุการณ์เฉพาะเครื่องบิน โดยใช้สมการการคำนวณดังนี้

$$L_{eq} = \bar{L}_{ex} + 10 \log N - 49.4$$

เมื่อ N = จำนวนเหตุการณ์เสียงจากเครื่องบินทั้งหมดในหนึ่งวัน

$\bar{L}_{ex}$ = ค่าเฉลี่ยพลังงานของค่า L_{ex} ของเหตุการณ์เสียงเดียว

5. วิเคราะห์หาค่า NEF จากค่า L_{dn} หรือ DNL ถึงแม้ว่าค่า L_{dn} ไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า NEF แต่สามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่าง L_{dn} และ NEF ได้จากสมการ

$$L_{dn} \cong NEF + 35$$

สมการนี้ใช้ได้กับสถานการณ์เสียงของเครื่องบินที่บินผ่าน (Fly Over) โดยทั่วไปค่าความสัมพันธ์นี้มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 3 เดซิเบล

6. วิเคราะห์หาค่า NEF จากค่า Effective Percieved Noise Level (EPNL) ที่ได้จากการตรวจวัดโดยสมการดังนี้

$$NEF_{ij} = L_{EPN,ij} = 10 \log_{10} \left[\frac{n_{Dij}}{K_D} + \frac{n_{Nij}}{K_N} \right] - C$$

$$NEF = 10 \log_{10} \sum_{ij} \text{anti} \log \left[\frac{NEF_{ij}}{10} \right]$$

เมื่อ $L_{EPN,ij}$ = Effective Perceived Noise Level

หน่วยเป็น PNdB

$$L_{EPN} = L_{PN} + D + T$$

i = ชนิดของเครื่องบิน

j = ทางวิ่งและเส้นทางการบินที่ใช้

n_D = จำนวนเที่ยวบินในเวลากลางวัน (07.00-22.00 น.)

n_N = จำนวนเที่ยวบินในเวลากลางคืน (22.00-07.00 น.)

K_D = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 20

K_N = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 1.2

C = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 88

NEF_{ij} = ค่า NEF ของเครื่องบินในแต่ละเส้นทางการบิน

L_{PN} = Noisiness มีหน่วยเป็น Noys

$$D = 10 \log_{10} \frac{t_D}{15}$$

T = 2.5 dB

t_D = ระยะเวลาที่เกิดเสียงเครื่องบิน

3. ผลการศึกษา

3.1 สถานการณ์มลพิษทางเสียงโดยรอบท่าอากาศยาน

จากผลการตรวจวัดระดับเสียงจากท่าอากาศยานทั้ง 8 แห่ง ได้แก่ ท่าอากาศยานภูเก็ต ท่าอากาศยานเชียงใหม่ ท่าอากาศยานสมุย ท่าอากาศยานเชียงใหม่ ท่าอากาศยานนครพนม ท่าอากาศยานขอนแก่น ท่าอากาศยานกระบี่ และท่าอากาศยานหาดใหญ่ สามารถสรุปสถานการณ์มลพิษทางเสียงดังแสดงในตารางที่ 1

จะเห็นได้ว่า ขนาดพื้นที่ NEF>30 จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการจราจรทางอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการจัดทำแผนที่ระดับเสียงเฉลี่ย 7 วันของแต่ละท่าอากาศยานพบว่า ท่าอากาศยานที่มีปริมาณเที่ยวบินมากกว่า 64 เที่ยวบินต่อวัน มีปัญหาเรื่องเสียงรบกวนจากเครื่องบินต่อชุมชนโดยรอบท่าอากาศยาน เนื่องจากขนาดของพื้นที่ NEF>30 บางส่วนอยู่ในเขตพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชนโดยรอบ หากแบ่งระดับความรุนแรงของสถานการณ์มลพิษทางเสียงจากอากาศยานโดยใช้ปริมาณการจราจรทางอากาศเป็นเกณฑ์ อาจสรุปได้ว่า หากท่าอากาศยานใดมีปริมาณการจราจรมากกว่า 20,000 เที่ยวบินต่อปีจะมีขนาดพื้นที่ NEF>30 มีขนาดมากกว่า 1 ตารางกิโลเมตรครอบคลุมในแนวเหนือและใต้ของทางวิ่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิด

ผลกระทบด้านเสียงต่อชุมชนที่อยู่โดยรอบท่าอากาศยานแห่งนั้น

3.2 การตรวจวัดระดับเสียงจากอากาศยาน

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดเสียงจากอากาศยานของประเทศจึงได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการตรวจวัดเสียงแบบต่างๆ มาใช้กับการตรวจวัดเสียงจากเครื่องบิน ตัวอย่าง เช่น การใช้วิธีการตรวจวัดเสียงรบกวน หรือ การตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อมทั่วไป Leq 24 ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังที่ได้กล่าวมานี้มิได้สะท้อนปัญหาของเสียงรบกวนจากเครื่องบินที่แท้จริง เนื่องจากการตรวจวัดที่มีลักษณะรวมแหล่งกำเนิดเสียงทุกแหล่ง สำหรับวิธีการที่ใช้กันแพร่หลายในต่างประเทศเกี่ยวกับการตรวจวัดเสียงจากเครื่องบินนี้ นิยมใช้วิธีตรวจวัดค่า Sound Exposure Level (SEL) หรือค่า Effective Perceived Noise Level (EPNL) ซึ่งเป็นการตรวจวัดเสียงเฉพาะเหตุการณ์ของเครื่องบินโดยไม่คิดรวมแหล่งกำเนิดเสียงอื่นๆ ทั้งนี้ในการตรวจวัดระดับเสียงจากโครงการท่าอากาศยานแต่ละครั้ง จะต้องยืนยันผลการตรวจวัดนั้นให้อยู่ในรูปของเส้นทำนายค่าระดับเสียงที่ใช้กันทั่วไป เช่น NEF DNL Leq ซึ่งในประเทศไทยการประเมินผลกระทบด้านเสียงกำหนดให้ใช้เส้นทำนายระดับเสียง NEF ซึ่งวิธีการตรวจวัด เพื่อยืนยันผล NEF นี้ จะต้องใช้วิธี

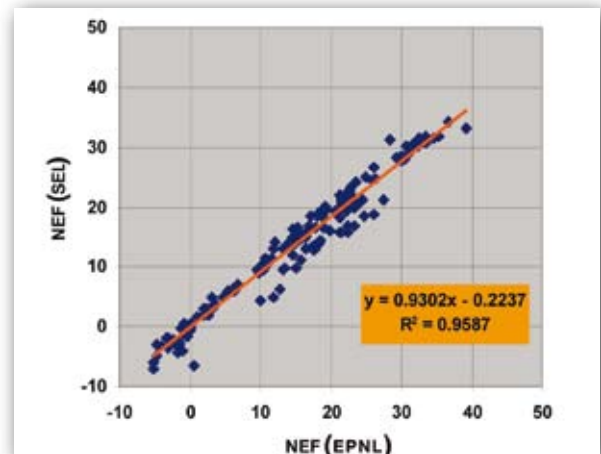
ตารางที่ 1 ปริมาณการจราจรทางอากาศและพื้นที่ NEF>30 ของแต่ละท่าอากาศยาน

ลำดับที่	ปริมาณเครื่องบินต่อปี (เที่ยว)	ปริมาณเครื่องบินต่อวัน (เที่ยว)	ขนาดพื้นที่ NEF>30 (ตร.กม.)
1	25,400	70	2.57
2	23,516	64	1.35
3	17,469	48	0.87
4	5,526	15	0.35
5	1,146	3	0
6	9,125	25	0.50
7	4,161	11	0.30
8	2,190	6	0.32

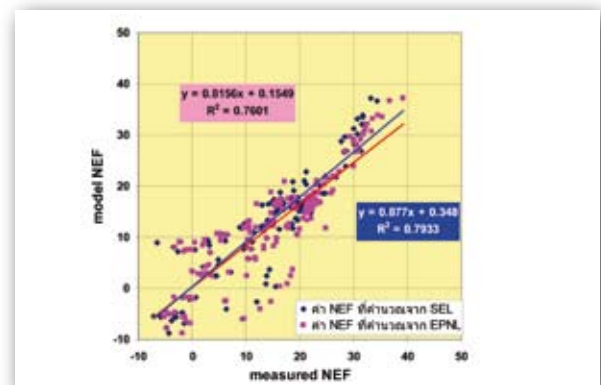
ตรวจวัดแบบ EPNL ซึ่งเป็นตัวแปรพื้นฐานในการคำนวณค่า NEF แต่เนื่องจากวิธีการตรวจวัดค่า EPNL นั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและต้องมีอุปกรณ์แยกความถี่เสียงประกอบกับเครื่องมือมีราคาแพงกว่าเครื่องมือวัดเสียงธรรมดาหลายเท่า สำหรับวิธีการตรวจวัดแบบ SEL นั้นไม่ยุ่งยากเหมือน EPNL เพราะไม่ต้องใช้อุปกรณ์แยกความถี่เสียงเพียงแต่อาศัยอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติสำหรับการศึกษาวิจัยนี้ได้ทดสอบวิธีการตรวจวัดแบบ SEL เปรียบเทียบกับค่า EPNL ของท่าอากาศยาน 8 แห่งสรุปได้ว่าสามารถใช้ค่า SEL เป็นตัวแทน ของ EPNL ในการคำนวณค่า NEF ได้ เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ R^2 มีค่ามากกว่า 0.9 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าน้อยประมาณ 2.06 ดังแสดงในภาพที่ 1

3.3 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การการณ์ระดับเสียงจากท่าอากาศยาน

ผลกระทบด้านเสียงจากโครงการท่าอากาศยานจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการกำหนดพื้นที่ หรือขอบเขตที่ได้รับผลกระทบซึ่งในกรณีที่พื้นที่เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่การตรวจวัดเสียงไม่สามารถดำเนินการได้ทั้งหมด จำเป็นต้องใช้แบบจำลองฯ ในการคาดการณ์ผลกระทบ แล้วจึงกำหนดเป็นเส้นทำนาระดับเสียงจากโครงการท่าอากาศยานหรือที่เรียกว่า Noise Exposure Forecast, (NEF) ปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงจากท่าอากาศยานหลายโปรแกรม แต่ที่นิยมใช้คือ Integrated Noise Model, INM พัฒนาโดย Federal Aviation Administration ของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งมีความเหมาะสมในการคาดการณ์ระดับเสียงจากท่าอากาศยานเครื่องบินพาณิชย์ เนื่องจากมีฐานข้อมูลเสียงของเครื่องบินที่ครอบคลุม อย่างไรก็ตามการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการคาดการณ์ระดับเสียงควรมีการทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองฯ ทั้งนี้เพื่อให้การคาดการณ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทดสอบความ



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่คำนวณจาก SEL และ NEF ที่คำนวณจาก EPNL ของท่าอากาศยาน 8 แห่ง



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองฯ ค่า NEF ที่คำนวณจาก SEL และค่า NEF ที่คำนวณจาก EPNL ของท่าอากาศยาน 8 แห่ง

แม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ INM ฉบับ 6.2 โดยทดสอบเปรียบเทียบกับค่าระดับเสียง NEF ที่ได้จากการตรวจวัดค่า SEL และ NEF ที่ได้จากการตรวจวัดค่า EPNL สรุปโดยภาพรวมหากใช้แบบจำลองฯ ในการคาดการณ์ระดับเสียงจากท่าอากาศยานทุกขนาด พบว่า มีความแม่นยำพอประมาณ โดยมีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.79 และ 0.75 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เท่ากับ 4.5 และ 4.9 สำหรับ NEF ที่คำนวณจาก SEL และ NEF ที่คำนวณจาก EPNL ตามลำดับ จากจำนวนข้อมูล 70 ตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 2

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของเสียงจากเครื่องบินพาณิชย์ซึ่งไม่รวมถึงผลกระทบของเสียงอันเนื่องมาจากเสียงของเครื่องบินทหาร ซึ่งมีความรุนแรง (ในระยะเวลาสั้นๆ) มากกว่าเครื่องบินพาณิชย์หลายเท่าโดยเฉพาะเครื่องบินขับไล่ จึงควรมีการศึกษาผลกระทบของเสียงเครื่องบินทหารที่มีต่อชุมชน โดยเฉพาะท่าอากาศยาน ที่มีกองบินและมีการฝึกบินเป็นประจำและอยู่ในเขตเมือง เช่น ท่าอากาศยานอุบลราชธานี และท่าอากาศยานอุดรธานี เป็นต้น สำหรับแผนที่ระดับเสียงเฉลี่ย 7 วัน ที่ได้จัดทำขึ้นจะมีประโยชน์ในการจัดการการใช้ที่ดินสำหรับอนาคต ทั้งนี้จะได้จัดทำแผนที่ระดับเสียงขนาด 1:4000 ต่อไปเพื่อแสดงให้เห็นสภาพพื้นที่ได้อย่างชัดเจน

สำหรับวิธีการตรวจวัดระดับเสียงจากเครื่องบินที่ได้ศึกษาวิจัยในครั้งนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยาน ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับนำไปใช้ในการติดตามสถานการณ์เสียงโดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นท่าอากาศยานขนาดใหญ่ที่มีทางวิ่งมากกว่า 1 ทางวิ่ง โดยมีเที่ยวบินเฉลี่ยวันละประมาณ 700 เที่ยวบิน

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียงบริเวณท่าอากาศยานซึ่งผลการทดสอบสรุปได้ว่ามีความแม่นยำพอประมาณนั้น ควรมีการศึกษาต่อไปว่าจะปรับแก้อย่างไรจึงจะคาดการณ์ได้แม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียงตลอดจนเจ้าหน้าที่ของกรมการขนส่งทางอากาศและบริษัทท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียงบริเวณท่าอากาศยาน

ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาและบริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัย และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งมีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ประธาน อารีพล. 2549. ตัวอย่างแนวความคิดการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมที่สนามบินมิวนิค (เฉพาะเรื่องเสียง). เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องเทคนิคการประเมินค่าระดับเสียงจากการจราจรทางอากาศ. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมปทุมธานี.

บริษัทท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งใหม่. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (สืบเนื่องจากการเพิ่มจำนวนผู้โดยสารในปีดำเนินการ)

Evans, G. 1998. "Airport Noise is harmful to the health and well-being of children and may cause lifelong problem." (Online). http://www.news.cornell.edu/releases/march98/noise/stress_ssl.html, July 12, 2006.

ISO3891-1978(E) Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground.

United States Federal Aviation Administration, Noise Control and Compatibility for Airport, AC 150/5020-1

David A Bies and Colin H. Hansen. 2003. Engineering Noise Control Theory and Practice. Third Edition. Spon Press, London

Federal Aviation Administration. 1999. Report on Land Use Compatibility and Airports. Federal Aviation Administration USA.

- Health Canada. 2003. Aircraft Noise in Vicinity of Airports. (Online) www.hc-sc.gc.ca/iyh-vsv/alf_formats/cmcd-dcmc/pdf/AircraftNoiseE.pdf
- Ministry of the Environment Japan. 2007. "Environmental Quality Standards for Aircraft Noise". (Online)
- ICAO Annex16- Environmental protection
- Queen Mary University of London. 2005. "Children's reading and memory affected by exposure to aircraft noise" (Online).
- Winnipeg Airport Authority.2007. "Noise Abatement" (Online). <http://www.waa.ca>.
- International Civil Aviation Organization. 2006. "Environmental (ENV) Unit Aircraft Noise." (Online) <http://www.icao.int/icao/en/env/noise.htm>. 

งานวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีด้านสารพิษ



- การศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพและอนามัยของเกษตรกรสวนส้มพื้นที่ลุ่มน้ำฝางจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช
Pesticide Risk Assessment in Tangerine Orchards on Fang Basin, Chiang Mai, Thailand.
- การทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวา (*Neochetina* spp.) ในการกำจัดผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน
Efficacy Test of Water Hyacinth Weevil (*Neochetina* spp.) on Controlling of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Tachin Basin Thailand
- การเคลื่อนย้ายมลพิษของสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
Transportation of toxic substance of hydrocarbon group to aquatic environment



การศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพและอนามัยของ เกษตรกรสวนส้มพื้นที่ลุ่มน้ำฝางจากการใช้สาร กำจัดศัตรูพืช

Pesticide Risk Assessment in Tangerine Orchards on
Fang Basin, Chiang Mai, Thailand.

ชวนพิศ บุญย้อย วรณวิมล กิรสิริวงศ์ พนมพร วงษ์ปาน วิทยา แก้วประสม และ อัคร คำเมือง
C. Boonyoy, V. Patarasiriwong, P. Wongpan, W. Kaewprasom and A. Kam-Muang

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate) จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ คลอไพริฟอส (chlorpyrifos) ไดเมทโฮเอท (dimethoate) และอีไรออน (ethion) และกลุ่มคาร์บาเมท (carbamate) จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ คาร์เบนดาซิม (carbendazim) ฟิโนบูคาร์บ (fenobucarb) อะมิทราซ (amitraz) คาร์บาริล (carbaryl) แคปแทน (captan) คาร์โบซัลแฟน (carbosulfan) และเมทโฮมิล (methomyl) ในตัวอย่างน้ำ ดินและอากาศ บริเวณสวนส้มในอำเภอไชยปราการ อำเภอฝาง และอำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 32 สวน โดยเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ ช่วงฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต ระหว่างวันที่ 10 - 28 มกราคม 2548 และช่วงหลังฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต ระหว่างวันที่ 13 มีนาคม - 1 เมษายน 2548 จากการแบ่งขนาดพื้นที่เพาะปลูกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 10 ไร่) ขนาดกลาง (พื้นที่ตั้งแต่ 10 ถึง 50 ไร่) และขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) ตามมาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของคณะกรรมการแก้ไขปัญหาจากการประกอบกิจการสวนส้มในพื้นที่อำเภอฝาง อำเภอไชยปราการ และอำเภอแม่อาย โดยทำการเก็บตัวอย่างจากสวนขนาดเล็ก จำนวน 9 สวน สวนขนาดกลาง จำนวน 14 สวน และสวนขนาดใหญ่ จำนวน 9 สวน การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บจากแหล่งน้ำในพื้นที่สวนที่เกษตรกรใช้ดื่ม การเก็บตัวอย่างดินจะเก็บในพื้นที่เพาะปลูก การเก็บตัวอย่างอากาศทำการเก็บบริเวณตัวของผู้พ่นสารในขณะที่ทำการพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ผลการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช พบว่าในฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตตัวอย่างดินมีการปนเปื้อนของสารไดเมทโฮเอท อีไรออน และคาร์บาริล ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.051-0.370, 0.027-10.049 และ 0.015-0.077 มก./กก. ตามลำดับ ตัวอย่างอากาศพบการปนเปื้อนของไดเมทโฮเอทที่ความเข้มข้น 0.009 มก./ลบ.ม. สำหรับนอกฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่าตัวอย่างดินมีการปนเปื้อนของไดเมทโฮเอทและอีไรออน ที่ความเข้มข้น 0.139 และ 0.168-19.48 มก./กก. ตามลำดับ ในตัวอย่างอากาศมีการปนเปื้อนของไดเมทโฮเอท คลอไพริฟอส และอีไรออน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.004, 0.002-0.008 และ 0.006-0.166 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของสารเคมีที่ตรวจพบทั้งหมดนี้อยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย U.S. EPA region 9 สำหรับผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของเกษตรกร จากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชชนิดออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมทพบว่ายังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

คำสำคัญ: สารกำจัดศัตรูพืช การประเมินความเสี่ยง สวนส้ม ลุ่มน้ำฝาง ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมท

Abstract

In order to assess the potential health risk associated with organophosphate and carbamate due to agricultural practicing in tangerine orchards in Chaiprakarn, Fang, and Mae-Ai Districts, Chiang Mai province, Thailand, air, water and soil samples were collected during pesticide applications twice, which were during harvesting season (January 10-28, 2005) and out of harvesting season (March 13 - April 1, 2005). Sampling sites were selected according to the area size of tangerine orchards which are small (<10 rai), medium (10-50 rai) and large (>50 rai) size for 9, 14 and 9 sites, respectively. The samples were analyzed for 2 groups of pesticide including organophosphate (i.e. chlopyrifos, dimethoate and ethion) and carbamate (i.e. carbendazim, fenobucarb, amitraz, carbaryl, captan, carbosulfan and methomyl). Daily practicing of pesticide applicators was gathered in order to assess the health risk. Results of pesticide analysis of samples collected during harvesting season showed that dimethoate, ethion, and carbaryl were detected in soil samples in the range of 0.051-0.370, 0.027-10.049 and 0.015-0.077 mg/kg, respectively, and dimethoate was found in air samples of 0.009 mg/m³. For sample collected out of harvesting season, dimethoate and ethion found in soil samples were 0.139 and 0.168-19.48 mg/kg, respectively. Dimethoate, chlorpyrifos and ethion found in air samples were 0.004, 0.002-0.008 and 0.006-0.166 mg/m³, respectively. Pesticide concentrations detected in samples did not exceed the allowable value issued by the U.S. EPA region 9. The analysis of health risk estimates indicated that the pesticides did not pose a direct hazard to human health.

Keywords: Pesticides, Risk Assessment, tangerine, Chiang Mai, organophosphate, carbamate

1. บทนำ

ลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอไชยปราการ อำเภอฝาง และอำเภอแม่อาย เป็นที่ราบมีภูเขาล้อมรอบ มีปริมาณฝนตกมาก อากาศเย็นชื้น และมีแหล่งน้ำบริสุทธิ์ ด้วยเหตุนี้ลุ่มน้ำฝางจึงเป็นพื้นที่ปลูกส้มแหล่งใหญ่ของประเทศไทย และเนื่องจากส้มเป็นพืชที่เสี่ยงต่อศัตรูทั้งโรคและแมลงหลายชนิดจึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการดูแลรักษา รวมถึงการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มต่างๆ สลับกันไปเกือบทั้งปี ผลของการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้น นอกจากทำให้เกิดปัญหาด้านมลพิษตกค้างในดิน น้ำ และอากาศแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยเฉพาะเกษตรกรผู้สัมผัสสารเคมีโดยตรง ทั้งนี้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอาจเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ทั้งทางปาก ทางผิวหนัง และทางการหายใจ จึงอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งระยะสั้นและระยะยาว เช่น มีผลต่อระบบผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ ระบบการหมุนเวียนโลหิต ระบบทางเดินอาหาร ระบบกล้ามเนื้อ และระบบประสาท^[2]

จากปัญหาความขัดแย้งเนื่องจากกิจกรรมสวนส้ม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 นั้น กรมควบคุมมลพิษได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำฝาง พบว่าผลกระทบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทุกชนิดไม่สูงเกินมาตรฐาน อย่างไรก็ตามเกษตรกรก็ยังคงมีความเสี่ยงจากการได้รับผลกระทบจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอยู่ โดยเฉพาะเกษตรกรซึ่งมีโอกาสสัมผัสกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยตรงในระหว่างการใช้ปฏิบัติการดูแลรักษาสวนส้ม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้จัดทำโครงการศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของเกษตรกรสวนส้มในพื้นที่ลุ่มน้ำฝางจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชขึ้น เพื่อให้ทราบถึงระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยที่เกิดจากปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ เพื่อที่จะเป็นการเฝ้าระวังและเตือนภัยแก่เกษตรกรและใช้เป็นแนวทางการจัดทำแผนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษและอนามัยของประชาชนจากการได้รับสาร

เคมีกำจัดศัตรูพืชต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 สถานที่และระยะเวลาเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และอากาศ ในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอไชยปราการ อำเภอฝาง และอำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ รวม 2 ครั้ง คือ ในฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างวันที่ 10-28 มกราคม 2548 และนอกฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างวันที่ 13 มีนาคม-1 เมษายน 2548 จากการแบ่งขนาดพื้นที่เพาะปลูกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 10 ไร่) ขนาดกลาง (พื้นที่ตั้งแต่ 10 ถึง 50 ไร่) และขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) ตามมาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของคณะกรรมการแก้ไขปัญหาจากการประกอบกิจการสวนส้มในพื้นที่อำเภอฝาง อำเภอไชยปราการ และอำเภอแม่อาย โดยเก็บตัวอย่างจากสวนขนาดเล็ก จำนวน 9 สวน สวนขนาดกลาง จำนวน 14 สวน และสวนขนาดใหญ่ จำนวน 9 สวน รวมทั้งสิ้น 32 สวน

2.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และอากาศในพื้นที่เป้าหมายโดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อหรือแหล่งน้ำที่เกษตรกรหรือผู้พ่นสารใช้ดื่ม ซึ่งอยู่ในพื้นที่ปลูกส้ม จำนวน 4 ลิตร ใส่ขวดแก้วสีชา และสุ่มเก็บตัวอย่างดิน (0-15 ซม. จากผิวดิน) จำนวน 3-5 ครั้ง ในแต่ละสถานที่เก็บตัวอย่างนำมาคลุกให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงตักใส่ถุงพลาสติกจำนวน 1 กก. แล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างอากาศจะเก็บบริเวณลำตัวผู้พ่นสารกำจัดศัตรูพืชในขณะที่ทำการพ่นสาร โดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตั้งที่ตัวบุคคล (personal pump) ซึ่งมีอัตราการเร็วในการดูดอากาศของปั๊ม 1 ลิตร/นาที ประกอบ เข้ากับหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (sampler) 2 ชนิด คือ OVS-2 tube: 13-mm quartz filter; XAD-2,



ภาพแสดงการติดตั้งบับพร้อมหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ

270mg/140 mg ซึ่งจะสามารถดูดซับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และ OVS-2 Tube: 13-mm quartz fiber filter; XAD-2, 270mg/140mg ซึ่งจะสามารถดูดซับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตแล้วทำการติดตั้ง บับพร้อมอุปกรณ์ดังกล่าวที่ตัวผู้พ่นสารตั้งแต่เริ่มทำการเตรียมสารกำจัดศัตรูพืชหรือเริ่มพ่นสารจนกระทั่งพ่นสารแล้วเสร็จ ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างอากาศจะใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง หรือดูอากาศได้อย่างน้อย 180 ลิตร/ครั้ง แล้วทำการเก็บรักษาหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่ใช้แล้วไว้ในที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการวิเคราะห์

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลอื่น ๆ

สัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของสวนส้มและผู้พ่นสารโดยใช้แบบสอบถาม เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการจัดการศัตรูพืช (ชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้วัตถุประสงค์ของการใช้ และความถี่บ่อยในการใช้เป็นต้น) การปฏิบัติตน

ของผู้พ่นสารในระหว่างและหลังการพ่นสาร รวมถึงการจัดการวัสดุและบรรจุภัณฑ์เหลือใช้จากกระบวนการผลิตส้ม

2.4 การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

ทำการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate) จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ คลอไพริฟอส (chlorpyrifos) ไดเมโทเอท (dimethoate) และ อีธาออน (ethion) และกลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ คาร์เบนดาซิม (carbendazim) ฟีนอบูคาร์บ (fenobucarb) อะมิทราซ (amitraz) คาร์บาริล (carbaryl) แคปแทน (captan) คาร์โบซัลแฟน (carbosulfan) และเมทโฮมิล (methomyl) ในตัวอย่างดิน น้ำ และอากาศ เนื่องจากสารทั้ง 10 ชนิดดังกล่าวเป็นสารที่เกษตรกรชาวสวนส้มใช้เป็นประจำ และมีการใช้ในระหว่างที่มีการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยส่งตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์ ณ ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

2.5 การประเมินความเสี่ยง

นำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณเพื่อประเมินความเสี่ยงโดยใช้ค่า Hazard Quotient เนื่องจากสารกำจัดศัตรูพืชที่วิเคราะห์ในการศึกษานี้จัดอยู่ในกลุ่มสารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) ซึ่งค่า Hazard Quotient (HQ) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่า chronic daily intake (CDI) ของสารไม่ก่อมะเร็งที่ได้รับและค่า Reference Dose (RfD) ของสารนั้น หรือ

$$HQ = CDI/RfD$$

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_i$$

โดยที่ CDI คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile) ที่ 95 ของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน มีหน่วยเป็น

มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน

RfD หมายถึง ปริมาณสารเคมีที่สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อร่างกาย

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

ผลการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่างดิน น้ำ และอากาศ ที่เก็บจากพื้นที่สวนส้มลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงในตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ในฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนมกราคม 2548) จากตัวอย่างดินจำนวนทั้งหมด 29 ตัวอย่างนั้น มีการปนเปื้อนของสารไดเมทโฮเอท จำนวน 4 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.051-0.370 มก./กก. มีการปนเปื้อนของสารอีไรออน 20 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.027-10.049 มก./กก. และมีการปนเปื้อนของคาร์บาริล 2 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชจากตัวอย่างที่เก็บในฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต (มกราคม 2548)

สารกำจัดศัตรูพืช ที่ตรวจพบ	จำนวนตัวอย่าง			ความเข้มข้นที่พบ	ค่ามาตรฐานโดย U.S. EPA region 9
	ทั้งหมด	ที่พบสาร	คิดเป็นร้อยละ		
ตัวอย่างอากาศ					
ไดเมทโฮเอท	29	1	3.44	0.009 มก./ลบ.ม.	0.73 มก./ลบ.ม.
ตัวอย่างดิน					
ไดเมทโฮเอท	29	4	13.79	0.051-0.370 มก./กก.	12 มก./กก.
อีไรออน	29	20	68.96	0.027-10.049 มก./กก.	31 มก./กก.
คาร์บาริล	29	2	6.88	0.015-0.077 มก./กก.	6100 มก./กก.

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชจากตัวอย่างที่เก็บนอกฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต (มีนาคม ถึง เมษายน 2548)

สารกำจัดศัตรูพืช ที่ตรวจพบ	จำนวนตัวอย่าง			ความเข้มข้นที่พบ	ค่ามาตรฐานโดย U.S. EPA region 9
	ทั้งหมด	ที่พบสาร	คิดเป็นร้อยละ		
ตัวอย่างอากาศ					
ไดเมทโรเอท	31	1	3.22	0.004 มก./ลบ.ม.	0.73 มก./ลบ.ม.
คลอไพริฟอส	31	2	6.44	0.002-0.008 มก./ลบ.ม.	11 มก./ลบ.ม.
อีไรออน	31	5	16.12	0.006-0.166 มก./ลบ.ม.	1.8 มก./ลบ.ม.
ตัวอย่างดิน					
ไดเมทโรเอท	31	1	3.22	0.139 มก./กก.	12 มก./กก.
อีไรออน	31	8	25.80	0.168-19.48 มก./กก.	31 มก./กก.

0.015-0.077 มก./กก. ในตัวอย่างอากาศพบการปนเปื้อนของสารไดเมทโรเอท 1 ตัวอย่างจากทั้งหมด 29 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.009 มก./ลบ.ม. และในช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต (เดือนมีนาคม ถึง เมษายน 2548) พบว่าจากตัวอย่างอากาศทั้งหมด 31 ตัวอย่าง มีการปนเปื้อนของสารไดเมทโรเอท จำนวน 1 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.004 มก./ลบ.ม. มีการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอส จำนวน 2 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.002-0.008 มก./ลบ.ม. และมีการปนเปื้อนของสารอีไรออน จำนวน 5 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.006-0.166 มก./ลบ.ม. สำหรับตัวอย่างดินทั้งหมด 31 ตัวอย่าง มีการปนเปื้อนของสารไดเมทโรเอท จำนวน 1 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.139 มก./กก. และมีการปนเปื้อนของสารอีไรออน จำนวน 8 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.168-19.48 มก./กก. ซึ่งการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบทั้งหมดนี้ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย U.S. EPA region 9^[10] ส่วนตัวอย่างน้ำนั้นไม่

พบว่าการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช

3.2 การประเมินความเสี่ยง

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมตเป็นสารที่ทำงานโดยการยับยั้งเอ็นไซม์ acetylcholinesterase (AChE) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบประสาท ผู้ป่วยที่ได้รับสารเคมีประเภทนี้จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน น้ำตาไหล เหงื่อออก ม่านตาหด ถ่ายปัสสาวะและอุจจาระโดยกลืนไม่อยู่ มีการเกร็งของหลอดลม มีเสมหะมาก บางรายมีอาการกระตุกของกล้ามเนื้อหน้า หน้าตา ลั่น ถ้าอาการรุนแรงจะพบว่าการกระตุกทั่วร่างกาย ผู้ป่วยที่ได้รับสารประเภทนี้มากๆ อาจถึงตายได้เนื่องจากระบบหายใจล้มเหลว

การเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช มี 3 ทาง^[11] คือ

1. ทางผิวหนัง เป็นวิธีที่พบได้บ่อยที่สุด โดยสามารถดูดซึมผ่านผิวหนังปกติได้และจะดูดซึมได้ดียิ่งขึ้นถ้า



ภาพแสดงการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชในสวนส้มพื้นที่ลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่

ผิวหนังมีรอยขีดข่วนหรือเป็นแผล และบริเวณผิวหนังที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อน เช่น ถุงอั้นทะ รักแร้ รูหู หน้าผาก หนังศีรษะ จากการศึกษาครั้งนี้เกษตรกรมีความเสี่ยงสูงในการที่จะได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยทางผิวหนังเพราะต้องจับต้องสารเคมีโดยตรง โดยเฉพาะเกษตรกรที่ไม่ได้ใส่ถุงมือหรือถุงมือชำรุด

2. ทางปอด เกิดจากการหายใจเอาสารเคมีเข้าไป จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย ขนาดของอนุภาค อัตราในการหายใจ รวมทั้งปริมาณของการหายใจ

3. ทางปาก อาจเกิดจากการเจตนากินเพื่อฆ่าตัวตาย หรือโดยการไม่เจตนา เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจ และขาดความระมัดระวัง เช่น รับประทานอาหารหรือสูบบุหรี่ขณะฉีดพ่น หรือเกิดจากอุบัติเหตุ

การคำนวณความเสี่ยงสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง โดยใช้ HQ นั้น เป็นเพียงการเปรียบเทียบปริมาณที่ได้รับกับ RfD เท่านั้น ไม่ใช่ค่าที่แสดงความ

เสี่ยงที่แท้จริงดังเช่น การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (risk characterization) สำหรับสารก่อมะเร็ง แต่นักประเมินความเสี่ยง (risk manager) ก็สามารถใช้ค่า HQ ในการตัดสินใจได้ ถ้า HQ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าสถานการณ์การปนเปื้อนของสารเคมียังไม่รุนแรงจนอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน แต่ถ้า HQ มีค่ามากกว่า 1 ก็ควรจะให้ความสำคัญต่อสถานการณ์การปนเปื้อนของสารเคมี ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนได้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่า HQ ไม่มีความสัมพันธ์ของอันตรายในเชิงเส้นตรง กล่าวคือถ้า HQ ของสารชนิดหนึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ไม่ได้หมายความว่าสารนั้นมีอันตรายมากกว่าสารที่มีค่า HQ เท่ากับ 1 เป็นร้อยเท่า แต่อาจชี้ให้เห็นว่าปริมาณการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายมีค่าสูงกว่าค่า RfD มากน้อยเพียงใด^[1]

โดยการประมาณค่าการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย

**ตารางที่ 3 ผลการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่สวนลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่
 จากการเก็บตัวอย่าง ในฤดูเก็บเกี่ยว (มกราคม 2548) และนอกฤดูเก็บเกี่ยว (มีนาคม - เมษายน 2548)**

อำเภอ	รหัสตัวอย่าง	ขนาดพื้นที่*	ระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง	
			10-28 มกราคม 2548	13 มีนาคม - 1 เมษายน 2548
ไชยปราการ	ช01	กลาง	2.67×10^{-3}	2.18
	ช02	เล็ก	2.06×10^{-3}	-
	ช03	กลาง	-**	-
	ช04	ใหญ่	x***	2.94
	ช05	กลาง	-	-
	ช06	กลาง	-	-
	ช07	เล็ก	1.35×10^{-4}	4.48
	ช08	กลาง	7.73×10^{-3}	0.28
	ช09	เล็ก	x	-
	ช10	กลาง	-	-
ฝาง	ฟ01	เล็ก	3.65×10^{-3}	-
	ฟ02	กลาง	3.65×10^{-3}	-
	ฟ03	ใหญ่	2.86×10^{-4}	7.85×10^{-3}
	ฟ04	ใหญ่	x	-
	ฟ05	เล็ก	-	0.2
	ฟ06	กลาง	1.05×10^{-3}	1.82×10^{-2}
	ฟ07	เล็ก	1.15×10^{-2}	-
	ฟ08	ใหญ่	3.41×10^{-4}	-
	ฟ09	กลาง	-	-
	ฟ10	เล็ก	-	-
	ฟ11	กลาง	-	0.042
แม่ฮาด	ม01	ใหญ่	4.83×10^{-4}	8.42×10^{-4}
	ม02	เล็ก	3.06×10^{-4}	-
	ม03	เล็ก	-	x
	ม04	กลาง	2.1×10^{-4}	-
	ม05	กลาง	-	-
	ม06	กลาง	-	1.40×10^{-3}
	ม07	ใหญ่	1.33×10^{-3}	2.26×10^{-3}
	ม08	กลาง	1.46×10^{-2}	-
	ม09	ใหญ่	0.672	1.74×10^{-3}
	ม10	ใหญ่	-	-
	ม11	ใหญ่	7.16×10^{-4}	-
รวม				

* ขนาดเล็ก คือ น้อยกว่า 10 ไร่ ขนาดกลาง คือ 10-50 ไร่ และ ขนาดใหญ่ คือ มากกว่า 50 ไร่ขึ้นไป

** หมายถึง ไม่พบการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช ดังนั้นจึงไม่สามารถหาค่า HQ และ HI ได้

*** x หมายถึงไม่มีการเก็บตัวอย่าง

ของการศึกษาในครั้งนี้ อาศัยค่าพื้นฐานจาก U.S. EPA โดยใช้ค่าความถี่ของการได้รับสาร 260 วัน/ปี ระยะเวลาการได้รับสารตลอดชีวิต 58 ปี ช่วงเวลาการได้รับสาร 8 ชั่วโมง/วัน และอัตราการหายใจ 0.83 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง^[4] ส่วนน้ำหนักของร่างกายได้ใช้น้ำหนักจริงของเกษตรกร

ผลการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มเกษตรกรพื้นที่สวนส้มลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่โดยการประเมินการสัมผัสทางการหายใจ ทางผิวหนังและการได้รับจากการดื่มน้ำ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูเก็บเกี่ยว (มกราคม 2548) จำนวนทั้งสิ้น 29 สวน ในอำเภอไชยปราการ ฝาง และแม่อาย พบว่าค่าความเสี่ยงของสวนส้มทุกสวนที่ทำการศึกษา มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่กำหนดโดย U.S. EPA^[6] ดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนผลการประเมินความเสี่ยงจากการเก็บตัวอย่างในช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยว (มีนาคม - เมษายน 2548) พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า 1 และมีเพียง 3 สวนจากจำนวนทั้งสิ้น 31 สวนที่มีค่าความเสี่ยงมากกว่า 1 ดังแสดงในตารางที่ 3

3.3 การปฏิบัติตนของเกษตรกร

ผลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของสวนส้ม

และผู้พ่นสารโดยใช้แบบสอบถาม เพื่อสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการจัดการศัตรูพืช การปฏิบัติตนของผู้พ่นสารในระหว่างและหลังการพ่นสาร รวมถึงการจัดการวัสดุและบรรจุภัณฑ์เหลือใช้จากกระบวนการผลิตส้ม และการจัดบันทึกสารกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรใช้ในช่วงการเก็บตัวอย่าง พบว่าสารเคมีที่เกษตรกรใช้ในการกำจัดศัตรูส้ม ได้แก่ คาร์เบนดาซิม (carbendazim) ไซเปอร์เมทริน (cypermethrin) เมทโทมิล (methomyl) แมนโคเซ็บ (mancozeb) ไดเมโทเอท (dimethoate) อีไธออน (ethion) อะมิทราซ (amitraz) อะบาเม็กติน (abamectin) ฟิโนบูคาร์บ (finobucarb) แคปแทน (captan) และคาร์โบซัลเฟน (carbosulfan) สำหรับการปฏิบัติตนของเกษตรกร พบว่ามีเกษตรกรส่วนใหญ่ปฏิบัติตนถูกต้อง กล่าวคือ มีการสวมรองเท้าบูท สวมเสื้อแขนยาว สวมหมวก สวมกางเกงขายาว ยืนฉีดพ่นเหนือลม และสวมถุงมือ (ร้อยละ 46-100) มีการสวมผ้าปิดจมูกแบบมีไส้กรองร้อยละ 20 และยังมีส่วนน้อยที่ปฏิบัติตนไม่ถูกต้อง เช่น มีการสูบบุหรี่ ดื่มน้ำและรับประทานอาหารขณะพ่นสารกำจัดศัตรูพืชดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการสำรวจวิธีการปฏิบัติตนขณะพ่นสารของเกษตรกรสวนส้มลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่
จากการสำรวจทั้งสิ้นจำนวน 31 สวน

การปฏิบัติตนขณะพ่นสาร	ร้อยละ	การปฏิบัติตนขณะพ่นสาร	ร้อยละ
สวมรองเท้าบูท	100.0	ยืนฉีดพ่นเหนือลม	56.7
เสื้อแขนยาว	96.7	สวมถุงมือ	46.7
สวมหมวก	93.3	สวมผ้าปิดจมูกแบบมีไส้กรอง	20.0
สวมกางเกงขายาว	90.0	ดื่มน้ำ	30.0
ทำความสะอาดเปลี่ยนเสื้อผ้า	70.0	สูบบุหรี่	23.3
ทันทีหลังพ่นเสร็จ		รับประทานอาหาร	10.0

- [1] คณะสัตวแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินความเสี่ยง
ของประชาชน ที่อาศัยรอบบริเวณสถานที่
ฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองคูคต อำเภอลำลูกกา ปทุมธานี, 2548
- [2] จิตรพรรณ ภูษาภักดีภักดีพิมพ์และอนามัย ชีวีโรจน์.
การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของ
เกษตรกร ที่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชใน
จังหวัดชลบุรีและจันทบุรี ชลบุรี, 2541
- [3] พาลาห์ สิงห์เสนี. การประเมินความเสี่ยงจากพิษ
ของวัตถุอันตราย: หลักการและการประยุกต์ใช้
1: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
- [4] GEGN 498A/598A: Risk Analysis in
Environmental Geotechnics Course
Reading USA, 2002
- [5] [http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/
ehc90.htm#sectionNumber:9.1](http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc90.htm#sectionNumber:9.1)
- [6] Molly Rauch. Pesticides pollute children.
Mothering. 2004
- [7] Paul B. Tchounwou, Bassem A. Ashour,
Curtina Moreland-Young. Health Risk
Assessment of Pesticide Usage in
Menia El-Kamh Province of Sharkia
Governorate in Egypt. Int. J. Mol. Sci.
3, 1082-1094, 2002.

- [8] U.S. Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual Washington, DC ,2004
- [9] U.S. Environmental Protection Agency. Mid-Atlantic Risk Assessment USA, 2005
- [10] U.S. Environmental Protection Agency. User's Guide and Background Technical Document for U.S. EPA Region 9's Preliminary Remediation Goals (PRG) Table Solid and Hazardous Waste Program. USA, 2000 





การทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวา (*Neochetina* spp.) ในการกำจัดผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน

Efficacy Test of Water Hyacinth Weevil (*Neochetina* spp.) on Controlling of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Tachin Basin, Thailand.

วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์* สรศักดิ์ ใจตุ้ย** ขวณพิศ บุญย้อย* วิชาญ แก้วประสม*
ณัฐพล วรangkanarณ** ไวยิษฐ์ อำเียม** สุธิรา พุ่มพวง* และ เรียม ยินดี*
V. Patarasiriwong* S. Jaitui** C. Boonyoy* W. Kaewprasom*
N. Warangkanaporn** W. Am-aium** S. Pumpoung* and R. Yindee*

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวาในการควบคุมผักตบชวาในพื้นที่ชุ่มน้ำ 2 แห่ง ของลุ่มน้ำท่าจีน คือ ม.2 ต.ท่ากระชับ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม และ ม.8 ต.จรเข้ใหญ่ อ.บางปลาหมอ จ.สุพรรณบุรี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2548 ถึง มิถุนายน 2549 ในแปลงทดสอบขนาดกว้าง 8 เมตร และยาว 10 เมตร โดยทำการปลดปล่อยด้วงงวงผักตบชวาในแปลงทดลอง (Treated plot) จำนวน 8,000 ตัว ทุก 2 สัปดาห์ และตรวจนับเปอร์เซ็นต์ใบที่ถูกทำลาย ความยาวก้านใบและจำนวนแผลบนใบที่สองที่คลี่เต็มที่ จำนวนไหล และจำนวนด้วงงวงผักตบชวา ก่อนการปล่อยด้วงงวงและหลังการปล่อยด้วงงวงทุก 2 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับแปลงควบคุม (Controlled plot) ที่ไม่มีการปลดปล่อยด้วงงวงผักตบชวา ผลการทดสอบในพื้นที่ทดสอบทั้งสองแห่งเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ เปอร์เซ็นต์ใบที่ถูกทำลาย จำนวนแผลบนใบที่สองที่คลี่เต็มที่ และจำนวนด้วงงวงผักตบชวาในแปลงทดลองสูงกว่าแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความยาวก้านใบของใบที่สองที่คลี่เต็มที่และจำนวนไหลไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่างแปลงทดลองและแปลงควบคุม ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าด้วงงวงผักตบชวาสามารถควบคุมผักตบชวาได้ และควรได้รับการส่งเสริมให้มีการนำไปใช้ในการลดการแพร่กระจายของผักตบชวาในแหล่งที่มีการแพร่กระจายของผักตบชวาหนาแน่น โดยสามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆ เนื่องจากเป็นการควบคุมผักตบชวาโดยชีววิธี ซึ่งจะช่วยลดการใช้สารเคมี ทำให้มลพิษลดลง ช่วยลดงบประมาณที่จะนำมาใช้ในการควบคุมผักตบชวาในระยะยาว และยังเป็นการควบคุมผักตบชวาได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ด้วงงวงผักตบชวา, ผักตบชวา, ท่าจีน, ชีววิธี, Water Hyacinth Weevil, *Neochetina* spp., Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*, Tachin Basin, biological control

Abstract

Efficacy testing of water hyacinth weevil (*Neochetina* spp.) on controlling of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) was conducted in 2 locations of the Tachin Basin, Thailand, namely, Moo 2, Tambon Ta Krachub, Nakhonchaisri District, Nakhonpathom Province and Moo 8, Tambon Jarakhe Yai, Bang-pla-ma District, Suphanburi Province. Eight thousand water hyacinth weevils were released in a 80 m²-test plot (Treated plot, T) every 2 weeks from November 2005 to June 2006. Percentage of damaged leaf per plant, petiole length and number of feeding scars on the second youngest leaf, number of stolons per plant and number of water

* ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

** ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

hyacinth weevils per plant were measured and counted both in Treated and Controlled (C) plots before and every 2 weeks after releasing of the weevil. The similar results were observed in both locations. Percentage of damaged leaf, number of feeding scars on the second youngest leaf and number of water hyacinth weevils in T plot were higher than in C plot significantly, while petiole length of the second youngest leaf and number of stolons were not different significantly. The results indicated that water hyacinth weevils can control water hyacinth effectively and should be promoted to be used in water hyacinth highly infested areas. As biological control method, this agent could be used singly or associate with other methods to complement integrated management program. Especially when herbicides are not desired in order to decrease environmental pollution by the chemicals and to reduce cost of expenses paid for controlling of water hyacinth, the weevil could provide a promising approach. Moreover, sustainable is one of advantages of this method in the long run.

Keywords: Water Hyacinth Weevil, *Neochetina* spp., Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*, Tachin Basin, biological control



แปลงทดสอบและสาริต

1. บทนำ

การแพร่ระบาดของผักตบชวาในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนเกิดเนื่องจากมลภาวะจากการเกษตร น้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม ตลอดจนน้ำทิ้งจากบ่อปลาและฟาร์มสุกรทำให้น้ำมีธาตุอาหารพืชในระดับสูง ผักตบชวาจึงเติบโตและแพร่ระบาดอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาพบว่าในบริเวณแม่น้ำท่าจีนจะมีผักตบชวาไหลลงสู่อ่าวไทยคิดเป็นน้ำหนักสดประมาณวันละ 2,000 ตัน (สุทธิเจตน์และ สุจรรยา, 2544) ปัญหาที่เกิดจากการแพร่ระบาดอย่างมากของผักตบชวาในแม่น้ำท่าจีนนั้น ได้แก่ การเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคมสัญจรทางน้ำ การทำให้การไหลเวียนของน้ำไม่สะดวกจึงไม่สามารถที่จะระบายน้ำทิ้งที่มาจากการเกษตร อุตสาหกรรม หรือจากแหล่งชุมชนได้ทันที จึงมีการสะสมของน้ำเสียและขยะต่างๆ ที่ลอยมาบนน้ำในแหล่งที่มีผักตบชวาหนาแน่น รวมทั้งการเน่าเปื่อยของผักตบชวาเองก็มีส่วนทำให้น้ำเน่าเสียและแหล่งน้ำตื้นเขินได้ วิธีที่ใช้ในการกำจัดผักตบชวาโดยทั่วไป มี 2 วิธีหลัก คือ การใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรตักหรือใช้แรงงานคนดึงผักตบขึ้นมาจากแหล่งน้ำแล้วปล่อยให้เน่าเปื่อยเป็นซากพืชหรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น และการพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช ทั้งสองวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดที่ทำให้ไม่สามารถควบคุมผักตบชวาได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (Center และ คณะ, 1998 และ Centre for tropical wetlands management, _____) วิธีควบคุมผักตบชวาที่เป็นที่ยอมรับว่ามีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและมีความยั่งยืนวิธีหนึ่ง คือ การใช้ด้วงงวงผักตบชวา (*Neochetina* spp., Coleoptera: Curculionidae) เนื่องจากด้วงงวงผักตบชวาเป็นศัตรูธรรมชาติที่มีพืชอาหารเฉพาะเจาะจงคือ ผักตบชวา

ด้วงงวงผักตบชวา (*Neochetina* spp., Coleoptera: Curculionidae) เป็นแมลงขนาดเล็กคือ ตัวเต็มวัยมีความยาวตลอดลำตัวประมาณ 3.7-4.2 มิลลิเมตร มีสีน้ำตาลเข้ม มีอวัยวะส่วนปาก (rostrum) ยื่น

ยาวออกมาคล้ายงวงจึงมีชื่อเรียกว่า ด้วงงวง (Weevils) มีชีวิตอยู่แบบกึ่งบกกึ่งน้ำ โดยปกติจะออกหากิน ผสมพันธุ์และวางไข่ในเวลากลางคืน ส่วนในตอนกลางวันจะหลบอยู่ตามซอกก้านใบหรือโคนต้นผักตบชวา ตัวเต็มวัยมีอายุเฉลี่ย 48-75 วัน (ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ, _____) ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ได้นำเข้าด้วงงวงผักตบชวาจำนวน 2 ชนิดจากต่างประเทศ คือ ด้วงงวงผักตบชวาลายแต้ม (*Neochetina eichhorniae* Warner) จากประเทศสหรัฐอเมริกา ถูกนำเข้าในปี พ.ศ. 2520 และปลดปล่อยในพื้นที่ระบาดของผักตบชวาครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2522 และด้วงงวงผักตบชวาลายบัง (*Neochetina bruchi* Hustache) ถูกนำเข้าจากประเทศออสเตรเลียในปี พ.ศ. 2533 และได้ทำการปลดปล่อยในปี พ.ศ. 2534 (Napompeth, 1992) จากการปล่อยในพื้นที่ที่มีการแพร่ระบาดของผักตบชวาทั่วประเทศ และผลการประเมินประสิทธิภาพของด้วงงวงในแหล่งต่างๆ ที่ปล่อยไปนั้นพบว่าด้วงงวงสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ในประเทศไทย จึงได้ส่งเสริมให้มีการนำด้วงงวงดังกล่าวมาใช้ในการควบคุมผักตบชวาในประเทศไทย (วิวัฒน์และคณะ, 2549)

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของด้วงงวงในการควบคุมผักตบชวาอาจขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการ เช่น สภาพแหล่งน้ำ ภูมิอากาศ ปริมาณผักตบชวา จำนวนและการแพร่กระจายของด้วงงวงผักตบชวา Center และ Dray (1992) ปัจจัยสำคัญที่จะส่งเสริมให้การควบคุมผักตบชวาโดยใช้ด้วงงวงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนนั้น คือ การมีส่วนร่วมของประชาชนในพื้นที่ที่มีความเข้าใจถึงการอนุรักษ์ให้ด้วงงวงคงอยู่ในแหล่งน้ำ รวมถึงการส่งเสริมการแพร่กระจายของด้วงงวงอย่างถูกวิธี ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงร่วมกับศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพและ

ความเหมาะสมในการนำด้วงงวงผักตบชวามาใช้ในการควบคุมผักตบชวาในพื้นที่ชุ่มน้ำ ลุ่มน้ำท่าจีน และให้ข้อมูลความรู้ ความเข้าใจให้แก่ชุมชนในพื้นที่เพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วมในการร่วมดูแลและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมของชุมชนเอง พร้อมทั้งส่งเสริมให้มีการนำด้วงงวงผักตบชวาไปใช้ในพื้นที่เพื่อลดปัญหามลพิษทางน้ำให้กับพื้นที่ชุ่มน้ำลุ่มน้ำท่าจีนต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวาในพื้นที่ชุ่มน้ำที่พบการระบาดของผักตบชวาบริเวณลุ่มน้ำท่าจีน 2 แห่ง คือ ม.2 ต.ท่ากระชับ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม และ ม.8 ต.จรเข้มใหญ่ อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี ในพื้นที่ทดสอบแต่ละแห่งมีแปลงทดลอง 2 แปลง และมีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร มีระยะห่างระหว่างแปลง 3 เมตร โดยใช้แปลงหนึ่งเพื่อทดลองปลดปล่อยด้วงงวงผักตบชวา ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าแปลงทดลอง (Treated plot, T) และอีกแปลงหนึ่งให้อยู่ในสภาพธรรมชาติดั้งเดิม ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าแปลงควบคุม (Controlled plot, C) การปลดปล่อยด้วงงวงผักตบชวาเฉพาะในแปลงทดลองจะดำเนินการทุก 2 สัปดาห์ จำนวน 8,000 ตัว (หรือ 100 ตัวต่อตารางเมตร) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ในพื้นที่ จ.นครปฐม และเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 ในพื้นที่ จ.สุพรรณบุรี ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2549 รวมทั้งสิ้น 14 และ 12 ครั้งตามลำดับ

การบันทึกผลการทดสอบก่อนการปลดปล่อยด้วงงวงผักตบชวาครั้งแรกและหลังการปลดปล่อยทุก 2 สัปดาห์ โดยทำการสุ่มต้นผักตบชวาในพื้นที่ทดสอบรวม 5 จุดต่อแปลงย่อย (สี่มุมของแปลงและกลางแปลง) จุดละ 10 ต้น ตรวจนับจำนวนใบเตและใบถูกทำลายต่อต้น ความยาวก้านใบและจำนวนรอยแผลบนใบที่สองที่คลี่เต็มที่แล้ว (secondary leaf) จำนวนไหล (stolons) ทั้งหมด และ

ตรวจนับจำนวนด้วงงวงผักตบชวาต่อต้น นำผลการบันทึกมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างแปลงทดลองและแปลงควบคุมโดยวิธีทางสถิติ (T-test)

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ด้วงงวงผักตบชวาในการควบคุมผักตบชวาในพื้นที่ชุ่มน้ำ 2 แห่งของลุ่มน้ำท่าจีน คือ ม.2 ต.ท่ากระชับ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม และ ม.8 ต.จรเข้มใหญ่ อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน และ ธันวาคม 2548 ตามลำดับ จนถึง เดือนมิถุนายน 2549 มีแนวโน้มของผลการทดสอบเป็นไปในทำนองเดียวกัน (ตารางที่ 1 และ 2) คือ พบว่าเปอร์เซ็นต์ใบที่ถูกทำลายของผักตบชวา จำนวนรอยแผลบนใบที่สองที่คลี่เต็มที่แล้ว และจำนวนด้วงงวงผักตบชวาในแปลงทดลองจะมีมากกว่าในแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติในการตรวจเช็คความยาวก้านใบของใบที่สองที่คลี่เต็มที่แล้ว และจำนวนไหล จากผลการศึกษาของวิวัฒน์ และคณะ (2549) ซึ่งทำการปลดปล่อยด้วงงวงผักตบชวาในแหล่งน้ำที่มีผักตบชวาหนาแน่น และตรวจเช็คผลทุก 3 เดือน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมผักตบชวา และความสามารถในการตั้งรกรากของด้วงงวงผักตบชวาในแหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548 รายงานว่าในแหล่งที่ด้วงงวงผักตบชวาทั้งรกรากได้ที่ จ.นครปฐม จะมีประชากรด้วงงวงผักตบชวาสูงสุด 5.20 ตัวต่อต้น และต่ำสุด 0.23 ตัวต่อต้น และที่ จ.สุพรรณบุรี พบสูงสุด 7.20 ตัวต่อต้น และต่ำสุด 0.16 ตัวต่อต้น และพบจำนวนรอยแผลบนใบที่สองที่คลี่เต็มที่แล้ว เฉลี่ย 274.50 และ 388.30 แผลต่อใบ ที่ จ.นครปฐม และ จ.สุพรรณบุรี ตามลำดับ และค่าวิกฤติที่ใช้ให้เห็นว่าด้วงงวงสามารถตั้งรกรากในแหล่งน้ำได้ คือ รอยแผลจำนวนไม่น้อยกว่า 200 แผล ดังนั้นผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นว่าในแปลงทดลองนั้น ด้วงงวงผักตบชวาสามารถตั้งรกรากได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวา (*Neochetina* spp.) ในการควบคุมผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ณ ต.ท่ากระชับ อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม ระหว่างวันที่ 28 พฤศจิกายน 2548 ถึง 14 มิถุนายน 2549

ตัวแปร	แปลงทดสอบ ^{1/}	ผลการตรวจนับครั้งที่ ^{2/}													
		1 (ก่อนปล่อย ด้วงงวง)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ใบถูกทำลาย (%)	C plot	52.25 ^{3/}	32.17*	36.04*	53.01*	63.22*	65.09*	70.85*	81.83*	93.29*	4/	-	-	-	-
	T plot	44.14	58.91	94.02	88.60	99.30	97.12	100.00	98.81	100.00	99.53	100.00	100.00	100.00	100.00
ความยาวก้านใบ (ซม.)	C plot	42.85	38.82	35.66	41.04	34.34	41.10	44.98	41.76	37.70	-	-	-	-	-
	T plot	48.46	38.38	34.18	27.78	31.46	37.42	37.18	31.06	29.46	37.84	32.00	31.16	24.80	24.50
จำนวนรอยแผล (แผลต่อใบ)	C plot	14.10*	17.30*	10.08*	10.78*	35.72*	43.36*	59.10	136.92*	89.82*	-	-	-	-	-
	T plot	27.54	64.78	104.74	101.36	157.26	156.76	183.62	274.58	178.12	134.10	181.94	230.86	288.92	189.70
จำนวนไหล (ไหลต่อต้น)	C plot	1.45	1.78*	2.48*	2.86	1.46	1.78	1.54*	2.46	3.36*	-	-	-	-	-
	T plot	1.57	2.28	2.00	2.92	1.38	1.66	1.14	1.88	1.36	1.56	1.00	2.66	2.32	2.20
จำนวนด้วง (ตัวต่อต้น)	C plot	0.33	0.30*	0.44*	0.30*	0.80*	1.00*	0.62*	2.18*	1.60*	-	-	-	-	-
	T plot	0.20	1.78	3.02	2.52	3.72	4.32	2.76	4.12	5.18	5.64	4.70	7.20	8.54	4.58

1/

C plot หมายถึง แปลงควบคุม (ไม่มีการปล่อยด้วงงวง); T plot หมายถึง แปลงทดลอง (ปล่อยด้วงงวง จำนวน 8,000 ตัว ทุก 2 สัปดาห์)

2/

คำนวณจากการตรวจนับต้นผักกาดจำนวน 50 ต้นต่อแปลง โดยทำการตรวจนับก่อนการปล่อยด้วงงวงผักกาดขาวและหลังการปล่อยทุก 2 สัปดาห์

3/

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีทางสถิติ (T-test)

4/

- หมายถึง ไม่มีการตรวจนับ เนื่องจากยกเลิกแปลงควบคุม

^{1/} C plot หมายถึง แปลงควบคุม (ไม่มีการปล่อยด้วงงวง); T plot หมายถึง แปลงทดลอง (ปล่อยด้วงงวง จำนวน 8,000 ตัว ทุก 2 สัปดาห์)
^{2/} ค่าเฉลี่ยจากการตรวจนับผักตบชวาจำนวน 50 ต้นต่อแปลง โดยทำการตรวจนับก่อนการปล่อยด้วงงวงผักตบชวาและหลังการปล่อยทุก 2 สัปดาห์
^{3/} * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีทางสถิติ (T-test)
^{4/} - หมายถึง ไม่มีการตรวจนับ เนื่องจากยกเลิกแปลงควบคุม

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวา (*Neochetina spp.*) ในการควบคุมผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ณ ต.จรเข้มใหญ่
อ.บางปลาหมอ จ.สุพรรณบุรี ระหว่างวันที่ 26 ธันวาคม 2548 ถึง 14 มิถุนายน 2549

ตัวแปร	แปลง ทดสอบ ^{1/}	ผลการตรวจนับครั้งที่ ^{2/}											
		1 (ก่อนปล่อย ด้วงงวง)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ใบถูกทำลาย (%)	C plot	26.98	22.18 ^{3/}	53.66	46.97*	49.84*	59.82*	91.43	77.64	95.35*	87.96*	81.38*	^{4/}
	T plot	23.51	41.85	93.26	74.35	96.48	97.55	99.27	99.38	100.00	100.00	100.00	100.00
ความยาวก้านใบ (ซม.)	C plot	64.12	57.90	44.10	52.62	49.70	40.12	44.64	38.30	36.86	35.42	41.20	-
	T plot	55.78	56.12	40.06	48.80	42.22	43.66	38.62	32.64	37.24	37.16	31.48	35.56
จำนวนรอยแผล (แผลต่อใบ)	C plot	20.38*	25.72*	50.18*	34.60*	47.84*	102.58*	84.32*	57.88*	62.18*	70.14*	50.46*	-
	T plot	15.76	58.34	216.36	205.98	235.14	388.34	336.36	312.26	283.18	356.24	305.62	174.66
จำนวนไหล (ไหลต่อต้น)	C plot	0.72*	2.38	1.86	1.16	1.20*	1.64*	1.64	0.96	1.00	1.06	0.60*	-
	T plot	0.96	1.88	1.66	1.52	0.88	1.34	1.34	1.34	0.76	1.16	0.74	0.66
จำนวนด้วง (ตัวต่อต้น)	C plot	0.20	1.24*	0.84*	0.82*	0.32*	1.12*	0.88*	0.36*	0.94*	0.62*	0.08*	-
	T plot	0.16	2.30	3.84	5.30	4.46	5.90	7.24	4.42	2.46	6.74	2.52	1.18

^{1/} C plot หมายถึง แปลงควบคุม (ไม่มีการปล่อยด้วงงวง); T plot หมายถึง แปลงทดลอง (ปล่อยด้วงงวง จำนวน 8,000 ตัว ทุก 2 สัปดาห์)

^{2/} ค่าเฉลี่ยจากการตรวจนับต้นผักตบชวาจำนวน 50 ต้นต่อแปลง โดยทำการตรวจนับก่อนการปล่อยด้วงงวงผักตบชวาและหลังการปล่อยทุก 2 สัปดาห์

^{3/} * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีทางสถิติ (T-test)

^{4/} - หมายถึง ไม่มีการตรวจพบ เนื่องจากขนาดเล็กแปลงควบคุม

ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ (_____) สรุปว่าจำนวนด้วงงวงผักตบชวาโดยเฉลี่ย 4-6 ตัวต่อต้น หรือประมาณ 300 ตัวต่อหนึ่งตารางเมตรของแพผักตบชวาจะสามารถลดปริมาณและควบคุมผักตบชวาในแหล่งน้ำนั้นๆ จาก 90% ของพื้นที่ได้เหลือเพียง 25% ภายในระยะเวลา 5-6 ปี ในขณะที่ Aguilar และคณะ (2003) ทำการทดสอบในกรงซึ่งวางในพื้นที่วังของเมือง Sinola ประเทศเม็กซิโก พบว่าด้วงจำนวน 6.30 ตัวต่อต้น จะทำให้ผักตบชวาตายในระยะเวลา 320 วัน ดังนั้นจากผลการทดสอบนี้มีแนวโน้มที่ชี้ให้เห็นว่าด้วงงวงผักตบชวาจะสามารถควบคุมผักตบชวาได้ในระยะยาว

ผลกระทบจากด้วงงวงผักตบชวาที่มีต่อผักตบชวาที่เห็นได้ทางกายภาพอย่างชัดเจน พบหลังจากเริ่มการปล่อยด้วงงวงครั้งแรกนาน 4 เดือน คือ ต้นผักตบชวาจะมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนไหลน้อยลง สภาพต้นผักตบชวาโดยรวมจะมีความเสื่อมโทรมอย่างเห็นได้ชัด เนื้อเยื่อของต้นโดยเฉพาะผิวด้านนอกจะมีลักษณะที่แข็งกระด้างมากขึ้น ก้านใบของแต่ละต้นจะไม่สานเกี่ยวพันกันเหมือนก่อนเริ่มทำการทดสอบ แต่จะอยู่แยกจากกันอย่างเป็นอิสระ และพบว่าจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการทดสอบนั้น (เดือนสิงหาคม 2549 หรือ 9 เดือนผ่านไป) ผักตบชวาในแปลงทดลองก็ยังไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ในขณะที่แปลงควบคุมสภาพต้นผักตบชวาจะยังคงสมบูรณ์แข็งแรง เนื้อเยื่อของต้นและผิวด้านนอกของต้นจะมีลักษณะอ่อนนุ่มเป็นปกติ ต้นผักตบชวาจะเกี่ยวพันกันเป็นแพเช่นเดียวกับเมื่อเริ่มทำการทดสอบผลการทดสอบนี้เป็นเช่นเดียวกับการรายงานของ Center และคณะ (1999) และ Ogwang และ Molo (1999) การทำลายจากทั้งตัวเต็มวัยและหนอนจำนวนมากจะทำให้การเจริญเติบโตของผักตบชวาชะงัก (ต้นจะสั้นลง) ผิวด้านนอกแข็งขึ้น ใบม้วน และทางเดินอาหารและน้ำถูกขัดขวาง เนื่องจากเนื้อเยื่อเจริญถูกทำลาย จึงไม่มีใบหรือต้นใหม่เกิดออกมา มีผลให้การเจริญเติบโตโดยรวมลดลง อย่างไรก็ตามด้วงงวงจะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 3-5 ปี จึง

จะเห็นผลที่ถาวรของมัน ดังนั้นหากมีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นๆ เพื่อแก้ไขปัญหาในระยะเวลานานสั้น เช่น การใช้สารเคมี ในระหว่างที่รอผลระยะยาวจากการใช้ด้วงงวงอยู่นั้น ควรจะคำนึงถึงสิ่งสำคัญนี้โดยควรจะต้องปล่อยให้มีความบริเวณที่ไม่พ่นสารเคมีเหลืออยู่บ้าง เพื่อให้ด้วงงวงสามารถเจริญเติบโตขึ้นมาได้อีกหลังการพ่นสารเคมีในการจัดการผักตบชวา (APIS, 2002)

ยังมีปัจจัยอื่นที่จะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของด้วงงวงในการควบคุมผักตบชวา เช่น การระบาดของโรคพืช Oran (2005) ซึ่งทำการทดสอบในพื้นที่แพร่ระบาดของผักตบชวา พบว่าหลังจากที่ผักตบชวาถูกทำลายและเกิดแผลบนใบจากการกัดกินของด้วงงวงแล้ว เชื้อรา *Cercospora* sp. จะเข้าทำลายซ้ำ ทำให้ใบไหม้เป็นจุดๆ พบว่าในแปลงที่มีทั้งการปลดปล่อยด้วงงวงและปล่อยเชื้อราเข้าทำลายด้วยนั้น จะมีรอยแผลไหม้มากเป็น 7.50 เท่าของแปลงที่ทดสอบด้วยเชื้อราเพียงอย่างเดียว ส่วนแปลงที่ปลดปล่อยด้วงงวงเพียงอย่างเดียวจะมีรอยแผลไหม้มากเป็น 10.50 เท่าของแปลงที่มีเชื้อราเพียงอย่างเดียว หลังการเข้าทำลายของด้วงงวง 24 ชั่วโมง จะพบว่าในแปลงที่มีด้วงงวงจะมีเปอร์เซ็นต์รอยไหม้บนใบอ่อนใบที่ 3 และใบแก่ที่สุด สูงขึ้น 2.30-2.50 เท่า และพบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรอยแผลและรอยไหม้บนใบอ่อน การใช้ทั้งด้วงงวงและราทำให้เกิดผลกระทบเชิงส่งเสริมในการควบคุม ซึ่งอาจจะเกิดจากการผสมผสานกันโดยตรงหรืออื่นๆ แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพของผักตบชวา สภาพอากาศก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมประสิทธิภาพของด้วงงวงในการควบคุมผักตบชวา โดยสภาพภูมิอากาศที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงจะมีผลทำให้จำนวนด้วงงวงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการช่วยเร่งให้การควบคุมเป็นไปได้เร็วขึ้นด้วย (Ogwang และ Molo, 1999) ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ประการที่ได้กล่าวมานั้นมีส่วนในการส่งเสริมประสิทธิภาพของด้วงงวงในการควบคุมผักตบชวา กล่าวคือ การแพร่ระบาดของโรคพืชร่วมกับการทำลายของ

ด้วงงวงทำให้ผักตบชวามีสภาพทรุดโทรมอย่างรวดเร็ว โดยมีสภาพอากาศร้อนชื้นที่เหมาะสมแก่การเจริญของเชื้อโรคพืชทำให้การแพร่ระบาดอย่างรวดเร็วขึ้นเป็นปัจจัยเสริมอีกทางหนึ่ง

นอกจากปัจจัยที่ส่งเสริมประสิทธิภาพของด้วงงวงในการควบคุมผักตบชวาแล้ว ยังมีปัจจัยที่ลดประสิทธิภาพของด้วงงวงในการควบคุมผักตบชวาได้ เช่น น้ำทิ้งจากการเกษตรและชุมชน ซึ่งมีธาตุอาหารสมบูรณ์ รวมทั้งการชะล้างหน้าดินจากกิจกรรมการเกษตรตามที่ Hongo และ Mjema (2002) รายงานไว้ ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่ามียูอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมผักตบชวาของด้วงงวง คือ หอยเชอรี่ เนื่องจากเมื่อดำเนินการทดสอบไประยะหนึ่งแล้ว พบว่ามีการแพร่กระจายของด้วงงวงผักตบชวาจากแปลงทดลองไปยังแปลงควบคุม จึงได้ยกเลิกแปลงควบคุม และพบว่าหอยเชอรี่ที่อาศัยในบริเวณเดียวกันได้เคลื่อนย้ายเข้ามาในแปลงทดลอง และกัดกินทำลายส่วนรากของผักตบชวา ซึ่งเป็นแหล่งที่อาศัยเข้าดักแด้ของด้วงงวง จึงส่งผลกระทบต่อ การตั้งรกรากของด้วงงวงผักตบชวาในพื้นที่ทดสอบทั้งสองแห่ง ดังนั้นในระยะยาวที่คาดว่าด้วงงวงจะตั้งรกรากแพร่ขยายพันธุ์จนมีประชากรจำนวนมากจนสามารถควบคุมผักตบชวาได้นั้น กลับจะต้องมีการนำด้วงงวงมาปล่อยเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้มีจำนวนประชากรมากพอ ซึ่งจะส่งผลให้การควบคุมนี้ไม่เป็นไปอย่างยั่งยืน และอาจจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

วิธีผสมผสานเป็นวิธีที่อาจช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของด้วงงวง และมีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและแก้ปัญหาดังกล่าว วิธีที่จะนำมาใช้อย่างผสมผสานกันนั้น ได้แก่ การปล่อยให้ด้วงงวงเข้าทำลายก่อน ซึ่งจะทำให้ผักตบชวาที่ถูกทำลายมีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการดักขึ้นโดยใช้เครื่องจักร การเพิ่มระดับความรุนแรงให้กับการระบาดของโรค การใช้ความเย็น และการควบคุมระดับน้ำ (ในกรณีที่แหล่งน้ำที่สามารถควบคุมระดับน้ำได้)

เป็นต้น แม้ว่าการควบคุมแบบระยะยาวนี้จะไม่มีความยั่งยืนในกรณีที่ต้องการกำจัดโดยเร่งด่วน แต่อาจช่วยลดปริมาณและจำนวนวิธีการอื่นๆ ที่จะต้องนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีความพยายามในการนำเชื้อรา *Cercospora rodmanni* เพื่อผลิตเป็นสารสำเร็จรูป หรือ mycoherbicide ที่สามารถนำไปใช้พ่นในพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายของผักตบชวาแทนการพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืชได้ (Center และคณะ, 1998 และ Ogwang และ Molo, 1999)

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าด้วงงวงสามารถควบคุมการแพร่กระจายของผักตบชวาได้ตามหลักวิชาการโดยในแปลงทดลองมีเปอร์เซ็นต์ใบผักตบชวาที่ถูกทำลาย จำนวนรอยแผล และจำนวนด้วงงวงผักตบชวามากกว่าในแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และมีจำนวนใหล่น้อยกว่าในแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลในด้านการส่งเสริมหรือลดประสิทธิภาพของด้วงงวงผักตบชวาในการควบคุมผักตบชวาได้แล้ว ยังพบข้อจำกัดในการที่จะนำด้วงงวงผักตบชวาไปใช้จริง เช่น การพ่นสารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่ที่มีด้วงงวงผักตบชวาอาศัยอยู่ จะทำให้ด้วงงวงผักตบชวาเหล่านั้นหลบหนีหรือตายไป ดังนั้นการส่งเสริมการนำด้วงงวงผักตบชวามาใช้ในการควบคุมผักตบชวานั้น ควรจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดดังกล่าว นอกเหนือไปจากการตระหนักว่าการใช้ชีววิธีในการควบคุมวัชพืชนั้นมีวัตถุประสงค์ในการควบคุมวัชพืชในระยะยาวมิใช่หวังผลการกำจัดในระยะเวลานั้น การมีส่วนร่วมของชุมชนและหน่วยงานท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ควรจะต้องได้รับการพิจารณาจากภาครัฐ โดยเฉพาะการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนของภาครัฐที่จะใช้ชีววิธีในการจัดการแก้ไขปัญหาผักตบชวาที่มีประสิทธิภาพและประสบผลสำเร็จนั้น ได้แก่ การฝึกอบรมให้กับบุคลากรในหน่วยงานของรัฐและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเรื่อง

เทคนิคการนำไปใช้และการประเมินการควบคุม ผักตบชวา โดยชีววิธี การส่งเสริมและสร้างความตระหนักให้ชุมชนท้องถิ่นได้รับรู้ถึงอันตรายจากการแพร่ระบาดของผักตบชวา การวิจัยเกี่ยวกับนโยบายเพื่อพิจารณาเทคโนโลยีการจัดการ และการถ่ายทอดกลไกการควบคุมที่มีอยู่ในปัจจุบัน การมีส่วนร่วมของชุมชน ตั้งแต่การเคลื่อนไหวและตระหนักการเข้าถึงข้อมูล ไปจนถึงการร่วมในกิจกรรมของชุมชน เช่น การติดตาม สร้างระบบเตือนภัย และการวางแผนการจัดการแบบบูรณาการ (WISARD, 2000; Agaba และ คณะ, 2005; Center และคณะ, 1998 และ Mironga, 2005)

5. กิตติกรรมประกาศ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณผู้นำชุมชน เครือข่ายสิ่งแวดล้อม และหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ประสาทศรี ศิริจรรยา ที่ปรึกษาศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ผู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขในการเขียนรายงานฉบับนี้

6. เอกสารอ้างอิง

วิวัฒน์ เลือสะอาด ญัฐพล วรางคณาภรณ์ จักรพงษ์ เกษเงิน และ ไวกิชฎ์ อำเอี่ยม. 2549. การควบคุม ผักตบชวาโดยชีววิธีในประเทศไทย. รายงานผลการดำเนินงาน ประจำปี 2547 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืช โดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 31 หน้า.

ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ, _____. เอกสารแนะนำ ด้วงงวงผักตบชวา. *Neochetina* spp. (Coleoptera: Curculionidae). ศูนย์วิจัย

ควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 6 หน้า.

สุทธิเจตน์ จันทรศิริ และ สุจรรยา ไชยูปถัมภ์. 2544. ผักตบชวา มหันตภัยสีเขียวของแหล่งน้ำ. น. 76 ใน ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม 1. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด กรุงเทพฯ 106 หน้า.

Agaba, P., T. Asimwe, T. G. Moorhouse and T. J. McNabb. 2005 November 17. Biological Control of Water Hyacinth in the Kagera River Headwaters of Rwanda: A Review Through 2001. <http://www.cleanlake.com/rwanda__bio__paper.htm>. Accessed 2006 March 24.

Aguilar J. A., Camarena O. M., Center T. D. and Bojorquez G. 2003. Biological control of waterhyacinth in Sinaloa, Mexico with the weevils *Neochetina eichhorniae* and *N. bruchi*. *Biocontrol*, 48(5) : 595-608.

APIS (Aquatic Plant Information System). 2002 August 16. *Neochetina bruchi*- "Chevroned Waterhyacinth Weevil". <<http://www.el.erd.usace.army.mil/aqua/apis/biocontrol/html/neochti/html>>. Accessed 2006 March 24.

Center, T. D. and F. A. Dray, Jr. 1992. Associations between waterhyacinth weevils (*Neochetina eichhorniae* and *N. bruchi*) and phenological stages of *Eichhornia crassipes* in Southern Florida. *Florida Entomologist* 75 : 196-211.

Center, T. D., D. L. Sutton, V. A. Ramey and K. A. Langeland. 1998. Chapter 9: Other methods of aquatic plant management. In: Langeland, K. A. (Ed.) *Training Manual for Aquatic*

- Herbicide Applicators in the Southeastern United States. <<http://aquat1.ifas.ufl.edu/a-title.html>>. Accessed 2006 March 24.
- Center, T. D., F. A. Dray Jr., G. P. Jubinsky, and A. J. Leslie. 1999. Waterhyacinth Weevils (*Neochetina eichhorniae* and *N. bruchi*) inhibit waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) colony development. *Biological Control* 15(1) : 39-50.
- Centre for tropical wetlands management. _____. Biological Control of Water Hyacinth. West Papua, 14 - 21 November 2000. Asia Pacific wetland managers Training Program. <<http://www.cdu.au/ctwm/courses/course7/coure7.html>> . Accessed 2006 March 24.
- Hongo, H. and P. Mjema. 2002. Effects of agricultural activities in Kagera Riverine Wetlands on water hyacinth control. 3rd WaterNet/Warfsa Symposium "Water Demand Management for Sustainable Development". Dares Salaam, 30-31 October 2002. <<http://www.waternetonline.ihe.nl/aboutWN/pdf/Hongo&Mjema.pdf>>. Accessed 2006 March 24.
- Jimenez, M. M., E. G. Lopez, R. H. Delgadillo and E. Ruiz Franco. 2001. Importation, rearing, release and establishment of *Neochetina bruchi* (Coleoptera : Curculionidae) for the biological control of water hyacinth in Mexico. *J. Aquat. Plant Manage.* 39: 140 - 143.
- Mironga, J. M. 2005. Approach towards effective management of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in Kenya. Research Methodology Training. <<http://www.ossrea.net/publications/newsletter/jun05/article8.htm>>. Accessed 2006 March 24.
- Ochiel, G. S., S. W. Njok, A. M. Mailu and W. Gitonga. 2001. Establishment, spread and impact of *Neochetina* spp. on water hyacinth in Lake Victoria, Kenya. In: M. H. Julian, M. P. Hill, T. D. Center and D. Jianqing (Eds.). *Biological and Integrated Control of Water Hyacinth, Eichhornia crassipes*. ACIR Poceedings 102, pp.89-95.
- Ogwang, J. A. and R. Molo. 1999. Impact studies on *Neochetina bruchi* and *Neochetina eichhorniae* in Lake Kyoga, Uganda. In: M. Hill, M. Julien and T. Center (eds.). First IOBC Global Working Group Meeting for the Biological Control and Integrated Control of Water Hyacinth, pp.10-13.
- Oran, P.J. 2005. Leaf Scarring by the weevils *Neochetina eichhorniae* and *N. bruchi* enhanced infection by the fungus *Cercospora piaropi* on water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Biocontrol*, 50(3): 511 - 524.
- Pichidsuwanchai, S. 1996. Comparative Studies on Biology of *Neochetina eichhorniae* Warner and *Neochetina bruchi* Hustache (Coleoptera: Curculionidae), Biological Control Agents of waterhyacynth, *Eichornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach (Liliales: Pontederia) in Thailand. Ms. Thesis, Kasetsart University, Thailand, 62 pp.
- Visalakshy, G. 2004. Development and Degeneration of Flight Muscles in *Neochetina*

eichhorniae (Coleoptera; Curculionidae), Potential Biocontrol Agent of the Aquatic Weed, *Eichhorniae crassipes* (abstract). Biocontrol Science and Technology, 14(4): 403 - 408(6). <<http://www.ingentaconnect.com/tandf/cbst/2004/00000014/00000004/art00007>>. Accessed 2006 March 24.

WISARD (Web based Information Services for Agricultural Research for Development). 2000 June. Control of Water Hyacinth in the Shire River, Malawi. WISARD Project Information. <<http://www.wisard.org/wisard/shared/asp/projectsummary.asp?Kennummer=2657>>. Accessed 2006 March 24. 







การเคลื่อนย้ายมลพิษของสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

Transportation of toxic substance of hydrocarbon group to aquatic environment

รุชยา บุญยทุมานนท์
Ruchaya Boonyatumanond

บทคัดย่อ

การศึกษาการเคลื่อนย้ายสารพิษกลุ่มไฮโดรคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดสู่แหล่งน้ำธรรมชาตินั้นพบว่า องค์ประกอบและความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างที่เป็นแหล่งกำเนิดและตัวอย่างสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์กัน เช่น ฝุ่นจากบรรยากาศและฝุ่นจากผิวถนนบริเวณที่การจราจรหนาแน่น เขม่ารถยนต์ประเภทต่างๆ ความเข้มข้นที่ตรวจพบในตัวอย่างตะกอนดินจากคลอง (512-8399 นาโนกรัม/กรัม) แม่น้ำ (33-590 นาโนกรัม/กรัม) และบริเวณอ่าวไทยตอนบน (4-724 นาโนกรัม/กรัม) ความเข้มข้นที่พบสารไฮโดรคาร์บอนในแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกัน โดยความเข้มข้นมีแนวโน้มที่พบสารไฮโดรคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดสูงกว่าที่พบในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมมากประมาณ 10-1000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิด นอกจากนั้นการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ทางสถิติ สามารถอธิบายองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ เป็นตัวบ่งชี้ได้ และพบว่าฝุ่นที่พัดพาโดยน้ำฝนนั้นมียอดองค์ประกอบที่เหมือนกับตะกอนดินจากคลอง และแม่น้ำ

คำสำคัญ: ไฮโดรคาร์บอน แหล่งกำเนิด ตะกอนดิน คลอง แม่น้ำ

Abstract

Study on transportation of toxic substance of hydrocarbons from various sources to aquatic environment was showed that compositions and concentrations of source samples and environmental samples have correlations such as airborne particulate, soot from various kind of cars and street dust, which close to traffic roads. Concentration of hydrocarbons in sediment from canals (512-8399 ng/g), river (33-590 ng/g), and the upper gulf of Thailand (4-724 ng/g). Trend of hydrocarbon concentration was found that concentration from sources were higher than environment around 10-1000 times, which depend on source of pollution. In addition, this study applied statistical relation to explain hydrocarbon compositions as indicator. This study showed that runoff flush dusts to sediment in canals, river.

Keywords: hydrocarbons, source, sediment, canal, river

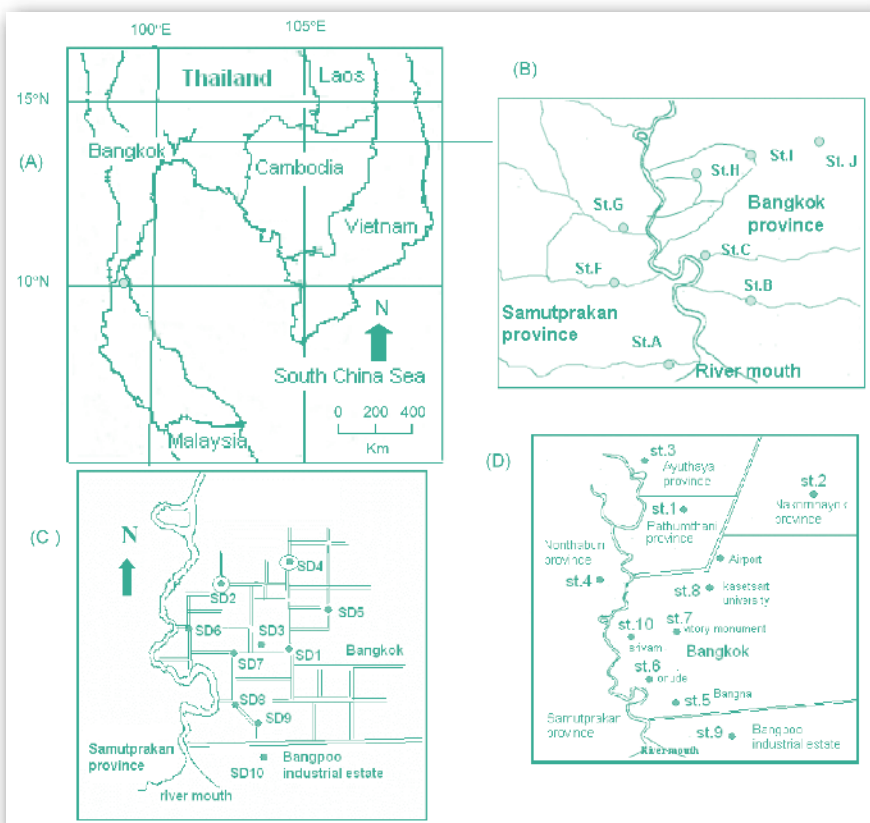
1. บทนำ

ปัจจุบันมลพิษที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์มีหลายประเภท เช่น มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการใช้รถยนต์จำนวนมากในกรุงเทพฯ ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองบนท้องถนน การปล่อยไอเสียจากรถยนต์ การเผาขยะในที่โล่ง ทำให้อากาศเสียและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งเป็นหนึ่งของปัญหามลพิษสำหรับชุมชนเมือง เป็นต้น มลพิษที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น มีสารที่ทำให้เกิดมะเร็งได้หลายชนิด เช่น สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) เป็นสารกลุ่มหนึ่งที่อยู่ในกลุ่ม endocrine disrupter compound (EDCs) ซึ่งมีองค์ประกอบของไฮโดรเจน และไฮโดรคาร์บอน เกี่ยวกันเป็นลักษณะ benzene ring ตั้งแต่ 2-6 ring และสารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งสารเหล่านี้สามารถเกิดได้จากกิจกรรมของมนุษย์ [IARC 1983] เช่น การเผาไหม้

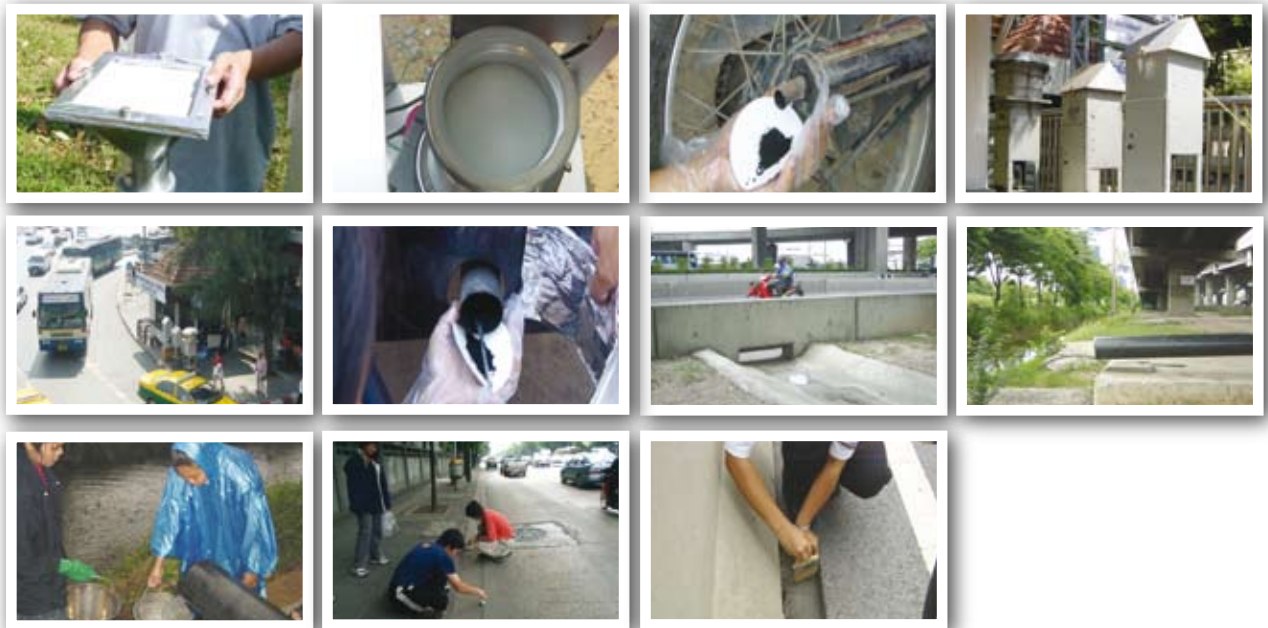
จากเครื่องยนต์ อากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสาร PAHs ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ป่า สารกลุ่มนี้บางประเภทสลายตัวยากและสามารถตกค้างและสะสมในตะกอนดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมจากเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพฯ กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลให้เกิดสาร PAHs และปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ PAHs จากการเผาไหม้ (progenic source) และ PAHs จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (petrogenic source) สารกลุ่มนี้ได้จากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้นสามารถสะสมได้ดีในไขมัน และมีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม PAHs บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น benzo[a] pyrene

การศึกษาทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจากแหล่งกำเนิดและตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เช่น ตัวอย่างอากาศทั้งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล เขม่ารถยนต์ประเภทต่างๆ ยางมะตอย ยางรถยนต์ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมกับแหล่งกำเนิดและตัวกลาง เช่น ฝุ่นจากถนนและน้ำฝน

นอกจากนั้นการศึกษาโดยใช้อัตราส่วนของสาร PAHs ชนิดต่างๆ เป็นตัวบ่งชี้ชนิดของ PAHs และเทคนิคทางสถิติในการช่วยหาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs สำหรับเทคนิคที่เลือกใช้คือ Multiple Regression Analysis



ภาพที่ 1 A) พื้นที่การศึกษา
B) คลอง
C) ฝุ่นบริเวณกรุงเทพฯ
D) ฝุ่นจากบรรยากาศ



ภาพที่ 2 การเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา (ดังภาพที่1)

- 2.1 ผุ่นจากบรรยากาศ ผุ่นจากน้ำฝน และผุ่นจากผิวถนนบริเวณที่การจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานคร
- 2.2 เขม่ารถยนต์ประเภทต่างๆ (ดีเซล เบนซิน)
- 2.3 ตัวอย่างตะกอนดินจากคลอง แม่น้ำ และบริเวณอ่าวไทยตอนบน

3. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายและการปนเปื้อนสารมลพิษกลุ่มไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมและตัวอย่างที่เป็นแหล่งกำเนิด

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์

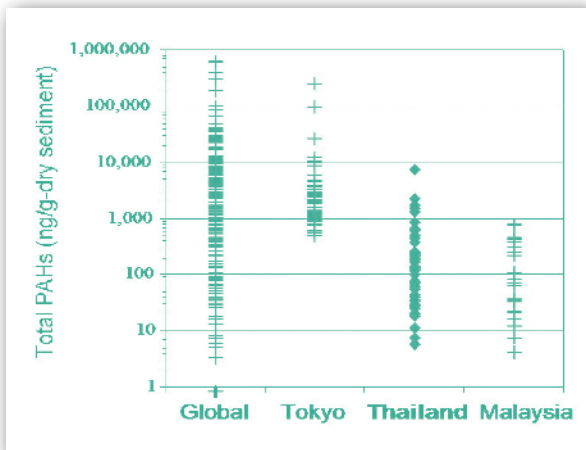
- 4.1 ความเข้มข้นและองค์ประกอบของสาร PAHs ในตัวอย่างจากแหล่งกำเนิด

สำหรับความเข้มข้นที่พบในตัวอย่างเขม่าที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซล พบความเข้มข้นเฉลี่ย 115 ± 245 ไมโครกรัม/กรัม PAHs ที่พบในตัวอย่างผุ่นจากยางรถยนต์ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เขม่า มีความเข้มข้นประมาณ 1–2 เท่า สูงกว่าความเข้มข้นที่พบในผุ่นจากถนน จึงอาจสรุปได้ว่า ยางมะตอยไม่ใช่สาเหตุหลักของ PAHs ที่พบในผุ่นถนน ความเข้มข้นของสาร PAHs (Filter+PUF) ในกรุงเทพมหานคร ตัวอย่างอากาศบริเวณริมถนนช่วง 76–189 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณชนบท (26–56 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร) แสดงให้เห็นว่าบริเวณริมถนนในเขตเมืองได้รับผลกระทบจากการจราจรซึ่งพบความเข้มข้นปริมาณสูง

อธิบายองค์ประกอบของสาร PAHs ในผุ่นจากถนนแสดงให้เห็นว่าผลจากการคำนวณทางสถิติและผลจากการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นไปในทางเดียวกัน และแสดงว่าเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซล ผุ่นจากยางรถยนต์ และน้ำมันที่



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของ PAHs ที่มีความเฉพาะตัวของตัวกลางและแหล่งที่ผลิตสาร PAHs

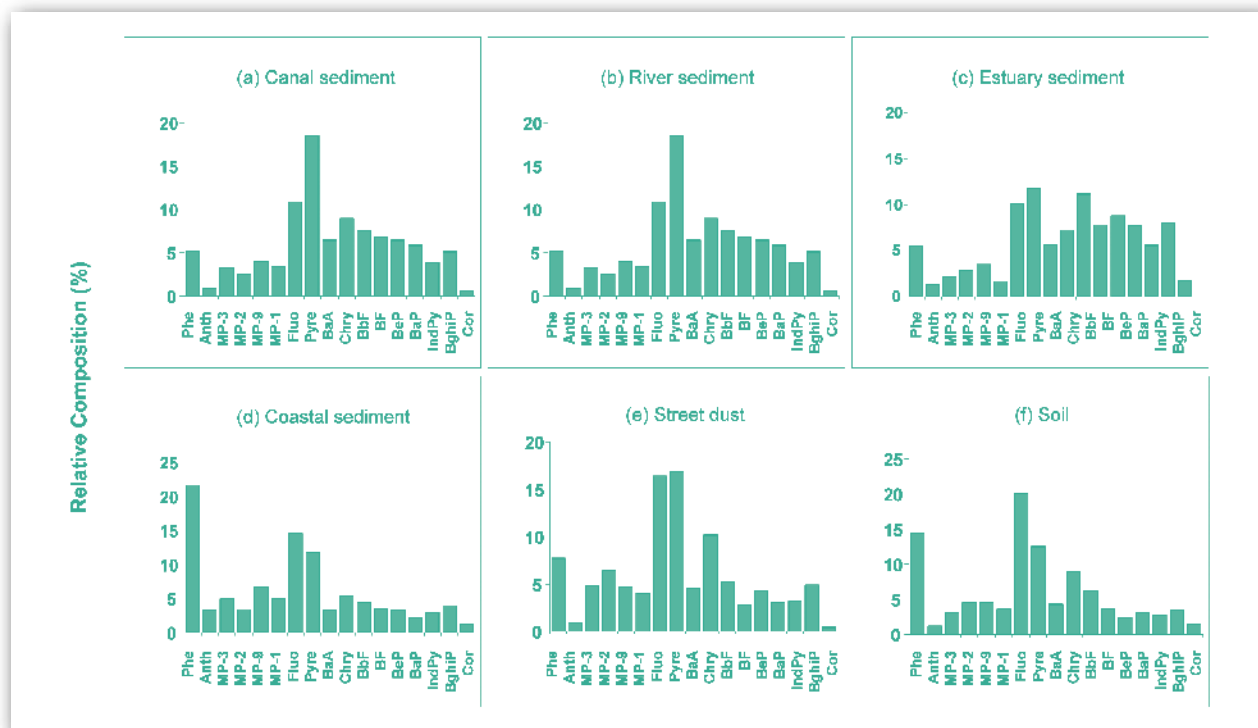


ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณแม่น้ำและชายฝั่งทะเลทั่วโลก

ใช้แล้วเป็นที่มาของการกระจายของสาร PAHs ในฝุ่นจากถนน ทำให้อนุมานได้ว่า สาร PAHs ที่สะสมในตะกอนดินก็มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับฝุ่นจากถนน ดังภาพที่ 3

4.2 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การศึกษาการกระจายตัวและแหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ในตะกอนดินบริเวณแหล่งน้ำในประเทศไทย เช่น บริเวณคลองเชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยาพบความเข้มข้น 512-8399 นาโนกรัม/กรัม (2290 ± 2556 นาโนกรัม/กรัม; $n = 8$) แม่น้ำเจ้าพระยา 33-594 นาโนกรัม/กรัม (263 ± 174 นาโนกรัม/กรัม; $n = 11$), ปากแม่น้ำ 30-724 นาโนกรัม/กรัม (179 ± 222 นาโนกรัม/กรัม; $n = 9$) และชายฝั่งทะเลของประเทศไทย 6-228 นาโนกรัม/กรัม (50 ± 56 นาโนกรัม/กรัม; $n = 14$). ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่าการปนเปื้อนสาร PAHs ในประเทศไทยอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาบริเวณคลอง แม่น้ำและชายฝั่งทะเลอื่นๆ ทั่วโลก ดังภาพที่ 4 เพื่อบอกความแตกต่างของสาเหตุการปนเปื้อนสาร PAHs สรุปได้ว่าตะกอนดินบริเวณ



ภาพที่ 5 องค์ประกอบของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน ดิน และฝุ่นจากถนน

คลองซอยส่วนมากพบรูปแบบ petrogenic คือ ปนเปื้อนจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมทั้ง 2 รูปแบบผสมกัน คือ PAHs จากการเผาไหม้และจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ดังภาพที่ 5

ความเข้มข้นของ PAHs ในบรรยากาศสรุปได้ดังนี้ PAHs ที่พบบริเวณข้างถนน (Filter+PUF: 76–189 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร) มีความเข้มข้นสูงกว่า PAHs บริเวณริมถนน (filter+PUF: 26–56 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเนื่องจากการจราจรที่หนาแน่นในเมืองเป็นสาเหตุหลัก ความเข้มข้นที่คำนวณแบบ weight - based บริเวณริมถนนมีความเข้มข้น (100 ± 35 ไมโครกรัม/กรัม)

ความเข้มข้นที่คำนวณแบบ Volume-based ของ PAHs จากตัวอย่าง runoff มีความเข้มข้นต่างกันมาก คือพบความเข้มข้นช่วง 291–4934 นาโนกรัม/ลิตร ความเข้มข้นที่คำนวณแบบ weight - based มีความเข้มข้นช่วงแคบๆ ($4.9\text{--}14.6$ ไมโครกรัม/กรัม) และไม่พบความแตกต่างมากนักระหว่างฝุ่นจากน้ำฝนช่วงต้นฤดู

(10.8 ± 2.4 ไมโครกรัม/กรัม, $n = 13$) หรือฝุ่นจากฝนช่วงกลางฤดู (8.9 ± 3.4 ไมโครกรัม/กรัม, $n = 9$)

4.3 การเคลื่อนย้ายสารพิษของสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอน สู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างทั้งจากแหล่งกำเนิดและการตกค้างในสิ่งแวดล้อม ทำให้สามารถเข้าใจได้ว่าสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมีการกระจายอยู่ทั่วไปและมอดั้ประกอบที่ต่างกันทำให้สามารถทราบแหล่งที่มาของกลุ่มดังกล่าว และจากผลทางสถิติสามารถนำมาใช้ประมวลแหล่งที่มาที่มีการถ่ายทอดจากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อมเนื่องจากมอดั้ประกอบที่เหมือนกัน การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารพิษนั้นจะพิจารณาจากองค์ประกอบที่เหมือนกันระหว่างตัวกลางของแหล่งกำเนิดและตัวกลางในสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นการพิจารณาถึงความเข้มข้นที่ต่างกันของประเภทของตัวอย่าง และจากหลักฐานการสำรวจและตรวจวิเคราะห์

พบว่าความเข้มข้น PAHs จากฝุ่น runoff มีความเข้มข้นสูงประมาณ 1 เท่าของความเข้มข้น PAHs ที่พบในตะกอนดิน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า PAHs จากฝุ่นบนถนนถูกพัดพาและสะสมที่ตะกอนดินในคลองบริเวณใกล้เคียง นอกจากนั้นพบว่าความเข้มข้นของ PAHs จากฝุ่นจากถนน (1.1 ± 0.8 ไมโครกรัม/กรัม) มีความเข้มข้นของ PAHs ต่ำกว่าฝุ่นจาก runoff (10.0 ± 2.9 ไมโครกรัม/กรัม) ความแตกต่างของความเข้มข้นสามารถอธิบายได้จากขนาดของอนุภาคทำให้เกิดการเกาะกันระหว่าง อนุภาคฝุ่นจากถนนจะมีอนุภาคเล็กและมีน้ำหนักเบาซึ่งมักจะเป็น high molecular weight ดังนั้นจึงไม่ค่อยละลายในน้ำฝน ความเข้มข้นของ PAHs จากฝุ่นในน้ำฝน (runoff) มี PAHs สูงกว่ายางรถยนต์ การวิเคราะห์ด้วย Multiple regression analysis อธิบายองค์ประกอบของสาร PAHs ในฝุ่นจากถนนที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งที่ผลิตสาร PAHs เช่น ยางรถยนต์ เขม่าจากเครื่องยนต์ น้ำมันที่ใช้แล้ว ฝุ่นจากน้ำฝน เป็นต้น จากการคำนวณ coefficient of determination (R^2) = 0.60 แสดงว่าความสัมพันธ์ของแหล่งที่ผลิตสาร PAHs และ PAHs ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นมีความสัมพันธ์กัน (R^2 ช่วง 0.5–0.85)

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษา PAHs อธิบายการเคลื่อนย้ายของสาร PAHs สู่สิ่งแวดล้อมโดยการเปรียบเทียบองค์ประกอบและความเข้มข้นของการพบสาร PAHs ในตัวอย่างประเภทต่างๆ จากองค์ประกอบพบว่าสาร PAHs มีแหล่งที่มาจากฝุ่นละอองที่มาจากยางรถยนต์ที่สึกกร่อนและสะสมอยู่บนถนน และเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ประเภทดีเซลรวมทั้งการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นเป็นหลัก จากผลการศึกษาฝุ่นจากน้ำฝนที่ชะถนน (runoff) พบว่ามีองค์ประกอบที่เหมือนกันสำหรับฝุ่นจากถนนและฝุ่นจากน้ำฝน นอกจากนั้นความเข้มข้นที่พบมีปริมาณที่สามารถอนุมานได้ว่าสาร PAHs ที่ฟุ้งกระจายใน

บรรยากาศและตกสะสมบนผิวนอนนั้นสามารถถูกพัดพาโดยน้ำฝนและไหลลงสู่แหล่งน้ำ เช่น คลองในบริเวณกรุงเทพมหานคร จากนั้นสาร PAHs จะถูกพัดพาสู่แหล่งน้ำอื่นๆ เช่น แม่น้ำ ทะเล

6. เอกสารอ้างอิง

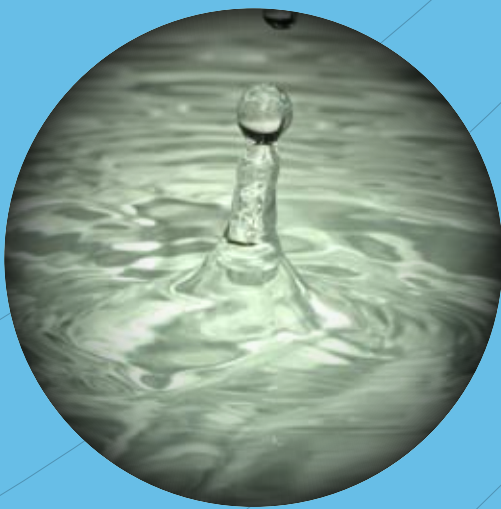
- Ruchaya Boonyatumanond., Gullaya Wattayakorn., Ayako Togo., Hideshige Takada. (2006) Distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediments in Thailand. Marine Pollution Bulletin 52, 942-956
- Ruchaya Boonyatumanond., Michio Murakami., Gullaya Wattayakorn., Ayako Togo., Hideshige Takada. (2007) Source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust in a tropical Asian mega-city, Bangkok, Thailand. Science of The total Environment, 384, 420-432.
- Ruchaya Boonyatumanond., Gullaya Wattayakorn., Atsuko Amano., Yoshio Inouchi., Hideshige Takada. (2007) Reconstruction of pollution history of organic contaminants in the upper Gulf of Thailand by using sediment cores: First report from Tropical Asia Core (TACO). Marine Pollution Bulletin. 54, 554-565
- Ruchaya Boonyatumanond., Michio Murakami., Hideshige Takada., Gullaya Wattayakorn (2007). Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments, Thailand. Japan Society for Environmental Chemistry Conference, Japan, 21-25 June 2007

Ruchaya Boonyatumanond., Sunitra Thongklieng.
(2007) Distribution of persistent organic
pollutants (POPs) in water and sediment from
aquatic environment, Thailand. LIPI-JSPS
International Seminar on coastal marine
science Yogyakarta, Indonesia, August 3-5,
2007

IARC (1983). International Agency for search in
Cancer. Monographs on the evaluation of the
carcinogenic risk of chemical to humans
polycyclic aromatic compounds, Part I
chemical, environmental and environmental
data, Lyon, 32 



งานวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีด้านน้ำ



- การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก
Application of the appropriate wastewater treatment for small-sized pig farm
- โครงการศึกษาการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูน
Volatile Organic Compounds (VOCs) in Groundwater at Northern Region Industrial Estates (NRIE) Area, Lamphun province
- โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางจากวัสดุเหลือใช้ธรรมชาติ
Research on development of anaerobic filter tank by using natural waste media



การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก

Application of the appropriate wastewater treatment for small-sized pig farm

สุทิยา ศรีลาชัย พนมพร วงษ์ปาน และวิวรรณ์ กุณาเอก

Sutiab SRILACHAI, Panomporn WONGPAN and Viwat KUNA-EK

บทคัดย่อ

ส่วนประกอบของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีลักษณะเป็นสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง การบำบัดน้ำเสียดังกล่าวโดยใช้เพียงระบบถังกรองไร้อากาศสามารถที่จะลดความสกปรกในรูปของบีโอดี และซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 แต่เนื่องจากค่าความสกปรกเริ่มต้นมีค่อนข้างสูงจึงทำให้ความสกปรกที่เหลืออยู่ก็ยังมีค่าที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน การใช้ระบบบึงประดิษฐ์ร่วมกับถังกรองไร้อากาศสามารถที่จะลดความสกปรกส่วนที่เหลือในรูปของบีโอดี และซีโอดีให้เหลือต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับฟาร์มสุกร โดยในการทดสอบกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาด 5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน การใช้ถังกรองไร้อากาศอย่างเดียวสามารถลดความสกปรกในรูปบีโอดี จาก 2,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถที่จะลดความสกปรกในรูปซีโอดี จาก 2,000-4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือประมาณ 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำน้ำเสียมารับบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์ที่มีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 5 วัน สามารถลดความสกปรกในรูปของบีโอดี ให้เหลือต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดี ต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่ามาตรฐานของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กสำหรับบีโอดี และซีโอดี ต้องไม่เกิน 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ข้อที่ควรคำนึงมากที่สุดเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กก็คือความรู้ ทักษะ และการดูแลเอาใจใส่ต่อระบบบำบัดน้ำเสียของเจ้าของฟาร์มนั่นเอง

คำสำคัญ: ระบบบำบัดน้ำเสีย ถังกรองไร้อากาศ บึงประดิษฐ์ ฟาร์มสุกรขนาดเล็ก

Abstract

Wastewater from pig farms is composed majority of organic substances. Using Anaerobic Filter Tank can decrease the BOD and COD more than 80 percent. Because of the pig farm wastewater has high organic concentrations, the effluent should be further treated by constructed wetland. This experiment treated wastewater from a pig farm about 5 m³/day and could decrease the BOD concentrations from 2,000-3,000 mg/L to 200-400 mg/L and could decrease the COD concentrations from 2,000-4000 mg/L to 200-500 mg/L. The constructed wetland could decrease the BOD further to less than 100 mg/L and could decrease the COD further to less than 200 mg/L. The effluent standards of wastewater from small-sized pig farms indicate that BOD and COD concentrations must not exceed 100 and 400 mg/l, respectively. However, the owners of small-sized pig farms should have the knowledge, skill and interests to operate the wastewater treatment plants themselves.

Keyword: Wastewater treatment plant, Anaerobic filter tank, Constructed wetland, Small-sized pig farm

1. บทนำ

ฟาร์มสุกร ถือเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียซึ่งถือเป็นปัญหามลพิษในอันดับต้นๆ หรืออาจจะเรียกได้ว่าเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอันดับแรกและมีการกล่าวถึงมากที่สุดในขณะนี้ ซึ่งปัจจุบันได้มีการประกาศให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ได้กำหนดให้การเลี้ยงสุกรประเภท ก หรือฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ และการเลี้ยงสุกรประเภท ข หรือฟาร์มขนาดกลาง จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตที่ตั้ง ส่วนการเลี้ยงสุกรประเภท ค หรือฟาร์มขนาดเล็กนั้น ในปัจจุบันนี้ยังไม่ได้มีมาตรการบังคับใช้มาตรการดังกล่าว

จากมาตรการดังกล่าว ได้ส่งผลให้ฟาร์มสุกรเกือบทุกแห่งได้ดำเนินการก่อสร้าง ปรับปรุง หรือแก้ไขระบบบำบัดน้ำเสียของตนเองเพื่อให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดรวมทั้งฟาร์มสุกรขนาดเล็กหลายแห่งก็ได้มีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรของตนเอง แต่จากการตรวจสอบพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียหลายแห่งไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งก็มาจากหลายๆ สาเหตุ เช่น การขาดความรู้หรือทักษะเกี่ยวกับการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียของเจ้าของฟาร์มเอง ระบบท่อหรือการไหลเวียนน้ำเสียของระบบไม่เหมาะสมขนาดของระบบไม่เพียงพอกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริง หรือแม้แต่นิดของระบบที่เลือกใช้บางครั้งก็ยังมีจุดด้อยในบางแห่ง โดยระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการแนะนำสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็กก็คือนำน้ำเสียไปบำบัดในถังหมักและอาจจะแนะนำให้บำบัดต่อด้วยการใช้บ่อฝัง

การใช้ระบบถังกรองไร้อากาศสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์เช่นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรถือว่ามีความเหมาะสม เพราะเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วย

วิธีการทางชีววิทยาที่ไม่ใช้อากาศภายในถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter Tank) ที่บรรจุตัวกรอง/ตัวกลาง (Filter Medias) สำหรับเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียประเภทไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Bacteria) โดยตัวกลางที่ดีนั้นควรจะเป็นสารไม่ย่อยสลาย เช่น พลาสติกหรือพีวีซี มีพื้นที่หรือพื้นที่ผิวสัมผัสมากๆ เพื่อให้แบคทีเรียสามารถยึดเกาะได้ดีซึ่งเมื่อน้ำเสียไหลเข้าสู่ถังกรองผ่านตัวกลางแล้วจะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับแบคทีเรียจะทำให้เกิดการย่อยสลายของของเสียเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียบางส่วนก็จะเกิดการย่อยสลายไปพร้อมกับการสร้างเซลล์ใหม่สำหรับการบำบัดน้ำเสียในครั้งต่อไป แต่ปัญหาที่พบคือระบบดังกล่าวยังไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้เต็มที่เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเสียที่มาจากฟาร์มสุกรเอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความสกปรกของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปของบีโอดี และซีโอดีมีค่าสูงถึง 1,500-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 4,000-7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบดังกล่าวยังมีความสกปรกในรูปดังกล่าวค่อนข้างสูง ในขณะที่บ่อฝังที่มีการแนะนำให้ใช้เสริมกับการบำบัดน้ำเสียจากถังกรองไร้อากาศนั้น เป็นการบำบัดน้ำเสียรูปแบบหนึ่งที่มีกลไกการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยหลักการตามธรรมชาติ เช่น การย่อยสลายของเสียโดยแบคทีเรีย การสังเคราะห์แสงเพื่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการหมักเพื่อให้เกิดก๊าซมีเทน

บึงประดิษฐ์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ โดยหลักการทำงานจะคล้ายคลึงกับบ่อฝัง หากแต่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะดีกว่าเนื่องจากในบึงประดิษฐ์จะมีกลไกของการใช้พืชชนิดต่างๆ ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย และนอกจากนี้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ยังน้อยกว่าบ่อฝังอีกด้วย ซึ่งในการก่อสร้างบึงประดิษฐ์โดยทั่วไปจะนิยมปลูกต้นกก และธูปฤๅษีเป็นหลัก แต่ก็ยังมีพืชชนิดอื่นอีกหลายชนิดที่กำลังได้รับความสนใจ เช่น

หญ้าแฝก หรือคล้าน้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะคล้าน้ำนั้น จากคุณสมบัติทั่วไปที่พบว่าพืชดังกล่าวเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในน้ำที่มีความลึกได้ถึงประมาณ 25–40 เซนติเมตร เป็นพืชล้มลุกมีอายุหลายปี เจริญเติบโตได้เร็ว และที่สำคัญคือขึ้นในดินเหนียวที่ชุ่มชื้นและมีอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งเป็นคุณลักษณะหนึ่งของน้ำเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร นอกจากนี้ต้นคล้าน้ำยังสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างเช่น การใช้งานด้านภูมิทัศน์ (Landscape Used) เนื่องจากดอกสวย ปลูกประดับริมสระน้ำ หรือปลูกในกระถางประดับตามอาคารได้ ช่อดอกยังสามารถนำมาปักแจกันได้นานหลายสัปดาห์ พอดอกเหี่ยวแห้งแล้วนำมาทำดอกไม้แห้งได้

ดังนั้น การศึกษารูปแบบการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็กโดยการใช้ระบบถังกรองไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ที่มีการปลูกพืชที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาถึงเทคนิคหรือวิธีการดูแลและบำรุงรักษาระบบที่เหมาะสม และหากมีการเผยแพร่เพื่อให้เกิดการขยายผลอย่างเป็นรูปธรรมแล้ว จะสามารถลดการปล่อยน้ำเสียจากแหล่งดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการศึกษา

2.1 การสำรวจและคัดเลือกพื้นที่

ดำเนินการสำรวจฟาร์มสุกรในพื้นที่จังหวัดนครปฐมเพื่อคัดเลือกสำหรับการทดสอบระบบ โดยเน้นฟาร์มสุกรขนาดเล็ก และเคยก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแล้วการดำเนินงานไม่ได้ผล ผลการสำรวจข้อมูลในเบื้องต้นก่อนการดำเนินการคัดเลือกสถานที่ที่จะดำเนินการปรับปรุงและทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยเฉพาะฟาร์มสุกรขนาดเล็กนั้น พบว่า ฟาร์มขนาดเล็กส่วนมากจะมีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียตามแบบที่มีการแนะนำมาแล้วก็ตาม แต่ก็พบว่าหลายแห่งไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการสำรวจพบว่าปัญหาหลักๆ ที่เกิดขึ้น 2 ด้าน คือ ด้านเทคนิคและด้านการจัดการ

โดยด้านเทคนิคที่พบจะประกอบไปด้วย

- การก่อสร้างระบบไม่เพียงพอกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งอาจจะเกิดจากการคำนวณปริมาณน้ำเสียที่ไม่ถูกต้อง หรือการก่อสร้างอาจไม่ได้ทำตามแบบที่แนะนำไว้ หรือบางครั้งเจ้าของฟาร์มอาจจะมีการปกปิดข้อมูลบางส่วน
- ระดับการไหลหรือความลาดเอียงของท่อน้ำเสียของระบบหลายๆ แห่งไม่เหมาะสม เช่น ระดับพื้นของตัวอาคารของฟาร์มสุกรมีระดับที่ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าท่อน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ ทำให้น้ำเสียไม่สามารถเข้าสู่ระบบได้อย่างเต็มที่ เกิดการไหลย้อนกลับ และเกิดการอุดตัน
- ระบบท่อสำหรับให้น้ำเสียไหลในระบบมีขนาดเพียง 4 นิ้ว ในขณะที่น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีลักษณะพิเศษ คือ มีความหนืดมาก และเมื่อทิ้งไว้สักกระยะหนึ่งจะเกิดการลอยตัวและจับตัวเหนียวและแข็ง ทำให้เกิดการอุดตันในท่อได้ง่ายและเร็ว

ส่วนด้านการจัดการ ปัญหาที่พบจะเป็นในเรื่องของการมีส่วนร่วมของเจ้าของฟาร์มเป็นหลัก โดยเฉพาะหลังจากการก่อสร้างระบบแล้วเสร็จ ไม่มีการแนะนำเจ้าของฟาร์มเกี่ยวกับการดูแลและบำรุงรักษาระบบให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เช่น ต้องมีการตักตะกอนออกนอกจากบ่อแยกตะกอน อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เหมาะสม เป็นต้น

จากการสำรวจพบว่าฟาร์มสุกรแห่งหนึ่งในตำบลท่ากระชับ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม มีความเหมาะสม โดยฟาร์มดังกล่าวเป็นฟาร์มสุกรขนาดเล็ก มีน้ำเสียประมาณวันละ 5 ลูกบาศก์เมตร และเคยได้ดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับฟาร์มสุกรตามแบบที่มีการแนะนำ แต่ก็พบว่าการบำบัดน้ำเสียไม่ได้ผล เนื่องจากว่าน้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดมูลสุกรไม่สามารถที่จะไหลลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยพื้นของฟาร์มสุกรที่ล้างน้ำเสียมียกระดับต่ำกว่าท่อระบายน้ำเสียที่จะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย และในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย นั้น

ภาพที่ 2 : มุมมองจากด้านข้างของระบบถังกรองไร้อากาศ

2.2 การปรับปรุงและดูแล บำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย

จากสภาพปัญหาที่พบจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งในเบื้องต้นได้ดำเนินการในส่วนของการมีส่วนร่วมของเจ้าของฟาร์ม โดยการชี้แจงโครงการกับเจ้าของฟาร์มเพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ พบว่าได้รับการตอบรับเป็นอย่างดี หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงระบบอีกครั้งโดยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งในการดำเนินการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียนอกจากจะทำการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยถังกรองไร้อากาศแล้ว ยังทดสอบการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากถังกรองไร้อากาศด้วยบึงประดิษฐ์อย่างง่าย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความเหมาะสมของการบำบัดร่วมกันทั้งสองแบบด้วย ซึ่งการดำเนินงานการปรับปรุง และการดูแลรักษาแต่ละระบบมีขั้นตอนและวิธีการที่สำคัญ ดังนี้

ระบบถังกรองไร้อากาศ

การปรับปรุงและก่อสร้าง

แบบสำหรับการก่อสร้างจะคล้ายคลึงกับแบบมาตรฐานระบบถังกรองไร้อากาศสำหรับฟาร์มสุกรของกรมปศุสัตว์ คือ เมื่อมีน้ำเสียจากการทำความสะอาดฟาร์มสุกรจะเข้าสู่ถังแยกตะกอนเพื่อแยกตะกอนลอยและ

ตะกอนหนัก จากนั้นจะเข้าสู่ถังเกรอะ และผ่านไปสู่อ่างกรองไร้อากาศที่ใส่ตัวกลางเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเพื่อย่อยสลายของเสีย โดยทั้งบ่อเกรอะและถังกรองไร้อากาศต้องปิดฝาให้สนิท ใช้ท่อพีวีซีขนาด 1 – 2 นิ้ว ทำเป็นท่อระบายอากาศ ส่วนที่แตกต่างจากแบบมาตรฐานก็คือการเพิ่มขนาดของท่อพีวีซีจาก 4 นิ้วเป็น 6 นิ้ว และเพิ่มความลาดเอียงให้มากขึ้นประมาณ 5:100 โดยในขั้นตอนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุด และสามารถที่จะแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบที่เคยได้มีการก่อสร้างมาแล้วจำเป็นต้องมีการคำนวณปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริง และขนาดของระบบให้เหมาะสม ซึ่งการปรับปรุงและก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีขั้นตอนวิธีการ และข้อควรระวังในการก่อสร้าง ดังนี้

- จัดเตรียมพื้นที่สำหรับจัดทำระบบฯ อาจจะเป็นที่เดิม แต่หากยังไม่เคยทำระบบมาก่อน ควรหาสถานที่ที่ไม่ใช้ดินที่เกิดจากการฝังกลบใหม่ และควรมีระดับที่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน แต่หากเป็นดินที่เกิดจากการฝังกลบและระดับน้ำใต้ดินสูง อาจจะต้องเตรียมเครื่องมืออื่นๆ ประกอบในขั้นตอนของการขุดหลุมเพื่อเทพื้นและวางท่อซีเมนต์ เช่น เครื่องสูบน้ำ เสาค้ำเข็ม เหล็กแผ่นหรือแผ่นปูนเพื่อป้องกันการพังทลายของดินรอบบ่อ เป็นต้น

- จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ โดยหากมีน้ำเสียที่มากกว่า 5 ลบม. แต่ไม่เกิน 10 ลบม. ก็ยังถือว่าเป็นฟาร์มสุกรขนาดเล็ก ดังนั้นสามารถใช้รูปแบบการบำบัดโดยระบบถังกรองไร้อากาศได้ แต่ต้องเพิ่มขนาดเป็น 2 เท่าหรือเพิ่มระบบบำบัดอีก 1 ชุด

- ทำการขุดหลุมขนาดประมาณกว้าง 5 เมตร ยาว 10 เมตร และลึกประมาณ 3 เมตร ในการขุดอาจจำเป็นต้องใช้รถแบ็คโฮล และหากมีน้ำไหลออกมาและดินรอบบ่อไม่อยู่ตัว อาจจำเป็นต้องทำเชือกกันโดยรอบและสูบน้ำทิ้ง

- ทำการเทพื้นด้านล่างให้มีความหนาประมาณ 10 – 20 เซนติเมตร เพื่อจะรองรับวงขอบซีเมนต์ โดยจะต้องมีการเสริมตะแกรงเหล็กเพื่อความแน่นหนาด้วย

- ทำการวางวงขอบซีเมนต์โดยจะต้องวางให้สนิทและได้ระดับ ซึ่งในการวางอาจจะต้องใช้รถแบ็คโฮลช่วยยก เนื่องจากท่อมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก

- ยาวขอบช่องว่างระหว่างท่อซีเมนต์ให้สนิท เนื่องจากระบบดังกล่าวนี้เป็นระบบที่ไม่ใช้อากาศ และนอกจากนี้เพื่อป้องกันน้ำเสียจากระบบไหลออกภายนอกโดยที่ยังไม่ได้บำบัดและป้องกันน้ำจากภายนอกเข้าสู่ระบบซึ่งอาจจะเพิ่มปริมาณน้ำเสียโดยเปล่าประโยชน์

- เมื่อปูนที่ยาขอบแห้งสนิทแล้ว ก็ทำการเจาะรูท่อซีเมนต์เพื่อวางท่อพีวีซีสำหรับให้น้ำเสียไหลเวียนในระบบ โดยในขั้นตอนนี้ค่อนข้างจะมีความสำคัญ เนื่องจากหากการวางท่อพีวีซีไม่ได้ระดับที่เหมาะสม อาจจะทำให้ น้ำเสียไม่ไหลเวียนและเกิดการอุดตัน โดยข้อควรคำนึงก็คือระดับหรือความลาดเอียงของท่อพีวีซีจากจุดกำเนิดน้ำเสียไปยังปลายทางและในแต่ละช่วงต้องไม่น้อยกว่า 1:100 และในที่นี้แนะนำให้ใช้ท่อพีวีซีขนาด 6 นิ้ว แทนจากแบบเดิมที่ใช้ขนาด 4 นิ้วที่ทำให้เกิดการอุดตันได้ง่าย โดยอาจจะใช้ท่อพีวีซีชนิดบางหรือชนิดที่ใช้กับน้ำเสียก็ได้ เพราะมีราคาที่ถูกลงกว่า

- นำตัวกลางหรือ media ใส่ลงในถังกรองไร้อากาศทั้ง 4 บ่อ เพื่อให้เป็นที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์ในการย่อยของเสียที่เหลือจากถังเกรอะ โดยใส่บ่อละประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร (ประมาณ 3,600 อัน)

การดูแลและบำรุงรักษา

หลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงแล้วเสร็จก่อนและระหว่างเดินระบบบำบัดน้ำเสีย ต้องมีการตรวจสอบและดูแลระบบให้มีความเหมาะสมเพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสิ่งสำคัญที่จะต้องปฏิบัติมีดังนี้

- สำรวจและปรับระดับการไหลของน้ำภายในตัวอาคารโดยทำท่อหรือระบบรวบรวมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่จะลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแยกออกจากรางระบายน้ำฝน โดยรางระบายน้ำเสียควรอยู่ภายในหลังคาโรงเรือนเพื่อป้องกันการผสมกับน้ำฝนและนำน้ำเสียสู่บ่อแยกตะกอน ส่วนรางระบายน้ำฝนอาจจะระบายสู่ภายนอกโดยตรงหรือระบายลงสู่พื้นที่ว่างทั่วไปก็ได้
- ตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของถังต่างๆ ของระบบให้ละเอียดถี่ถ้วนก่อน เช่น มีการรั่วซึมของน้ำจากภายนอกเข้าสู่ระบบหรือไม่ มีการอุดตันของท่อพีวีซีหรือไม่ เป็นต้น
- เริ่มเดินระบบโดยการล้างทำความสะอาดฟาร์มตามปกติและสังเกตดูว่าการไหลของน้ำลงสู่บ่อแยกตะกอนได้สะดวกหรือไม่ โดยในครั้งแรกนั้น น้ำจากการล้างทำความสะอาดจะมีปริมาณที่พอดีกับกับบ่อแยกตะกอน ซึ่งตะกอนหนักเช่นมูลสุกรก็จะตกลงสู่ก้นบ่อ ส่วนบริเวณผิวด้านบน เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงจะเกิดเป็นไขหรือตะกอนลอยบริเวณผิวด้านบน ซึ่งถ้าทิ้งไว้นานจะเกิดการแข็งตัวมากขึ้น และอาจจะเกิดการอุดตันในระบบได้
- ตักตะกอนบริเวณผิวด้านบนออกอย่างสม่ำเสมอ โดยเครื่องมือตักที่ค่อนข้างจะได้ผลก็คือใช้

ลักษณะที่เป็นตาข่ายซึ่งมีรูระบายขนาดเล็ก โดยจะทำการตักออกเฉพาะตะกอนลอยเท่านั้น ส่วนที่เป็นน้ำเสียจะไหลลงสู่บ่อเกรอะ เพื่อเข้าไปบำบัดในระบบต่อไป

- หมั่นตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบให้มีประสิทธิภาพอยู่เสมอ เช่น ในบ่อแยกตะกอนนอกจากจะต้องตักตะกอนลอยออกทุกวันแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบตะกอนหนักซึ่งส่วนมากจะเป็นมูลตะกอนที่อยู่ด้านล่างเป็นประจำด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟาร์มที่ไม่มีการกวาดมูลสุกรออกก่อนการฉีดล้างนั้นจะทำให้เกิดการสะสมของตะกอนหนักเร็วมาก ซึ่งเมื่อมีปริมาณที่ค่อนข้างมาก เช่น มากกว่า 1 ลบม. หรือสูงกว่าท่อซีเมนต์ตอนที่ 2 จากด้านล่างก็ควรต้องตักหรือสูบออก

- ตะกอนหนักหรือตะกอนที่จมลงสู่ก้นถังทั้งในบ่อแยกตะกอนและถังเกรอะนั้น สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก เช่น นำไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชได้ โดยก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะต้องตากให้แห้งก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการจัดสร้างลานทรายตากตะกอน (Sand Bed) เพราะนอกจากจะสามารถช่วยให้ตะกอนแห้งเร็วแล้วยังป้องกันการแพร่กระจายสู่ภายนอกด้วย โดยอาจจะมีการวางตะแกรงหรือตาข่ายไว้บนทรายอีกชั้นเพื่อความสะดวกสำหรับตักตะกอนหลังจากแห้งแล้ว

บึงประดิษฐ์

เป็นระบบที่จัดทำขึ้นมาใหม่เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ การบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศแล้ว โดยการจัดทำระบบบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบนั้น เป็นการจัดทำระบบบึงประดิษฐ์เพื่อทดสอบการบำบัดน้ำเสียประมาณ วันละ



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการปรับปรุงและดูแลระบบถังกรองไร้อากาศ

1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีขั้นตอนการจัดทำและดูแลบำรุงรักษา ดังนี้

- ทำการขุดบ่อดินบริเวณใกล้เคียงถังกรองไร้อากาศ โดยบ่อดินที่ทำการขุดต้องสามารถที่จะเก็บกักน้ำเสียเพื่อการบำบัดประมาณ 5 วัน
- ทำการปลูกพืชชนิดต่างๆ ในบึงประดิษฐ์ โดยในเบื้องต้นทำการปลูกพืช 4 ชนิด คือ ต้นกก กล้วยฉี่ คล้าน้ำ และหญ้าแฝก

พืชที่ทำการปลูกในบึงประดิษฐ์เมื่อเริ่มดำเนินโครงการประกอบไปด้วยต้นกก กล้วยฉี่ คล้าน้ำ และหญ้าแฝกที่ทำการปลูกไว้บนแผ่นโฟม แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 2 สัปดาห์ พบว่าพืชชนิดต่างๆ ยังไม่มีการเจริญเติบโตเท่าใดนัก แต่หลังจากนั้นพบว่าคล้าน้ำคือพืชที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมาคือหญ้าแฝก ส่วนต้นกก และกล้วยฉี่ พบว่ามีการเจริญเติบโตได้ช้ามาก ดังนั้นจึงทำการปลูกคล้าน้ำแทนพืชอื่นๆ ซึ่งเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 2 เดือน พบว่าคล้าน้ำเจริญเติบโตได้ดี ในการดูแลระบบต้องพยายามตัดต้นแก่และตายแล้วออกไปทิ้ง รวมทั้งอย่าให้มีการขึ้นหนาแน่นเกินไปเพราะจะทำให้เสียพื้นที่รองรับน้ำเสีย โดยคล้าน้ำยังเป็นพืชที่สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายส่วนโดยเฉพาะใบและดอกที่ขณะนี้นิยมนำไปจัดเป็นช่อดอกไม้ตามสถานที่ต่างๆ และหากต้นมีจำนวนมาก สามารถที่จะขยายพันธุ์เพื่อนำไปจำหน่ายได้อีกด้วย

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการดำเนินการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเดิมที่ไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น มีการคำนวณปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละวันตามวิธีการที่ได้นำเสนอมาแล้ว มีการปรับเปลี่ยนขนาดของท่อไหลเวียนน้ำในระบบถังกรองไร้อากาศจากขนาด 4 นิ้วเป็น 6 นิ้ว รวมทั้งการปรับในเรื่องของความลาดเอียงของระบบในแต่ละจุดเพื่อให้



ภาพที่ 4 การดูแลควรมีการตัดแต่งกิ่งคล้าน้ำเสมอ

น้ำเสียสามารถที่จะไหลได้สะดวกและไม่เกิดการอุดตัน และที่สำคัญที่สุดก็คือในทุกขั้นตอนของการปรับปรุงและดูแลระบบ ได้ให้เจ้าของฟาร์มเข้ามามีส่วนร่วมและเสนอความคิดเห็นได้ในทุกขั้นตอน เช่น การคำนวณปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละวัน วิธีการและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการตกตะกอนลอยหรือดูดตะกอนที่ก้นบ่อ รวมทั้งการสังเกตลักษณะของน้ำเสียในแต่ละวัน และในการปรับปรุงเพิ่มเติมบึงประดิษฐ์ต่อจากถังกรองไร้อากาศ เจ้าของฟาร์มก็มีส่วนร่วมในการคัดเลือกชนิดของพืชที่จะใช้ปลูก เป็นต้น ซึ่งผลจากการทดสอบและติดตามผลการบำบัดน้ำเสียของระบบดังกล่าวพบว่าการไหลเวียนของน้ำเสียในระบบถังกรองไร้อากาศไม่เกิดการอุดตันเหมือนเดิมแต่อย่างใด เจ้าของฟาร์มมีความสามารถในการดูแลและบำรุงรักษาระบบเป็นอย่างดี เช่น มีการตกตะกอนลอยที่เกิดขึ้นในบ่อแยกตะกอนเป็นประจำ ให้ความสนใจในการดูแลความสะอาดของฟาร์มและระบบบำบัด

จากการทดสอบเดินระบบตามรูปแบบที่ทำการปรับปรุงและทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละจุดของระบบ โดยเน้นการวิเคราะห์ความสกปรกในรูปของซีโอดีและบีโอดีเป็นหลัก พบว่า น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ลงสู่บ่อแยกตะกอนจะมีค่าความสกปรกในรูปดังกล่าวประมาณ 2,000-4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านบ่อเกรอะจะ

สามารถลดความสกปรกให้เหลือประมาณ 500-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศจะสามารถลดความสกปรกให้เหลือประมาณ 200-500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแต่ละครั้งค่าความสกปรกในรูปซีโอดีจะมีค่าสูงกว่าบีโอดีประมาณ 1.0-1.5 เท่า

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศแล้ว เมื่อผ่านการบำบัดต่อด้วยบ่อกึ่งจะ สามารถลดค่าความสกปรกลงได้อีกเล็กน้อย คือค่าซีโอดีจะลดเหลือประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าบีโอดีเหลือประมาณ 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่หากนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศแล้วมาบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์ จะสามารถลดค่าความสกปรกในรูปซีโอดีและบีโอดีให้เหลือต่ำกว่า 200 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร กำหนดมาตรฐานของค่าซีโอดีและบีโอดีไม่เกิน 400 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนค่าความสกปรกในรูปของไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น มีค่าที่ค่อนข้างต่ำทั้งก่อนและหลังการบำบัด ดังตาราง

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลสำรวจพื้นที่และปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย

จากฟาร์มสุกรขนาดเล็กโดยการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ช่วยบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศแล้ว สามารถที่จะสรุปผลและข้อเสนอแนะดังนี้

- ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็กหลายแห่งไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้เนื่องจากเกิดการอุดตันภายในท่อซึ่งมีสาเหตุมาจากขนาดของท่อไม่เหมาะสมกับคุณลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรรวมทั้งการขาดทักษะในการดูแลและบำรุงรักษาระบบที่เหมาะสม
- การเพิ่มขนาดของท่อไหลเวียนน้ำเสียในระบบถังกรองไร้อากาศเป็น 6 นิ้ว สามารถที่จะลดปัญหาการอุดตันของตะกอนลอยหรือฝ้าในระบบได้ โดยต้องให้เจ้าของฟาร์มมีส่วนร่วมในการดำเนินงานทุกขั้นตอน และต้องมีการแนะนำวิธีการดูแลและบำรุงรักษาระบบที่เหมาะสมให้เจ้าของฟาร์มด้วย

คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ สามารถที่จะลดความสกปรกของสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี และซีโอดี ได้มากกว่าร้อยละ 80

เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศแล้วมาบำบัดต่อด้วยบึงประดิษฐ์ สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียให้ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

ผลจากการศึกษาดังกล่าว สามารถที่จะนำระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวนี้ไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กได้เป็นอย่างดี โดยประเด็น

ตารางแสดงปริมาณความเข้มข้นของค่าต่าง ๆ ในแต่ละจุดของระบบบำบัด

จุดเก็บตัวอย่าง	บีโอดี (มก./ล)	ซีโอดี (มก./ล)	ไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น (มก./ล)
ก่อนเข้าระบบ	2000 - 3000	2000 - 4000	300 - 500
ถังเกรอะ	500 - 700	500 - 1000	200 - 400
ถังกรองไร้อากาศ	200 - 400	200 - 500	150 - 300
ออกจากระบบ	น้อยกว่า 100	น้อยกว่า 200	น้อยกว่า 200
ลำรางสาธารณะ	น้อยกว่า 40	น้อยกว่า 80	น้อยกว่า 10
ค่าทั่วไป	1500 - 3000	4000 - 7000	400 - 800
เกณฑ์มาตรฐาน	100	400	200

หลักที่ควรจะต้องคำนึงถึงก็คือในขั้นตอนของการก่อสร้างและเริ่มเดินระบบ ต้องให้เจ้าของฟาร์มมีส่วนร่วมทุกขั้นตอนเพื่อให้เจ้าของฟาร์มมีความรู้และให้ความสำคัญในการดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดที่จะสร้าง เนื่องจากฟาร์มดังกล่าวเป็นฟาร์มขนาดเล็ก และส่วนมากเจ้าของฟาร์มจะเป็นบุคคลที่จะต้องดูแลระบบบำบัดด้วยตนเอง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาโครงการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ใคร่ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และหน่วยงานต่างๆ ในพื้นที่ที่ได้ให้ความร่วมมือในการศึกษาครั้งนี้ทุกขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5 นครปฐม สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดนครปฐม องค์การบริหารส่วนตำบลท่ากระชับ ผู้นำชุมชนต่างๆ และที่ขาดไม่ได้ก็คือเกษตรกรที่เลี้ยงสุกรที่ได้ให้ข้อมูลต่างๆ และให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าร่วมโครงการเพื่อปรับปรุงและทดสอบระบบตลอดระยะเวลาการศึกษาที่สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีเสมอมา

6. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2546. **คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์**. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ .

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์**. คู่มือระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.pcd.go.th/public/publication/print_pol.cfm?task=constructed. สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2550.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2548. **คู่มือการจัดการน้ำเสียชุมชน**. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้การเลี้ยงสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อย น้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม**. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 122 ตอนที่ 125ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร**. ประกาศ ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 122 ตอนที่ 125ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550. **คล้าน้ำช่อดังช่อครามน้ำ**. ฐานข้อมูลพรรณไม้ที่ใช้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://agkc.lib.ku.ac.th/phatwebsite/webpage/WaterPlants/คล้าน้ำช่อดัง ช่อครามน้ำ.html](http://agkc.lib.ku.ac.th/phatwebsite/webpage/WaterPlants/คล้าน้ำช่อดัง%20ช่อครามน้ำ.html) สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2550. 





โครงการศึกษาการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือจังหวัดลำพูน

Volatile Organic Compounds (VOCs) in Groundwater at Northern Region Industrial Estates (NRIE) Area, Lamphun province

แฟรดาห์ มาหลิม, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, สีนานา ชาญนรงค์, อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์
Fairda Malem, Peerapong Soonthondech, Srihanart Channarong, Aonjan Kotrpong

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินถูกพบในบ่อน้ำใต้ดินของชาวบ้านที่อาศัยอยู่ใกล้กับนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบได้แก่ 1,1-dichloroethylene, trans-1,2-dichloroethylene, cis-1,2-dichloroethylene, benzene, trichloroethylene, toluene โดยพบปริมาณการปนเปื้อนของสาร 1,1-dichloroethylene และ cis-1,2-dichloroethylene มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

จุดมุ่งหมายของโครงการนี้เพื่อศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน และบ่งชี้พื้นที่ที่น่าจะเป็นแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อน การดำเนินงานโครงการจึงรวมถึงการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง อุทกธรณีวิทยา ควบคู่กับคุณสมบัติทางเคมีของน้ำใต้ดิน จากการสำรวจพื้นที่พบว่ามีลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งจากพื้นผิวถึงความลึกที่ไม่เกิน 80 เมตร ประกอบด้วยชั้นหินอุ้มน้ำ 3 ชั้นที่ความลึกประมาณ 10, 15-20, และ 65-70 เมตร ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแต่ละชั้นหินอุ้มน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 4×10^{-5} ถึง 5×10^{-1} เมตร/วัน, 8×10^{-5} ถึง 2×10^{-2} เมตร/วัน และ 8×10^{-2} ถึง 22.5 เมตร/วัน ตามลำดับ ความลาดชันของพื้นที่ผิวลาดจากทางด้านทิศตะวันออก ไปทางทิศตะวันตกโดยลงสู่แม่น้ำกวังเช่นเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

แบบจำลองสาธิตการแพร่กระจายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายแสดงการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน (Contamination Plume) จากแหล่งกำเนิดที่กำหนดภายในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ พบว่าการแพร่กระจายออกจากจุดศูนย์กลางโดย Plume มีทิศทางจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก และจากการสำรวจพื้นที่พบการปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบ่อน้ำใต้ดินของชาวบ้านมีความกระจัดกระจายทั่วในพื้นที่ศึกษา ซึ่งบ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนไม่ได้มีเพียงจุดเดียวในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ และอาจมีแหล่งกำเนิดนอกพื้นที่นิคมฯ ด้วย

คำสำคัญ: การปนเปื้อน สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย น้ำใต้ดิน นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ แบบจำลองคณิตศาสตร์

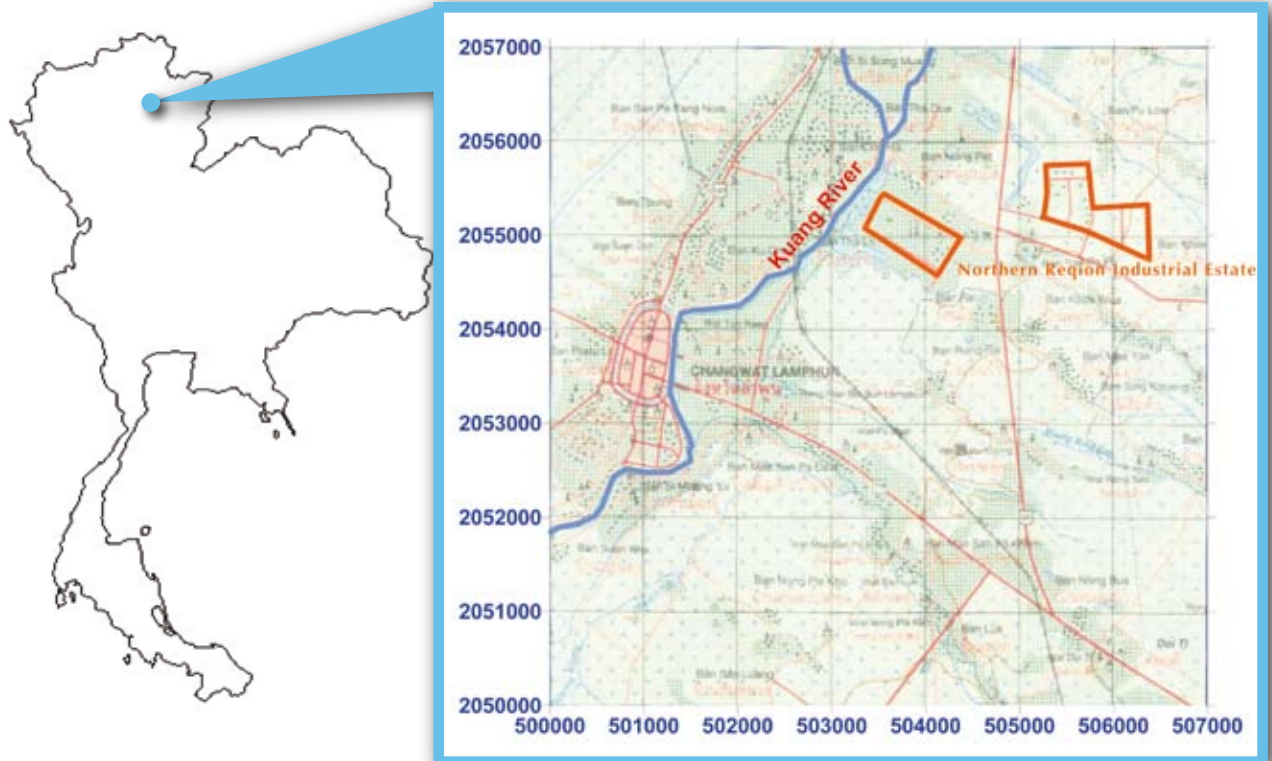
Abstract

Volatile organic compounds (VOCs) have been found in groundwater in domestic wells near the Northern Region Industrial Estates (NRIE). The VOC contaminants found are 1,1-dichloroethylene, trans-1,2-dichloroethylene, cis-1,2-dichloroethylene, benzene, trichloroethylene, and toluene. The concentrations of 1,1-dichloroethylene and cis-1,2-dichloroethylene exceeded the regulated groundwater standard.

The purpose of this project was to determine contaminant distribution and to delineate possible source areas. Integrated studies of geologic settings, hydrogeology, and groundwater chemistry were conducted. Field investigations found a complex geologic settings. In general, three aquifers were present down to 80 meters below ground surface at approximately 10, 15-20, and 65-70 meters. Hydraulic conductivities of each aquifer are 4×10^{-5} to 5×10^{-1} m/d, 8×10^{-5} to 2×10^{-2} m/d, and 8×10^{-2} to 22.5 m/d, respectively. The site's topography generally slopes east to west to the Kuang River. Groundwater flows also east to west to the Kuang river.

The groundwater flow and contamination transport models derived from field investigations defines an east-west oblong contamination plume emanating from a defined point source located within the NRIE. Field investigation also found VOC contamination in scattered monitoring wells throughout the site. The transport model shows that there is possibly more than one source for the VOC contamination.

Keyword: contamination, volatile organic compounds, groundwater, Northern Region Industrial Estate groundwater flow and contaminant transport model.



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

1. บทนำ

จากรายงานการศึกษาการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน ในปี 2544 ภายใต้ความร่วมมือโครงการ Green Aid Plan (GAP) โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมและการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยร่วมกับกระทรวงการค้าและอุตสาหกรรม ประเทศญี่ปุ่น (MITI) ซึ่งทำการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในดินตามความลึก และในตัวอย่างน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม ซึ่งตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด Trichloroethylene (TCE) และ cis-1,2 dichloroethylene (DCE) ในดินในปริมาณที่สูง และตรวจพบสารชนิดเดียวกันในน้ำใต้ดินในปริมาณที่สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำใต้ดินที่คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดไว้หลายเท่า (มีศักดิ์และ

คณะ 2544) ผลศึกษาในครั้งนั้นส่งผลให้เกิดสมมุติฐานว่าพื้นที่ในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนืออาจเป็นแหล่งการปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในดินและน้ำใต้ดินแหล่งหนึ่งและอาจส่งผลต่อการแพร่กระจายสารปนเปื้อนนี้ไปยังพื้นที่โดยรอบ

ทั้งนี้สาร TCE, และ cis-1,2 DCE เป็นสารอินทรีย์ระเหยที่มีคุณสมบัติของความหนาแน่นมากกว่าน้ำ (Dense-Non Aqueous Phase Liquid : DNAPL) และละลายน้ำได้น้อย ดังนั้นเมื่อมีการตรวจพบสารดังกล่าวในปริมาณที่สูงในน้ำใต้ดิน จึงเป็นข้อบ่งชี้ว่าสารดังกล่าวไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน และอาจกองรวมอยู่ที่ด้านล่างของชั้นน้ำเรียกว่า DNAPL pool เนื่องจากหนักกว่าน้ำและเนื่องจากสารเหล่านี้มีความสามารถในการละลายได้น้อย จึงทำให้ใช้เวลานานในการที่สารเหล่านี้ใน DNAPL pool จะละลายน้ำและไหลปนไปกับน้ำใต้ดิน จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนเป็นเวลานาน (Kerr, 1992) และสารทั้งสองชนิดเป็นสารที่

ส่งผลต่อสุขภาพ เพราะถูกระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (Bogen and Gold, 1997) ดังนั้นหากการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินได้แพร่กระจายออกนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือไปสู่ชุมชนโดยรอบ และประชาชนในพื้นที่ใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคและบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนสารเหล่านี้อย่างต่อเนื่อง จะส่งผลต่อสุขภาพของประชาชน

โครงการศึกษาผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน นี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ และบ่งชี้ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนบำบัดฟื้นฟูและป้องกันการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินบริเวณนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ และพื้นที่โดยรอบต่อไป

พื้นที่ศึกษามีขนาด 7x7 ตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 1) มีแม่น้ำกวังไหลผ่านพื้นที่ศึกษา โดยมีพิกัด UTM ในแนวทิศเหนือ-ใต้จาก 2050000 ถึง 2057000 และในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก จาก 500000 ถึง 507000 โดยนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จ.ลำพูน อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา

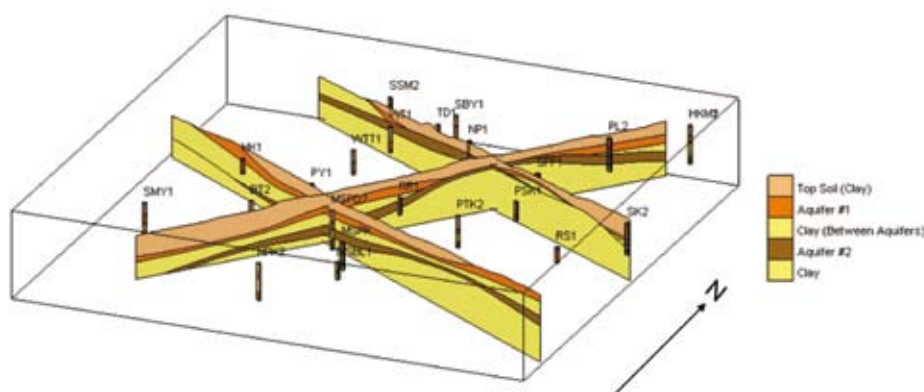
ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดลำพูนเป็นที่ราบหุบเขาและพื้นที่ภูเขา โดยตัวเมืองลำพูนมีระดับความสูงประมาณ 290 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

2. วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาครอบคลุมการจัดทำแผนที่ฐานในรายละเอียดโดยแสดงเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษาในระดับเซนติเมตร ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้าง ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา สถานการณ์ปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

ในการทำแผนที่ฐานของพื้นที่ศึกษาใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ของกรมโยธาธิการและผังเมืองและการสำรวจหาตำแหน่งและค่าระดับในภาคสนามเพื่อบอกตำแหน่งและความสูงที่แม่นยำของจุดสังเกตการณ์ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาชั้นโครงสร้างธรณีและการศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งต้องใช้ระดับน้ำเทียบกับความสูงของระดับน้ำทะเลปานกลาง

การศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นตะกอนโดยใช้เทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysics) และการขุดเจาะและการหยั่งหลุม (Borehole Logging) ทำให้ทราบถึงความต่อเนื่องของชั้นตะกอนและชั้นหินอุ้มน้ำ โดยความแตกต่างของชั้นตะกอนสามารถบอกได้โดยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity) และใช้ Geophysical Logging Instrument ชนิด Electric logging ในการสำรวจธรณีฟิสิกส์เพื่อกำหนดตำแหน่งและความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ ส่วนการเจาะสำรวจและการสร้างบ่อสังเกตการณ์นอกจากจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่นำมาใช้อธิบายลักษณะทางกายภาพของชั้นตะกอนที่ควบคุมการไหลของน้ำใต้ดินแล้ว ยังใช้เป็นบ่อสุบทดสอบและบ่อสังเกตการณ์เพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ และใช้ในการวัดระดับน้ำของชั้นน้ำใต้ดินในการศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินอีกด้วย นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ในโครงการนี้ใช้การขุดเจาะ 3 วิธี คือใช้เครื่องจักร (Rotary Drilling) เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินอย่างต่อเนื่อง (Geoprobe model 54 DT) ด้วยเทคนิค Direct push และการขุดเจาะชั้นดินแบบมีหมอน (auger) โดยใช้แรงงานคน สำหรับการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ใช้วิธี Slug Test และการสุบทดสอบ (Pump test) ในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 59 บ่อ 2 ครั้งในเดือนมิถุนายน และธันวาคม 2548 ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยที่วิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 12 ชนิด ได้แก่



ภาพที่ 2 Fence Diagram แสดงการวางตัวของชั้นดินระดับต้น

cis-1,2-dichloroethylene, tran-1,2-dichloroethylene, benzene, trichloroethylene, toluene, tetrachloroethylene, xylene, styrene, ethylbenzene, 1,1-dichloroethylene, 1,1,1-trichloroethane และ 1,1,2-trichloroethane โดยการวิเคราะห์ได้ดัดแปลงจากวิธี USEPA Method 502.2 Revision 2 (1995) เกี่ยวกับการวิเคราะห์ Volatile Organic Compounds in Water by Purge and Trap Capillary Column Gas Chromatography with Photoionization and Electrolytic Conductivity Detector in Series (Munch, 1995)

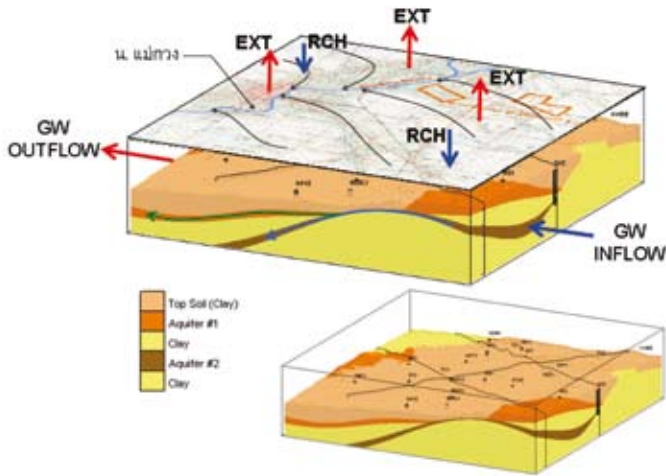
ในการศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW2000 (Harbaugh et al., 2000) เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และแบบจำลอง RT3D (Clement, 1997) สำหรับทำนายแนวโน้มการแพร่กระจายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความลาดชันของพื้นที่ศึกษาลาดเทจากทางด้านทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตกและลาดเทลงสู่แม่น้ำกวจากการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่พบว่าในระดับความลึกไม่เกิน 80 เมตร สามารถแบ่งชั้นหินอุ้มน้ำได้

สามชั้น โดยชั้นแรกเป็นชั้นทรายอยู่ที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 10 เมตร ชั้นที่สองเป็นชั้นทรายปนกรวดอยู่ที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 15-20 เมตร และชั้นที่สามเป็นชั้นทรายปนกรวดอยู่ที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 65-70 เมตร ซึ่งชั้นหินอุ้มน้ำทั้งสามชั้นมีความลาดเทจากทิศตะวันออกสู่ทิศตะวันตก โดยลักษณะโครงสร้างการเรียงตัวของตะกอนของดินและกรวดทรายที่คละกันและไม่ต่อเนื่องแผ่ขยายเป็นบริเวณกว้าง การเรียงตัวของชั้นดินพบว่าชั้นหินอุ้มน้ำ ในระดับความลึกประมาณ 10 เมตร และระดับความลึกประมาณ 20-30 เมตร มีความหนาไม่สม่ำเสมอ ในบางพื้นที่ชั้นหินอุ้มน้ำทั้งสองจะอยู่ติดกัน และในบางพื้นที่ก็ไม่พบว่ามีชั้นกรวด - ทรายหรือชั้นหินอุ้มน้ำนี้เลย นอกจากนี้ยังพบการวางตัวที่ค่อนข้างซับซ้อนมากขึ้น เช่นการวางตัวในแนวเอียงและมีการสลับเลี้ยวไป (pinch out) ของชั้นหินอุ้มน้ำ (ภาพที่ 2) แสดงให้เห็นความซับซ้อนของของชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษา

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ที่ได้จากการสำรวจทั้งโดยวิธีการสูบทดสอบ (Pump test) และวิธี Slug Test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำในบ่อที่ความลึกประมาณ 10 เมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 4×10^{-5} ถึง 5×10^{-1} เมตร/วัน และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำในบ่อที่มีความลึกประมาณ 15-20 เมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 8×10^{-5} ถึง 2×10^{-2} เมตร/วัน และที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 65-70 เมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 ถึง 22.5 เมตร/วัน ทั้งนี้ผลการศึกษา



ภาพที่ 3 แบบจำลองโมโนทอนิกของพื้นที่ศึกษา

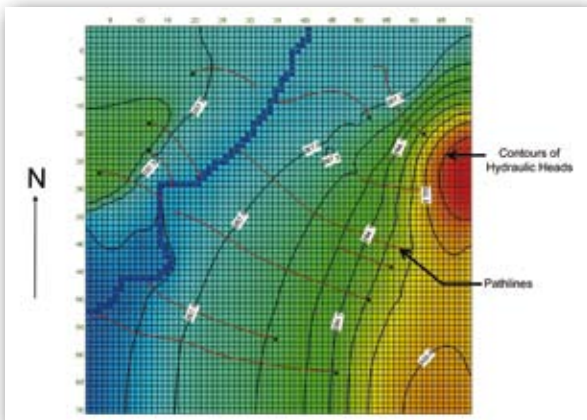
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของการปนเปื้อน

จากผลการศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในเบื้องต้น โดยตรวจวัดระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 59 บ่อ และสร้างเส้น equipotential line ซึ่งเป็นเส้นที่ลากผ่านความสูงของระดับน้ำใต้ดินที่เท่ากันจากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด ซึ่งทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาจะตั้งฉากกับเส้น equipotential line พบว่าทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่มีแนวโน้มที่จะไหลจากทิศตะวันออกไปยัง

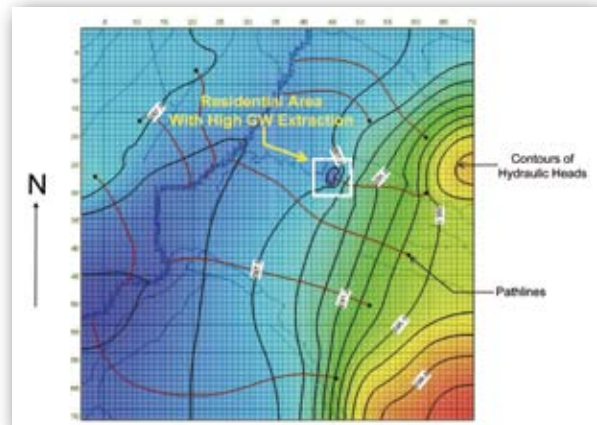
แม่น้ำกวัง ซึ่งสอดคล้องกับผลจากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินของชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ ที่ระดับความลึกไม่เกิน 60 เมตร (ระดับดิน) โดยลักษณะโครงสร้างของตะกอนที่กำหนดไว้ในแบบจำลองแสดงไว้ใน Fence Diagram (ภาพที่ 2) โดย Aquifer #1 และ #2 แสดงชั้นหินอุ้มน้ำที่ระดับความลึก 10 เมตร และ 20-30 เมตร ตามลำดับ ลักษณะการเรียงตัวที่ซับซ้อนของชั้นหินอุ้มน้ำแสดงในแบบจำลองมอนิเตอร์ (ภาพที่ 3)

รูปแบบการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีการใช้น้ำใต้ดิน (ระดับดิน) เพียงเล็กน้อย และกรณีที่มีการใช้น้ำในปริมาณมาก ทั้งนี้กรณีที่มีการใช้น้ำใต้ดินเล็กน้อย พบว่ามีเส้นชั้นความสูง (Contour Lines) ของระดับน้ำหรือ Head ซึ่งแสดงเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดิน ส่วนใหญ่จะไหลเข้าไปสู่แม่น้ำกวังซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองมอนิเตอร์ ที่ได้คาดการณ์เอาไว้ว่าน้ำใต้ดินที่อยู่ในชั้นดินตะกอนหรือตะกอนลำนําระดับต่ำจะมีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำอย่างใกล้ชิด ดังแสดงในภาพที่ 4

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ในกรณีที่มีการใช้น้ำใต้ดิน (ระดับดิน) เพิ่มมากขึ้น โดยบ่อสูบน้ำจากชั้นน้ำลึกไม่เกิน 60 เมตร กระจายตัวอยู่ตามที่ต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ชุมชนและพื้นที่เกษตร ซึ่งผลการจำลองการ



ภาพที่ 4 Contour Lines ของระดับน้ำใต้ดิน (กรณีใช้น้ำน้อย)



ภาพที่ 5 Contour Lines ของระดับน้ำใต้ดิน (กรณีใช้น้ำมากขึ้น)

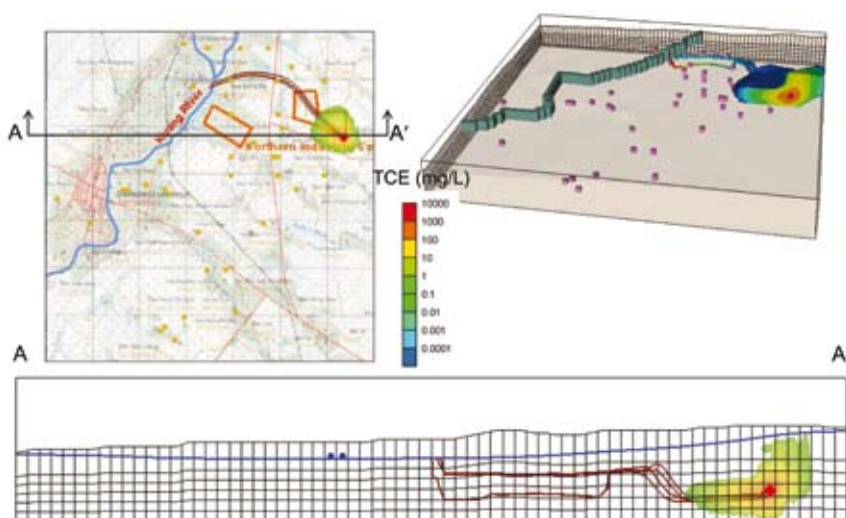
ไหลของน้ำใต้ดิน ในกรณีที่มีการสูบน้ำใต้ดินในระดับลึกไม่เกิน 60 เมตร ขึ้นมาใช้แสดงในภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลง โดยเส้นทางการไหลบางเส้นทางจะไหลเข้าสู่บ่อสูบน้ำ ในขณะที่เส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่ยังคงไหลไปสู่แม่น้ำกว

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน จากบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 59 บ่อ พบว่าในบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือมีการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน ดังนี้ 1,1-dichloroethylene, trans-1,2-dichloroethylene, cis-1,2-dichloroethylene, benzene, trichloroethylene, toluene ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของสาร 1,1-dichloroethylene และ cis-1,2-dichloroethylene มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (1,1-dichloroethylene ต้องไม่เกิน 7 ไมโครกรัม/ลิตร และ cis-1,2-dichloroethylene ต้องไม่เกิน 70 ไมโครกรัม/ลิตร) สำหรับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดอื่นที่ตรวจพบนั้นมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินที่กำหนดไว้

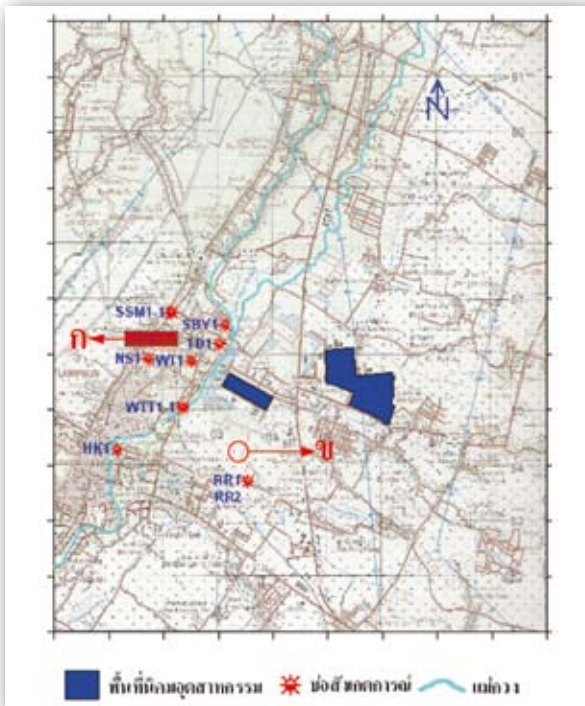
จากการจำลองสถานการณ์เคลื่อนที่ของสารในน้ำใต้ดินโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RT3D โดยกำหนดให้แหล่งกำเนิดของ TCE เป็นจุดบ่งชี้เหตุการณ์ในพื้นที่

นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ ที่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด TCE ในน้ำใต้ดินในปริมาณ 967 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำใต้ดินมาก การจำลองในเบื้องต้นนี้ได้ทำการจำลองเป็นระยะเวลา 30 ปี โดยสมมุติว่าเส้นทางการไหลของน้ำในช่วงระยะเวลา 30 ปีไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งพบว่า TCE ที่ละลายน้ำนั้นมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดิน แต่อัตราการเคลื่อนที่ค่อนข้างช้า (ประมาณ 5-15 เมตรต่อปี) นอกจากนี้ยังพบว่าการกระจายตัวทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง โดยจะมีการกระจายตัวในแนวราบมากกว่าในแนวดิ่ง (ภาพที่ 6)

เมื่อพิจารณาขอบเขตของการแพร่กระจายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากผลการศึกษาแบบจำลองสถิติการแพร่กระจายของสารในเวลา 30 ปี กับตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์ที่ตรวจพบการปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายพบว่า การแพร่กระจายของสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่ของนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือเป็นระยะทางน้อยกว่า 1 กิโลเมตร และยังคงเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบ่อสังเกตการณ์หลายๆ บ่อที่อยู่รอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือที่พบการปนเปื้อนข้างต้น ดังนั้นจึงบ่งชี้ได้ว่าการปนเปื้อนที่ตรวจพบในบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่รอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือไม่ได้เกิดจากแหล่งกำเนิดเพียงแหล่งเดียว แต่อาจเป็นได้



ภาพที่ 6 ผลการจำลอง solute transport เบื้องต้นที่เวลา 30 ปี (Cross-Section & 3-D)



ภาพที่ 7 ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายนอกพื้นที่นิคมฯ

ทั้งแหล่งกำเนิดในและนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ โดยจากข้อมูลที่ได้จากประชาชนในพื้นที่ทราบว่ามีการลักลอบนำถังโลหะจำนวนมากไปทิ้งในพื้นที่เป็นป่าและภูเขาในหลายๆ พื้นที่ แต่ไม่สามารถระบุชนิดของสารได้ ซึ่งในพื้นที่ศึกษายังพบพื้นที่อย่างน้อย 2 แห่งที่อาจเป็นแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อน (พื้นที่ ก. เป็นที่ตั้งของสถานประกอบการรีไซเคิล (recycle) ซึ่งเปิดดำเนินการมานานมากกว่า 10 ปี และพื้นที่ ข. เป็นพื้นที่ที่ได้รับแจ้งจากประชาชนในพื้นที่ว่ามีการลักลอบฝังกลบขยะในพื้นที่และไม่สามารถยืนยันเวลาที่แน่นอนในการลักลอบฝังกลบได้ ดังแสดงในภาพที่ 7) ซึ่งพื้นที่ทั้งสองจุดอยู่ใกล้กับบ่อที่พบการปนเปื้อนสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การตรวจพบการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินในพื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ

เป็นการบ่งชี้ว่ามีโอกาสที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายมาจากแหล่งในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ และพบว่าอาจเกิดมาจากแหล่งกำเนิดอื่นด้วย การตรวจพบสาร benzene และ toluene นั้น เพราะเป็นสารที่ใช้ทั่วไปในทางอุตสาหกรรมและเป็นองค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง (gasoline) ในกรณีที่ตรวจพบสาร 1,1-dichloroethylene cis-1,2-dichloroethylene และ trans-1,2 dichloroethylene ในบ่อบาดอาจเกิดเนื่องจากกระบวนการ reductive dechlorination ซึ่งจะเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) และมีสารอาหารที่เหมาะสม จุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้กระบวนการนี้เปลี่ยนสาร tetrachloroethylene หรือ trichloroethylene เป็น 1,1-dichloroethylene cis-1,2-dichloroethylene และ trans-1,2-dichloroethylene

ทั้งนี้ควรมีการศึกษาความชัดเจนของพื้นที่ที่มีโอกาสเป็นแหล่งกำเนิด เพื่อการแก้ปัญหาการปนเปื้อนต่อไป สำหรับบ่อสังเกตการณ์ในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือซึ่งเคยตรวจพบการปนเปื้อนสาร TCE ในปริมาณที่สูงเกินมาตรฐานน้ำใต้ดินนั้น ปัจจุบันบ่อสังเกตการณ์ดังกล่าวได้รับความเสียหายไม่สามารถใช้เก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายได้ ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการขุดเจาะบ่อสังเกตการณ์ในนิคมอุตสาหกรรมเพิ่มเติม สำหรับมาตรการตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำใต้ดินทั้งในระดับต้นและลึก โดยอาจเจาะบ่อสังเกตการณ์โดยรอบพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินมาวิเคราะห์อย่างน้อยปีละ 1-2 ครั้ง และควรมีการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ควรมีมาตรการบำบัดฟื้นฟูชั้นน้ำใต้ดินดังกล่าว ทั้งนี้จากการศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาและลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของชั้นดินอุ้มน้ำในบริเวณที่นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือตั้งอยู่ มีผลทำให้น้ำใต้ดินไหลช้าและจากแบบจำลองการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนจากจุดที่เป็น Hot spot จะเห็นว่าการแพร่กระจายไม่ได้ขยาย

วงกว้างมากนัก ดังนั้นในการบำบัดพื้นผิวดินจะบำบัดในจุดที่ใกล้แหล่งกำเนิดมากที่สุด เพื่อเป็นการลดการแพร่กระจายการปนเปื้อน

5. เอกสารอ้างอิง

มีศักดิ์ มิลินทวิสมัย, สีนากา ชาญณรงค์, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, วาฬิกา เศวตโยธิน และจิรนนท์ พันธจักร. 2544. การปนเปื้อนของสาร Chlorinated Ethylene ในดินและน้ำใต้ดิน และกรณีศึกษาของประเทศไทย. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

Bogen, K.T. and Gold, L.S. 1997, Trichloroethylene Cancer Risk: Simplified Calculation of PBPK-Based MCLs for Cytotoxic End Points, Regulatory Toxicology and Pharmacology, 25, 26-42.

Clement, T.P., 1997, RT3D-A Modular Computer Code for Simulating Reactive Multi-Species Transport in 3-Dimensional Groundwater Aquifers. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, USA. PNNL-11720.

Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G., 2000, MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model: User guide to modularization concepts and the ground-water flow process. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, 121p.

Kerr, R.S., 1992, Estimating Potential for Occurrence of DNAPL at Superfund Sites, Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA, Publication: 9355.4-07FS. 10pp.

Munch, J.W., 1995, Method 502.2: Volatile Organic Compounds in Water by Purge and Trap Capillary Column Gas Chromatography with Photoionization and Electrolytic Conductivity Detectors in Series : Revision 2.1, National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 35pp. 





โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ถังกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางจากวัสดุเหลือใช้ ธรรมชาติ

Research on development of anaerobic filter tank
by using natural waste media

สุดา อัคริสุภรณ์รัตน์ Inras Wongwong, ชวลา เสี่ยงล้ำ และเมศศักดิ์ มิลินทวิสัย
Suda Ittisupornrat, Krison Wongsila, Chawala Sienglum and Mesak
Milintawisamai

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศขนาด 5 ลิตร เพื่อเปรียบเทียบตัวกลางที่ใช้ 3 ชนิด คือ เปลือกหอย แครก แท่งไม้ไผ่ และลูกบอลพลาสติก โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนมและน้ำตาลเป็นแหล่งอาหาร ทำการปรับเพิ่มอัตราภาระ
บรรทุกอินทรีย์ จาก 0.8-6.0 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์คงที่ เท่ากับ 2.7 วัน และเดินระบบอย่างต่อเนื่อง
เป็นเวลามากกว่า 100 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 ค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพ และมีเทนยลด์ อยู่
ในช่วง 0.38-0.57 ลิตรต่อกรัมชีโอดี และ 0.20-0.29 ลิตรมีเทนต่อกรัมชีโอดี ตามลำดับ ร้อยละของมีเทนเป็นองค์ประกอบใน
ก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 40-60

สำหรับการปรับลดค่าระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ลงจาก 61.4 ชั่วโมง เป็น 15.9 ชั่วโมง โดยให้ความเข้มข้นของ
ชีโอดีเริ่มต้นที่ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ เพิ่มขึ้นจาก 4.05 กรัมต่อลิตร-วัน เป็น 21.33 กรัม
ต่อลิตร-วัน พบว่า ถังที่ 1 ที่ใช้เปลือกหอยแครงเป็นตัวกลาง จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถรองรับค่าอัตราภาระบรรทุก
อินทรีย์ ได้สูงถึง 21.04 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 16.1 ชั่วโมง บำบัดชีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยมี
การผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 49.1 รองลงมาคือ ถังที่ 2 ที่ใช้ตัวกลางเป็นแท่งไม้ไผ่ สามารถรองรับค่าอัตราภาระบรรทุก
อินทรีย์เฉลี่ยได้ 13.7 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 21.5 ชั่วโมง บำบัดชีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยมี
การผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 49.5 ในขณะที่ถังที่ 3 ที่ใช้ตัวกลางเป็นลูกบอลพลาสติก สามารถรองรับค่าอัตราภาระบรรทุก
อินทรีย์ ได้เพียง 3.33 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ถึง 75 ชั่วโมง บำบัดชีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 และ
การทดสอบค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์ของ μ_{max} และ K_s พบว่า ค่า μ_{max} ในถังที่ 1 และ 2 เป็น 5 และ 50 ต่อวันตามลำดับ
ส่วนค่า K_s ในถัง ที่ 1 และ 2 เป็น 20 และ 182 กรัมชีโอดีต่อลิตร ตามลำดับ

คำสำคัญ: ถังกรองไร้อากาศ ตัวกลางธรรมชาติ ชีโอดี ค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์

Abstract

Three 5 L up flow anaerobic filter (AF) reactors, with sea shell, bamboo stick and plastic pall ring
packing, were employed to evaluate the treatment of simulated synthetic wastewater by using milk powder
and sugar as carbon sources under a wide range of hydraulic and organic loadings and operating conditions.
The organic loading rates (OLR) were increased from 0.8 to 6.0 g/l-d at a constant hydraulic retention time

(HRT) of 2.7 days and the operation period was more than 100 days. The performance results showed the COD removal efficiency and methane production to be more than 90 % and 40-60%, respectively.

By measuring the COD concentrations at each sampling port which varied according to hydraulic retention time, the sea shell reactor was found to have the highest efficiency of COD removal of more than 90% and average methane gas production as 49.1% with operated the OLR up to 21.04 g/l-d at HRT of 16.1 hours. The bamboo stick reactor could remove more than 90% of COD and average methane gas production of 49.5% with operated the OLR of 13.7 g/l-d at HRT 21.5 hours; while the plastic pall ring reactor could remove COD more than 90% with the OLR of only 3.33 g/l-d at a long of HRT 75 hours. Calculation of the Monod type kinetics showed the μ_{max} of the sea shell and bamboo stick reactors to be 5 and 50 per day, respectively; and the values K_s of sea shell and bamboo stick reactors were 20 and 182 g COD/ l, respectively.

Keyword: anaerobic filter, natural media, COD, kinetic constant

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณน้ำเสียจากชุมชนเกิดขึ้นประมาณ 14 ล้านลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งน้ำเสียสามารถบำบัดโดยผ่านระบบบำบัดแบบรวมศูนย์ที่มีทั้งหมด 95 ระบบ ได้เพียงแค่ร้อยละ 14 ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด ส่วนที่เหลือไม่มีระบบการจัดการน้ำเสีย ยังคงระบายลงท่อระบายน้ำและไหลลงแหล่งน้ำ จากการที่ระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่จะใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง ทั้งด้านการออกแบบการก่อสร้างและการดูแลระบบ นอกจากนั้นในหลายกรณี ยังพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการออกแบบแล้ว ไม่มีความเหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสีย ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด น้ำเสียสูงเกินความจำเป็น ส่วนหน่วยงานท้องถิ่นขนาดเล็ก ซึ่งมีงบประมาณอย่างจำกัด และขาดแคลนบุคลากรที่ชำนาญในการดูแลรักษาระบบ ทำให้การลงทุนจัดสร้างระบบบำบัดขนาดใหญ่กระทำได้ยาก ดังนั้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ให้ความสำคัญต่อปัญหาของการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ได้มุ่งเน้นทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายและต้นทุนต่ำ อย่างเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการ และแก้ไขปัญหาหน้าเสียชุมชน เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ในการ

ย่อยสลายอินทรีย์สาร วิธีการดังกล่าวจะให้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทคโนโลยีแบบไร้อากาศนี้มีข้อดี คือ นำมาทำเป็นระบบบำบัดขนาดเล็กได้ ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อยในการศึกษารุ่นนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศในระดับห้องปฏิบัติการโดยการเปรียบเทียบตัวกลางที่ต้องมีการลงทุนได้แก่ ลูกบอลพลาสติกกับวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นได้แก่ เปลือกหอยแครงและเศษไม้ และทดสอบค่าทางจุลณพลศาสตร์ของตัวกลางต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบระบบที่มีขนาดใหญ่ต่อไป โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ และการเพิ่มค่าระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์

การทดสอบค่าทางจุลณพลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศประเภทถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีการไหลของน้ำเสียในระบบแบบ plug flow reactor มีการศึกษาวิจัยทางด้านจุลณพลศาสตร์ของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์น้อย ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาวิจัยจึงทำการแบ่งถังกรองไร้อากาศออกเป็นส่วนๆ โดยสมมุติให้แต่ละส่วนของถังกรองที่แบ่งออกมีการไหลของน้ำเสียแบบ continuous stirring tank reactor ซึ่งมีสมการจุลณพลศาสตร์แสดงการสมดุลมวลของจุลินทรีย์และอินทรีย์สารในถังดังนี้ (Hu, Thayanithy และ Foster, 2002)

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - K_d - \frac{Q}{V}) X \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y} \mu X + K_d X + \frac{Q}{V} (S_o - S) \quad (2)$$

เมื่อ X = มวลของจุลินทรีย์
So = ความเข้มข้นของสารเข้าระบบ
Kd = อัตราการตายของจุลินทรีย์
K_s = ความเข้มข้นครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นที่อิ่มตัว
V = ปริมาตรของถังกรองที่น้ำเสียไหลผ่าน

μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์
S = ความเข้มข้นของสารออกจากกระบวน
Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย
Y = yield ของจุลินทรีย์

เมื่อเวลาที่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์คงตัว (steady state) เทอมด้านซ้ายมือของสมการที่ 1 จะเป็นศูนย์ ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ 1 ได้เป็นสมการที่ 3 และแทนค่าจากสมการของ Monod จะได้สมการที่ (4)

$$\mu = K_d + \frac{Q}{V} \quad (3)$$

$$\frac{\mu_{\max} * S}{K_s + S} = K_d + \frac{1}{HRT} \quad (4)$$

เมื่อ

$$\mu_{\max} = \text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์}$$

$$HRT(\text{หรือ } \theta) = \text{เวลากักเก็บของน้ำเสียในระบบถังกรองไร้อากาศ}$$

จากสมการที่ 4 สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 5

$$S = \frac{K_s * [K_d + (1/HRT)]}{\mu_{\max} - K_d - (1/HRT)} \quad (5)$$

เมื่อเวลาที่อินทรีย์สารในระบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เทอมด้านซ้ายมือของสมการที่ 2 จะเป็นศูนย์ ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ 2 ได้เป็นสมการที่ 6

$$X = \frac{Y * (S_o - S)}{(1 + K_d * HRT)} \quad (6)$$

จากสมการที่ 5 และ 6 ทำให้สามารถนำค่าความเข้มข้นของอินทรีย์สารที่เข้าระบบบำบัด (S_o) ความเข้มข้นของอินทรีย์สารที่ออกจากระบบบำบัด (S) เวลาที่สารอยู่ในระบบ (HRT) และมวลของจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนตัวกลางที่ทำการศึกษา (X) มาเขียนกราฟเส้นตรง จากการทดลองจะทำให้หาค่า $\mu_{\max}$, K_s , Y และ K_d ของระบบบำบัดได้ ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีประโยชน์นำไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดถังกรองไร้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเหมาะสมกับอุณหภูมิของประเทศไทยต่อไป นอกจากนั้นการศึกษานี้จะทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าดังกล่าวอีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

2.1 การจัดเตรียมชุดถังกรองไร้อากาศ

ตัวถังปฏิกรณ์ชีวภาพทำจากวัสดุอะคริลิกเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร และมีความสูง 70 เซนติเมตร

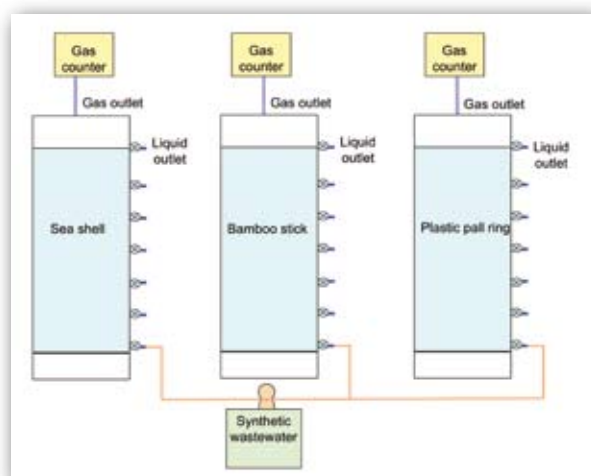
มีช่องสำหรับเก็บตัวอย่าง 7 จุด ระยะห่างช่องละ 10 เซนติเมตร ภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ 1, 2 บรรจุตัวกลางที่เป็นวัสดุตามธรรมชาติ ได้แก่ เปลือกหอยแครงและแท่งไม้ไผ่ตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ 3 บรรจุตัวกลางพลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งข้อมูลรายละเอียดของถังปฏิกรณ์ชีวภาพ คุณสมบัติของตัวกลาง สามารถแสดงได้ดังตาราง ที่ 1 และภาพที่ 1 ในการทดลองได้ทำในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติ โดยใช้ปั๊มดูดจ่ายสารละลาย (Peristaltic Pump) ในการปั๊มน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องแบบน้ำไหลขึ้นด้านบน (UP FLOW)

2.2 การปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์และการเริ่มเดินระบบ

นำเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพของบริษัทชลเจริญ จังหวัดชลบุรี มาทำการปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์ให้มีความเหมาะสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ mineral salt (Owen and Kiddie ,1969) ในห้องปฏิบัติการเป็น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของตัวกลาง

	Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
Media material	Sea shell	Bamboo stick	Pall ring
Media size	3-5 cm	6 cm ($\Phi = 3$ mm)	$\Phi = 4$ cm
Total reactor volume(L)	8.5	8.5	8.5
Fixed bed volume(L)	2.80	2.89	1.56
Fluid volume (L)	5.70	5.61	6.94
Void volume (%)	67	66	81.6
Surface area of media in reactor (m^2)	0.25	0.19	1.5
Surface area per media volume (m^2/m^3)	88.5	64.9	982.6



ภาพที่ 1 แสดงรายละเอียดรูปแบบการเดินระบบ ของถังกรองไร้อากาศ

ระยะเวลา 1- 2 เดือน ซึ่งอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ จัดเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีนมผงและน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน ใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียในรูปของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยทำการเพิ่มค่าความสกปรกในรูปซีโอดีขึ้นจาก 500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดเลี้ยงเชื้อขนาด 2.5 ลิตร จากนั้น นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพแล้ว ปริมาณ 10 % โดยปริมาตร ไปเลี้ยงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีตัวกลาง 3 ชนิด และทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องโดยมีค่าความสกปรกในรูปซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 1,000 - 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา

กักพักทางชลศาสตร์ (hydraulic retention time: HRT) ประมาณ 2.7 วัน ควบคุมสภาวะต่างๆ เพื่อให้ระบบมีความเสถียร

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 2,000–16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

หลังจากที่ระบบมีความเสถียรโดยสังเกตจากองค์ประกอบของก๊าซมีเทนมีค่าความเข้มข้นโดยส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าร้อยละ 60 จึงเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ละ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จนถึงที่ระดับความเข้มข้น 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ ประมาณ 2.7 วัน แล้วจึงหยุดเนื่องจากนมที่ใช้เกิดเป็นตะกอนนมเป็นจำนวนมากในระบบเมื่อเดินระบบอย่างต่อเนื่องทิ้งไว้ข้ามคืน ดังนั้น จึงใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุมสภาวะต่างๆ เพื่อให้ระบบมีความเสถียรก่อนที่จะทำการทดสอบค่าทางจุลชีววิทยาของระบบที่ตัวกลางชนิดต่างๆ ต่อไป

2.4 การทดสอบค่าทางจุลชีววิทยา

เมื่อเดินระบบที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จนระบบมีความเสถียรแล้ว จึงทำการทดสอบค่าทางจุลชีววิทยา

ตารางที่ 2 ค่าเวลาพักพักทางชีวศาสตร์ และค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่ทำการทดสอบ

ระยะเวลาพักพักทางชีวศาสตร์ (ชั่วโมง)	ถังกรองไร้อากาศแยกตามชนิดของตัวกลาง		
	บอลพลาสติก	หอยแครง	แท่งไม้ไผ่
ครั้งที่ 1	61.4 (4.05)	60.4 (4.12)	75.0 (3.33)
ครั้งที่ 2	32.3 (7.98)	31.8 (8.10)	39.3 (6.77)
ครั้งที่ 3	21.8 (13.51)	21.5 (13.70)	-
ครั้งที่ 4	16.0 (21.04)	15.9 (21.33)	-

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บเป็นค่าเฉลี่ยอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ หน่วยเป็น กรัมต่อลิตร - วัน

โดยทำการปรับลดค่าเวลาพักพักทางชีวศาสตร์ลง จำนวน 4 ครั้ง และคำนวณค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ ดังแสดงในตาราง 2

2.5 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์

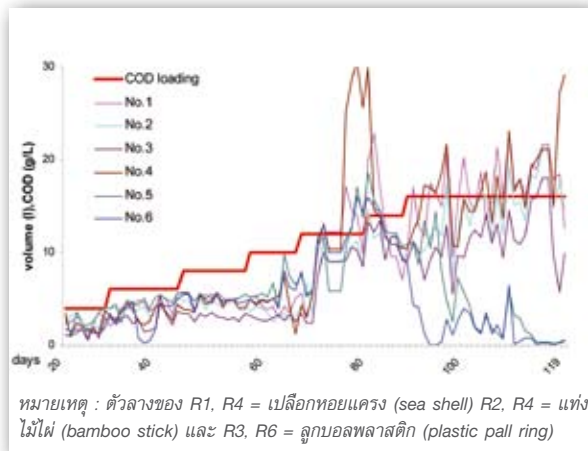
วิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย gas counter และ gas chromatograph ค่าความเป็นกรด-ด่าง ซีโอดี ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ละลายในน้ำ ค่าไบคาร์บอเนต และคำนวณค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ (organic loading rate: OLR) ร้อยละการลดลงของซีโอดีในระบบ รวมทั้งยิลด์ของก๊าซรวม และยิลด์ของก๊าซมีเทน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile fatty acids) ที่เกิดขึ้นในระบบ และคำนวณค่าร้อยละการลดลงของซีโอดีในระบบ

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ การย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 2,000 – 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการเริ่มต้นเดินระบบของถังกรองไร้อากาศได้ประมาณ 1 เดือน ที่อัตราความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ป้อนเท่ากับ 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลาพักพักทางชีวศาสตร์ 2.7 วัน

และระบบมีความเสถียรแล้ว จึงได้ทำการปรับเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเป็น 4,000, 6,000, 8,000, 10,000, 12,000, 14,000 และ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาเดินระบบอย่างต่อเนื่องมากกว่า 100 วัน ที่ระยะเวลาพักพักทางชีวศาสตร์เท่าเดิมนั้น พบว่า อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซีโอดีที่ปรับเพิ่มขึ้นในช่วง 0.8-6.0 กรัมต่อลิตร-วัน และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในระบบส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ทุกความเข้มข้นของซีโอดีที่ปรับเพิ่มขึ้นในแต่ละวันที่มีตัวกลางต่างชนิดกัน ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบเพิ่มตามค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 ยกเว้นในครั้งที่ 5 และ 6 ที่ปรับค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร้อยละการบำบัดซีโอดียังคงมากกว่าร้อยละ 90 ในช่วงสัปดาห์แรก หลังจากเดินระบบอย่างต่อเนื่องต่อไป พบว่าร้อยละการบำบัดซีโอดีลดลงมาอย่างเห็นได้ชัด อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลง โดยเฉพาะค่ามีเทนยิลด์ที่ได้ แสดงว่าเกือบจะไม่มีการผลิตก๊าซมีเทนขึ้นในระบบเลย อาจเป็นไปได้ว่า ถึงที่ 5 และ 6 รับอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่สูงเกินกว่าที่ระบบจะสามารถทำการ



ภาพที่ 2 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นในระบบ ตามการปรับเพิ่มค่าความเข้มข้นของซีโอดี

ปรับสภาพให้ระบบทำงานเข้าสู่ภาวะเสถียรได้ (ภาพที่ 2)

3.2 ผลการทดสอบค่าทางจุลชีวศาสตร์

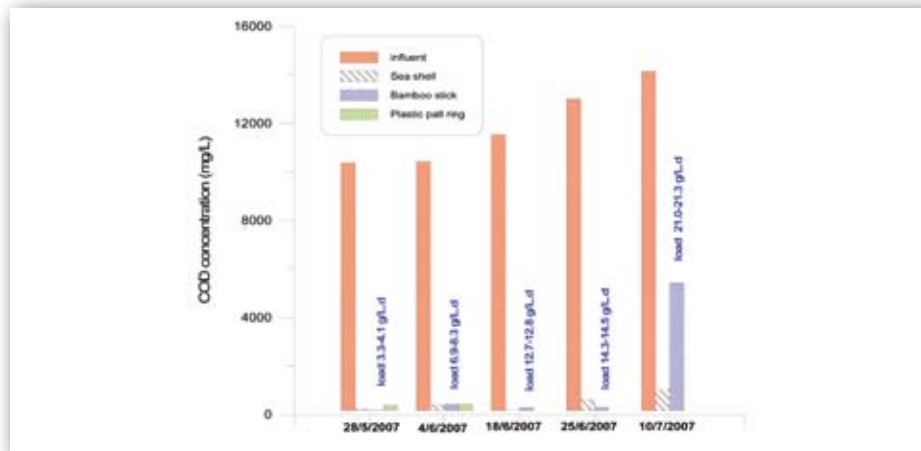
จากการทดสอบ โดยการเพิ่มค่าอัตราการระบรทุกอินทรีย์จากการปรับลดค่าระยะเวลาพักทางจุลชีวศาสตร์ลง ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่าเดิม คือ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดสอบพบว่า ในถังที่ 1 ตัวกลางเป็นเปลือกหอยแครง สามารถรับอัตราการระบรทุกอินทรีย์

ได้สูงถึง 21.04 กรัมต่อลิตร-วัน โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดียังคงมากกว่าร้อยละ 90 ที่ระยะเวลาพักทางจุลชีวศาสตร์ 16.1 ชั่วโมง ส่วนถังที่ 2 ตัวกลางเป็นแท่งไม้ไผ่ ได้ทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกอินทรีย์ จาก 4.12 เป็น 14.51 กรัมต่อลิตร-วัน ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ร้อยละ 98 ระยะเวลาพักทางจุลชีวศาสตร์เพียง 21.5 ชั่วโมง แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกอินทรีย์เป็น 21.33 กรัมต่อลิตร-วัน ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ร้อยละ 62 ในขณะที่ถังที่ 3 ตัวกลางเป็นลูกบอลพลาสติก สามารถบำบัดซีโอดีได้ร้อยละ 96 ที่อัตราการระบรทุกอินทรีย์ 3.33 กรัมต่อลิตร-วัน แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบรทุกอินทรีย์เป็น 6.77 กรัมต่อลิตร-วัน ซีโอดีสามารถทำการบำบัดได้เพียงร้อยละ 26 เท่านั้น (ภาพที่ 3 และ ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่า ถังที่ 1 ตัวกลางที่เป็นเปลือกหอยแครง ยังคงมีประสิทธิภาพทำงานได้อย่างต่อเนื่อง อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพยังคงเพิ่มขึ้น แม้จะทำการปรับลดค่าระยะเวลาพักทางจุลชีวศาสตร์ลงเหลือเพียง 16 ชั่วโมง เท่านั้น ในขณะที่ถังที่ 2 ตัวกลางเป็นแท่งไม้ไผ่ และถังที่ 3 ตัวกลางเป็นลูกบอลพลาสติก ไม่สามารถทำการลดค่า

ตารางที่ 3 ร้อยละการบำบัดซีโอดี เมื่อทำการปรับลดระยะเวลาพักทางจุลชีวศาสตร์ลงในถังที่ 1, 2 และ 3 ที่มีตัวกลางเป็นเปลือกหอยแครง แท่งไม้ไผ่ และลูกบอลพลาสติก ตามลำดับ

ถังกรองไร้อากาศ	ระยะเวลาพักทางจุลชีวศาสตร์ (hr)	อัตราการระบรทุกอินทรีย์ (กรัมต่อลิตร-วัน)	ร้อยละการบำบัด ซีโอดี
ถังที่ 1	61.4	4.05	98
	32.3	8.26 (7.71)	96 (98)
	21.8	12.70 (14.32)	99 (95)
	16.0	21.04	93
ถังที่ 2	60.4	4.12	98
	31.8	8.37 (7.82)	96 (99)
	21.5	12.88 (14.51)	98 (98)
	15.9	21.33	62
ถังที่ 3	75	3.33	96
	39.3	6.77	26

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ คือการทดสอบครั้งที่ 2



ภาพที่ 3 แสดงค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่ละลายในน้ำในตัวอย่างน้ำเข้า-ออกของถังที่ 1, 2 และ 3 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ จาก 3.33 - 21.33 กรัมต่อลิตร-วัน

ความเข้มข้นของซีโอดีลดลงได้ เหมือนกับในถังที่ 1 นอกจากนี้ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพยังลดลงอย่างเห็นได้ชัด

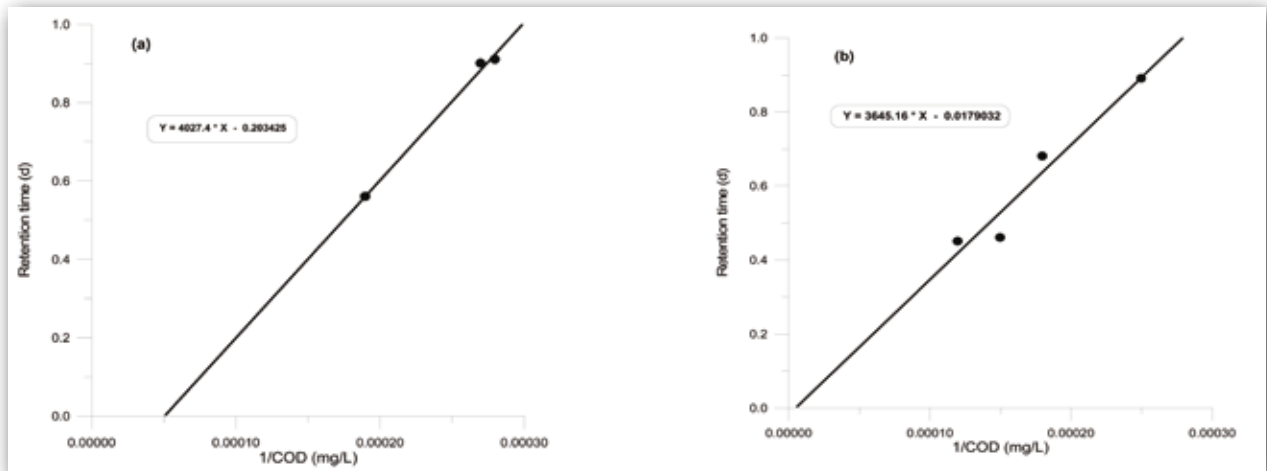
ในถังบำบัดแบบไร้อากาศที่มีลักษณะเซลล์ จุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่นั้น ปริมาณจุลินทรีย์ในถังสามารถ ทำการวัดจากของแข็งแขวนลอยที่ระเหยง่าย (VSS: Volatile Suspended Solids) ซึ่งสามารถนำมาแทนที่ในสมการที่ 6 ในการหา Y และ K_d ได้ อย่างไรก็ตาม ในถังบำบัดที่มี ตัวกลางให้แบคทีเรียยึดเกาะนั้น เป็นไปได้ยากที่จะทดสอบ หาปริมาณแบคทีเรียที่เกาะอยู่บนตัวกลางในระยะเวลาที่ ต่างกัน จึงอนุมานว่า K_d มีค่าเพียงเล็กน้อย และสามารถ แทนที่สมการที่ 4 เป็นสมการที่ 7 ได้ดังนี้

$$\theta = \frac{K_s}{\mu_{\max}} * \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{\max}} \quad (7)$$

เนื่องจากสมการที่ 7 ถูกประยุกต์ใช้จากข้อกำหนด ของถังบำบัดแบบกวนต่อเนื่อง (CSTR: Continuous Stirring Tank Reactor) ซีโอดีแต่ละจุดที่ตรวจสอบ ถือว่า มีการผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียว จะมีความแตกต่างของ ความเข้มข้นซีโอดีในถัง เมื่อทำการเปลี่ยนค่าระยะเวลา กัก พักทางชลศาสตร์ ดังนั้น เมื่อนำค่าระยะเวลา กัก พักทาง ชลศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงไป มาพลอตกับส่วนกลับของค่า ซีโอดี ตามสมมติฐานที่กล่าวข้างต้น สามารถแสดงผลได้ดัง ภาพที่ 4 a และ b ซึ่งหมายถึง ถังที่ 1 และ 2 ในตัวกลาง ที่เป็นเปลือกหอยแครง และแท่งไม้ไผ่ ตามลำดับ สำหรับข้อมูล ในถังที่ 3 ที่ใช้ตัวกลางเป็นลูกบอลพลาสติก ไม่สามารถทำ การพลอตค่าระยะเวลา กัก พักทางชลศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลง ไปได้ เนื่องจากระบบเกิดการล้มเหลว แบคทีเรียไม่ทำการ ย่อยสลายซีโอดี เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลา กัก พักทางชลศาสตร์ ขึ้น ผลการคำนวณสามารถหาค่าจลนพลศาสตร์เพื่อนำไป ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประมาณค่าจลนพลศาสตร์ของถังกรองไร้อากาศ ถังที่ 1 และ 2

ถังกรองไร้อากาศ	$\mu_{\max}$ (day ⁻¹)	K_s (gCOD L ⁻¹)
ถังที่ 1	5	20
ถังที่ 2	50	182



ภาพที่ 4 คำนวณระหว่างระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์และส่วนกลับของค่าซีโอดีในถังที่ 1^(a) และถังที่ 2^(b)

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศโดยเปรียบเทียบกับตัวกลางที่ใช้ 3 ชนิด คือ เปลือกหอยแครง แห้งไม้ไผ่ และลูกบอลพลาสติก โดยทำการปรับเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ จาก 0.8-6.0 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์คงที่ เท่ากับ 2.7 วัน และเดินระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 100 วัน ผลที่ได้คือ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ร้อยละของมีเทนเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 40-60 ซึ่งจากผลการศึกษาของ Michaud และคณะ (2002) ได้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของมีเทนยลต์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบไร้อากาศที่มีตัวกลางอยู่ในระบบว่า ในช่วงเริ่มแรกกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน (methanogen) จะผลิตมีเทนออกมาน้อย เนื่องจากต้องการนำแหล่งคาร์บอนที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ ในกระบวนการอะนาบอลิซึมมากกว่าที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมการผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการคะตาบอลิซึม และเมื่อระบบมีการสร้างเซลล์เป็นจำนวนมากแล้ว กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะทำการผลิตก๊าซมีเทน ออกมามากกว่าที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้

จะสังเกตได้จากการผลิตก๊าซมีเทนจะมีค่าขึ้น-ลง ตามสภาวะการปรับเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ขึ้นเรื่อยๆ

เมื่อทำการปรับลดค่าระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ลงจาก 61.4 ชั่วโมง เป็น 15.9 ชั่วโมง โดยให้ความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นที่ 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลให้ค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 4.05 กรัมต่อลิตร-วัน เป็น 21.33 กรัมต่อลิตร-วัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศที่ใช้ตัวกลางแต่ละชนิดในการรองรับค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในระยะเวลาที่สั้นลง และทดสอบเพื่อหาค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์ของระบบ สรุปได้ว่า ถังที่ 1 ที่ใช้เปลือกหอยแครงเป็นตัวกลาง จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการใช้เป็นตัวกลางในระบบถังกรองไร้อากาศสามารถรองรับค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ได้สูงถึง 21.04 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 16.1 ชั่วโมง บำบัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 รองลงมาคือถังที่ 2 ที่ใช้ตัวกลางเป็นแห้งไม้ไผ่ สามารถรองรับค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เฉลี่ยได้ 13.7 กรัมต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ 21.5 ชั่วโมง บำบัดซีโอดีได้ร้อยละ 98 ในขณะที่ถังที่ 3 ที่ใช้ตัวกลางเป็นลูกบอลพลาสติกสามารถรองรับค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ได้เพียง

3.33 กรั่มต่อลิตร-วัน ที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ถึง 75 ชั่วโมง บำบัดชีโอดีได้อ้อยละ 96 จากผลการทดลองนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของเปลือกหอย แครก และแท่งไม้ไผ่ ที่สามารถทำให้ระบบถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพสูงกว่าลูกบอลพลาสติก ในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระดับสูง

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ จากผู้วิจัยท่านอื่น ที่ใช้ตัวกลางต่างชนิดกัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5 ซึ่งเมื่อประเมินในแง่การลงทุน ในการพิจารณาจากระบบถังกรองไร้อากาศว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดดีหรือไม่นั้น ควรมีการรองรับอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ของระบบในอัตราที่สูง และการใช้เวลาพักทางชีวศาสตร์ควรน้อยที่สุด เพื่อระบบจะได้มีขนาดเล็ก ประหยัดการลงทุน นอกจากนี้เพื่อให้ทราบถึงความหลากหลายของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มที่ทำงานร่วมกันในถังควรที่จะมีการศึกษาชนิดและกลุ่มของแบคทีเรียเด่นที่เกิดขึ้นในระบบ โดยใช้เทคนิค FISH (Fluorescence In Situ Hybridization) ในการศึกษาต่อไป

สำหรับค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์ของ μ_{max} ในถังที่ 1 และ 2 เป็น 5 และ 50 ต่อวัน ตามลำดับ ส่วนค่า K_s ในถังที่ 1 และ 2 เป็น 20, และ 182 กรั่ม-ซีโอดีต่อลิตรตามลำดับ ค่า K_s ที่ได้ใกล้เคียงกับของ Speech

(1995) ในขณะที่ค่า μ_{max} ที่ได้จากผลการทดสอบจะมีค่าสูงกว่าที่เสนอไว้ ซึ่งสามารถใช้ค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์นี้ไปใช้ในการออกแบบระบบทางวิศวกรรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยใช้เปลือกหอยแครก และแท่งไม้ไผ่ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นเป็นตัวกลางในระบบถังกรองไร้อากาศได้

5. เอกสารอ้างอิง

- Fuchs, W., Binder, H., Mavrias, G., and Braun, R. (2003). Anaerobic treatment of wastewater with high organic content using a stirred tank reactor coupled with a membrane filtration unit. *Water Research*, 37: 902-908.
- Hu, W. C., Thayanithy, K. and Foster, C. F. (2002). A kinetic study of anaerobic digestion of ice-cream wastewater. *Process Biochem.* 37:965-971.
- Ince, O., Ince, B. K., and Donnelly, T. (2000). Attachment, strength and performance of a porous media in an up flow anaerobic filter treating dairy wastewater. *Water Sci. Technol.* 41: 261-270.

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศที่มีการใช้ตัวกลางแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตัวกลาง	HRT (d)	OLR (g/l-d)	การบำบัดชีโอดี (%)	เอกสารอ้างอิง
Bamboo rings	0.5-5	2-18.5	30-85	Tritt,1992
Clay brick granule	3	22	75	Seth, Goyal, and Handa,1995
Not specified	1.5	5	63-85	Ruiz et al., 1997
Not specified	0.5	21	80	Ince, 2000
Ceramic cross flow membrane	1.2	6-8	97	Fuchs et al., 2003
Plastic rings	1.85	4.7	91	Omil et al., 2003
Sea shell	0.7	21	93	ในการศึกษานี้
Bamboo stick	1	14	98	ในการศึกษานี้
Plastic pall ring	3	3.3	96	ในการศึกษานี้

- Michaud, S., Bernet, N., Buffiere, P., Roustan, M., and Moletta, R. (2002). Methane yield as a monitoring parameter for the start-up of anaerobic fixed film reactors. *Water Research*, 36: 1385-1391.
- Omil, F., Garrido, J. M., Arrojo, B., and Mendez, R. (2003). Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. *Water Research*, 37: 4099-4108.
- Owen, J. D. and Kiddie, R. M. (1969). The nitrogen nutrition of soil and herbage coryneform bacteria. *J. Appl. Bact.* 32: 338-347.
- Ruiz, I., Veiga, M., de Santiago, P., and Blazquez, R. (1997). Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter. *Bioresouce Technol.*, 60: 251-258.
- Seth, R., Goyal, S. K., Handa, B. K. (1995). Fixed film biomethanation of distillery spentwash using low cost porous media. *Resources, Conservation and Recycling*, 14: 79-89.
- Tritt, W. P. (1992). The anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in fixed- bed reactors. *Bioresource Technol.*, 41: 201-207. 



งานวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีด้านของเสีย และชีวมวล



- การทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศว๗. ในแปลงเพาะปลูกจริง
(On-farm Testing for Compost Application)



การทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร คว. ในแปลงเพาะปลูกจริง

(On-farm Testing for Compost Application)

ดร. นิตยา นิกะนาด มิลเน* รรสมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์** ขจรศักดิ์ หานูปราบ**
 รัชพร สิงขโรทัย** สุรสิน รรสมรร** ไพโรจน์ อ่องคณา** ไพรินทร์ ชลลภ***
 Dr. Nittaya Nugranad Milne* Thammasak Rojviroon**
 Khajornsak Hanprab** Ratchaporn Singkarotai**
 Surasin Thommathorn** Pairoj Ongkana** Pairin Chalothorn***

บทคัดย่อ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยส่วนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านของเสียและชีวมวล ได้ทำการวิจัยการเพิ่มมูลค่าขยะอินทรีย์ เพื่อส่งเสริมให้มีการนำของเสียชุมชนที่เป็นของเสียอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ ผู้วิจัยได้ค้นคิดสูตรและผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากครัวเรือน ได้แก่ อาหาร ผักผลไม้ เศษเนื้อสัตว์และเศษวัสดุจากการทำสวน ใบไม้ใบหญ้า กิ่งไม้ วัชพืช โดยผสมด้วยสัดส่วนของปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสม หมักในสภาวะที่มีอากาศ และภายใต้ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม โดยตรวจวัดอัตราส่วนของ C/N ตั้งแต่วันที่เริ่มหมัก จนกระทั่งย่อยสลายสมบูรณ์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้นคิดและผลิตขึ้นนี้ ผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และเมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์สูตรของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ไปทดสอบใช้ปลูกกับผักสวนครัว 7 ชนิด คือ กะเพราแดง หอมแบ่ง มะเขือเปราะ ผักบุ้งจีน โหระพา สลัดใบแดง และพริกชี้ฟ้าตามหลักทฤษฎีการทดสอบในแปลงเพาะปลูกจริง (On-farm Testing) ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้การรู้ลึกกรรมไร่สารพิษ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา และในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าพืชดังกล่าวเจริญและให้ปริมาณผลผลิตดีกว่าในแปลงที่ไม่ใช้ปุ๋ย อย่างมีนัยสำคัญ โดยกะเพราแดง หอมแบ่ง มะเขือเปราะ ผักบุ้งจีน โหระพา สลัดใบแดง และพริกชี้ฟ้า ให้ผลผลิตรวมมากกว่าแปลงควบคุมร้อยละ 12.7, 11.5, 35.0, 37.7, 31.3, 29.9 และ 39.1 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุอินทรีย์ การทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงเพาะปลูกจริง เกษตรอินทรีย์ วิถีชีวิตไร้สาร

Abstract

Various compost formulas have been researched using available organic materials left over as agricultural residues, branches, grass, weed from gardening, and vegetables, fish bones and fruits wastes from the market. The materials were composted in the compost bin under aerobic process. The ratios of carbon and nitrogen sources (C/N ratio) were measured throughout the composting process until the composts were matured. The process temperature, humidity and pH were monitored throughout the process. The mature composts were analysed according to the Thailand Compost Standards notified by the Department of Technical Agriculture. On-farm testing (OFT) for 5 compost formulas with 7 kinds of vegetables, i.e., holy basil, spring onion, cockroach berry, water convolvulus, sweet basil, red salad bowl, and bird-eye chili were carried out in the Wang Nam Kiew Educational Centre for Hazardous Chemical-Free Agriculture, Nakorn Rachasima Province

* ตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อม 8ว. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

** ตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

*** ตำแหน่งเจ้าพนักงานธุรการ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

and Environmental Research and Training Centre. The results of the OFT has shown that the vegetables grown in the plots which ERTC composts were applied have faster growth rate, and give more yields than the control plots significantly. The holy basil, spring onion, cockroach berry, water convolvulus, sweet basil, red salad bowl, and bird-eye chili in the plots which have been composted have total yields of 12.7, 11.5, 35.0, 37.7, 31.3, 29.9 and 39.1% more than the control ones.

Key Words: Compost, organic materials, On-farm testing (OFT), organic farming, global warming

1. บทนำ

1.1 ปุ๋ยอินทรีย์ ทางเลือกการจัดการปัญหาขยะ

ขยะตกค้าง การเผาขยะในที่โล่ง การปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อทัศนียภาพ คือปัญหาสำคัญด้านการจัดการขยะชุมชนและมลพิษจากของเสียชุมชนของประเทศ ที่ต้องเร่งดำเนินการแก้ไขโดยด่วน การคัดแยกขยะ การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ซ้ำ การแปรรูปของเสียเป็นแหล่งพลังงาน และการนำขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ ที่มีอยู่มากถึงร้อยละ 64 ของปริมาณขยะชุมชนทั้งประเทศ มาทำปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมัก เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพ ซึ่งนอกจากจะช่วยแก้ไขปัญหามลพิษจากขยะชุมชน รักษาสิ่งแวดล้อม และยกระดับคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของประชาชนแล้ว การใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนปุ๋ยเคมี ยังช่วยปรับปรุงและฟื้นฟูสภาพดินให้มีธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุที่จำเป็นและเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งเป็นการประหยัดรายจ่ายของประชาชนและเกษตรกรผู้นำไปใช้ เนื่องจากสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ใช้เองได้ โดยใช้ของเสียและชีวมวลที่เหลือจากการเกษตรหรือขยะอินทรีย์จากครัวเรือน

นอกจากนี้ ในขณะนี้โลกประสบกับปัญหาโลกร้อน การนำขยะมาหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการบรรเทาปัญหานี้ เนื่องจากการลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบ (Landfill) ที่ใช้กระบวนการย่อยสลายที่ไร้อากาศ (Anaerobic Process) และลดปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ

1.2 โครงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของเสียชีวมวล

การทำปุ๋ยอินทรีย์อย่างแพร่หลายในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้ประชาชนและเกษตรกร นำปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้แล้วไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ อาจมีธาตุอาหารน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร อีกทั้งปุ๋ยที่ใช้ อาจไม่เหมาะสมกับ

ชนิดและระยะการเจริญของพืช ประกอบกับด้วยประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์ และภารกิจในการจัดการขยะมูลฝอยดังกล่าวข้างต้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยส่วนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านของเสียและชีวมวล จึงดำเนินโครงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของเสียชีวมวลอย่างต่อเนื่อง ระหว่างปี พ.ศ. 2548 ถึง 2552

โครงการดังกล่าว ครอบคลุมการวิจัยค้นคิดสูตรปุ๋ยอินทรีย์และทดลองนำไปใช้ในแปลงปลูกพืชทดสอบจริงตามหลักการทฤษฎี On-farm Testing (OFT) และเพื่อเป็นการเผยแพร่และแนะนำวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สูตรศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมให้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย จึงมีการพัฒนาและส่งเสริมการทำปุ๋ยอินทรีย์ด้วยกระบวนการที่สะดวก รวดเร็ว ราคาถูก จนได้สูตรส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมกับชนิดของพืชผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และผู้บริโภครวมทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โครงการวิจัยนี้ สอดคล้องและอยู่ภายใต้วาระแห่งชาติเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งคณะรัฐมนตรีให้ความเห็นชอบเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2548 และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 ซึ่งมีวาระ 5 ปี (พ.ศ.2550-2554) ประกาศ ณ วันที่ 19 ตุลาคม 2549

แผนการดำเนินงานในแต่ละปี สรุปได้ดังนี้

ปี พ.ศ. 2548-2549 ค้นคิดสูตรและผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ที่มีองค์ประกอบจำพวกเศษวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ประเภทอาหารจากครัวเรือน ได้แก่ ผักผลไม้ และเศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น และเศษวัสดุจากการทำสวน ได้แก่ ใบไม้ ใบหญ้า กิ่งไม้ วัชพืช โดยมีสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมของคาร์บอน และไนโตรเจน กระบวนการหมักปุ๋ยเป็นการหมักในสภาวะที่มีอากาศ (Aerobic digestion) และมีการควบคุมองค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสม ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิในคอกหมัก การถ่ายเทอากาศ ขนาดและชนิดของเศษอินทรีย์วัตถุที่ใช้หมัก ปุ๋ยหมัก

ดังกล่าว มีคุณภาพได้ตามประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

ปี พ.ศ. 2550 ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ค้นคิดได้ ในพื้นที่เพาะปลูกจริงตามหลักทฤษฎี OFT โดยปลูกพืชผักสวนครัว 7 ชนิด คือ กะเพราแดง หอมแบ่ง มะเขือเปราะ ผักบุ้งจีน โหระพา สลัดใบแดง และพริกชี้หนู การทดสอบนี้เน้นการศึกษาประสิทธิภาพ การเพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิต

ปี พ.ศ. 2551 ดำเนินการต่อเนื่องจากปี พ.ศ. 2550 พร้อมกันนั้น ดำเนินการรณรงค์ ส่งเสริม ประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ผลงานวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายภาคเกษตรกร ผู้ค้า และผู้บริโภค

ปี พ.ศ. 2552 เน้นงานด้านการรณรงค์ ส่งเสริม ประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ผลงานวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย นักวิชาการ ภาคการศึกษา เกษตรกร ผู้บริโภค และผู้ประกอบการภาคเอกชน

2. วิธีการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ตามหลักทฤษฎี On-farm testing (OFT)

งานวิจัยที่ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2549 และ 2550 เป็นการนำปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ค้นคิดขึ้น มาทดสอบใช้ในแปลงเพาะปลูกจริง หรือ On-farm Testing (OFT) หรือ On-farm Trial ซึ่งไม่ใช่การวิจัยหรือการทดลองบนแปลงที่มีพื้นที่เล็กๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เพาะปลูกจริง และไม่ใช้การทำแปลงยกร่องหรือยกแปลง เพื่อสังเกตสิ่งที่ต้องการเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร แต่เป็นการทดลองในพื้นที่เพาะปลูกจริง โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Validation) กล่าวคือ มีการทดสอบถูกผิดบนแปลงเพาะปลูก มีการวิจัยเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้ปลูกปฏิบัติงานและจัดการเอง โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในระดับแปลงเพาะปลูกจริง แปลงเพาะปลูกได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม รวมถึงสามารถแยกความแตกต่างของความแปรผันตามธรรมชาติ และ

ลดผลกระทบต่างๆ ซึ่งเกิดจากสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ทำการศึกษาได้

2.1 การเลือกพื้นที่ในการดำเนินโครงการ

มีหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่สำหรับดำเนินการ OFT ดังนี้

- 1) เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม ห่างจากแปลงเพาะปลูกที่ใช้สารเคมี มีแหล่งน้ำสะอาด ไม่มีสารพิษเจือปน
- 2) ศึกษาประวัติพื้นที่ในประเด็นต่างๆ เช่น พืชที่เคยปลูก ปุ๋ยเคมีและหรือสารเคมีที่เคยใช้ ย้อนหลังอย่างน้อย 5 ปี และเก็บตัวอย่างดินและน้ำ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติ
- 3) พิจารณาลักษณะดินในพื้นที่และพืชที่เพาะปลูกอยู่เดิม เพื่อเลือกปลูกพืชให้เหมาะสมกับชนิดของดิน รวมทั้งคำนึงถึงระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชที่ทำการวิจัย

2.2 การออกแบบแปลงในรูปแบบ OFT

แปลงที่ใช้ปลูก ประกอบด้วยแปลง (plot) ที่เป็นชุดควบคุม (Control, C) และแปลงที่เป็นชุดที่ทำการทดสอบปุ๋ย (Treatment, T) โดยจัดวางแปลงแบบสุ่ม และเพื่อลดความเอนเอียง (Bias) ในการเลือกพื้นที่ทำแปลงทดสอบ อันเกิดจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น ชั้นและชนิดของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความชื้น และลักษณะเฉพาะของภูมิประเทศที่ทำการวิจัย เป็นต้น จึงวางแปลงแบบ Randomised Complete Block Design (RCBD) กล่าวคือ วางแปลงที่เป็นแปลง C กับแปลง T เป็นคู่กัน (2 แปลงเป็นหนึ่งคู่ (Blocks, B) แต่ละคู่วางแปลง C และ T แบบสุ่ม (ภาพที่ 1)) นอกจากนี้ การทดสอบยังทำซ้ำ 6 ซ้ำ เพื่อเป็นการกำจัดและ/หรือลดข้อแตกต่างที่มีผลต่อการวิจัยในพื้นที่ทดสอบ เช่น ความแตกต่างของแปลงทดสอบ ปริมาณวัชพืชในแปลงทดสอบ และข้อผิดพลาดต่างๆ ในระหว่างการทดสอบ (Experimental error)



ภาพที่ 1 การออกแบบแปลงทดสอบโดยใช้การสุ่มแบบ Randomised Complete Block Design (RCBD) และทำ 6 ซ้ำ



ภาพแปลง OFT

2.3 การเลือกพืชที่ปลูก

เนื่องจากเกษตรอินทรีย์เป็นการทำการเกษตรแบบพึ่งพาธรรมชาติ จึงเลือกปลูกพืชตามฤดูกาล พืชที่ใช้ทดสอบเป็นพืชอายุสั้น ซึ่งสามารถเก็บผลผลิตได้ในระยะเวลา

45-90 วัน และสามารถตรวจวัดและเก็บผลผลิตได้ง่าย

2.4 การทำปุ๋ยอินทรีย์สูตรศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

ส่วนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านของเสียและชีวมวล ค้นคิดสูตรและผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตามหลักทฤษฎีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมคือควบคุมให้อัตราส่วนของวัสดุอินทรีย์ที่เป็นแหล่งคาร์บอน (C) หรือที่เรียกว่าพวกสีน้ำตาล (Browns) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์กับแหล่งไนโตรเจน (N) หรือพวกสีเขียว (Greens)

ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสร้างเซลล์และเจริญเติบโตขณะเริ่มต้นหมักจะควบคุมให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) อยู่ที่ประมาณ 30:1 โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3) + \dots}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3) + \dots}$$

โดยให้

R = C/N ratio of compost mixture
Q_n = mass of material n (“as is”, or
“wet weight”)

C_n = carbon (%) of material n
N_n = nitrogen (%) of material n
M_n = moisture content (%) of
material n

วัสดุอินทรีย์ที่เป็นแหล่งคาร์บอนหรือพวกสีน้ำตาล มักเป็นวัสดุแห้ง เช่น แกลบ ชี้เลื่อย ฟางข้าว หญ้าแห้ง ใบไม้แห้ง สำหรับแหล่งไนโตรเจนหรือพวกสีเขียว ได้แก่ หญ้าสด ใบไม้สด กากถั่วเหลือง กากเมล็ดกาแฟ ผักสด ผลไม้สด มูลสัตว์ นำวัสดุดังกล่าว เทลงในคอกไม้เป็นชั้นๆ สลับกันระหว่างพวกสีน้ำตาลกับพวกสีเขียว แล้วโกยออกมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน และเทกลับเข้าคอก หมักในสภาวะที่มีอากาศ (Aerobic digestion) และมีการควบคุมองค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสม ได้แก่ ออกซิเจน อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดและขนาดของวัสดุที่ใช้หมัก องค์ประกอบของสารอินทรีย์ และกลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ มีการกลับปุ๋ยอาทิตย์ละครั้ง ปุ๋ยย่อยสลายสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 3-4 อาทิตย์ จากนั้นบรรจุปุ๋ยในถุง เก็บไว้ใช้

คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศวฟ.

มีดังนี้

1) มีสัดส่วนของธาตุอาหารหลัก (Primary Macronutrients) N:P:K ประมาณ 2:1:1 ซึ่งมากกว่า เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

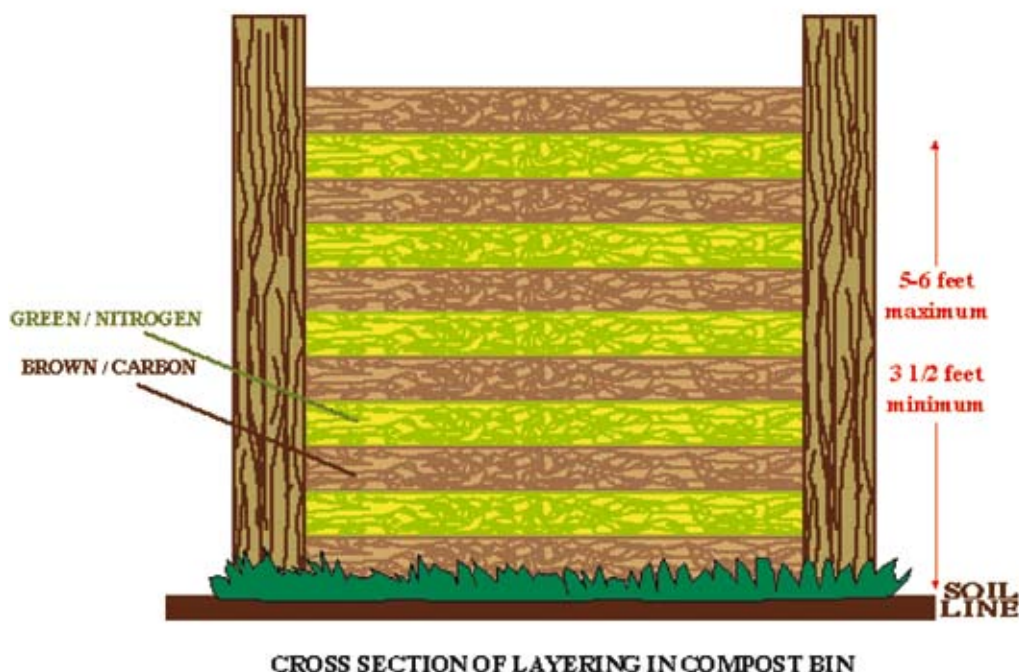


เตรียมวัสดุหมักปุ๋ย



อุปกรณ์การหมักปุ๋ย

ในประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 และค่า N P K ในปุ๋ยอินทรีย์ต่างกับในปุ๋ยเคมีเป็นอย่างมาก เนื่องจากธาตุ N P K ในปุ๋ยเคมีอยู่ในรูปอนินทรีย์สาร ซึ่งละลายน้ำง่าย เมื่อนำไปใช้จะถูกชะล้างได้ง่าย พืชดูดไปใช้ไม่ทัน จึงต้องใส่ให้พืชในปริมาณมากและบ่อยครั้ง แต่ในปุ๋ยอินทรีย์ธาตุอาหารจะอยู่ในรูปอินทรีย์สารที่มีการปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ (Slow release) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศวผ. ผ่านการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ อยู่ในรูปของอินทรีย์สารและมีคุณสมบัติปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ ธาตุอาหารจึงไม่สูญเสียไปเนื่องจากการชะล้างของน้ำได้ง่าย แต่จะคงอยู่ในดินเป็นเวลานานให้พืชได้ดูดไปใช้ ผลที่ตามมา คือไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศวผ. ให้พืชในปริมาณมากและบ่อยครั้งเหมือนปุ๋ยเคมี



ภาพที่ 2 การใส่วัสดุในคอกหมักปุ๋ย ใส่สลับกันระหว่างพวกพืชสีเขียวและสีน้ำตาล



ปุ๋ยกักน้ำได้

2) ปุ๋ยอินทรีย์ สูตร ศวฟ. ไม่ได้มีเฉพาะธาตุอาหารหลัก (Primary Macronutrients, N P K) เท่านั้น แต่ยังมีธาตุอาหารรอง (Secondary Macronutrients) คือ แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ และธาตุอาหารเสริม (Micronutrients) คือ โบรอน เหล็กคลอไรด์ แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโมลิบดีนัม ที่พืชต้องการอยู่อย่างครบถ้วน ซึ่งโดยธรรมชาติพืชต้องการธาตุอาหารทั้งสิ้น 16 ชนิด (อีก 3 ธาตุ คือ C, H และ O ซึ่งได้จากอากาศ และน้ำ) ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงอายุพืช ชนิดและสภาพดิน ภูมิอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัยอื่นๆ อีกมาก

3) ปุ๋ยอินทรีย์ สูตร ศวฟ. มีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ก่อนบรรจุถุง เมื่อนำไปใช้จึงไม่มีการแย่งไนโตรเจนในดินจากพืชโดยจุลินทรีย์ในดิน (ต่างจากปุ๋ยอินทรีย์หลายยี่ห้อที่วางขายทั่วไป ซึ่งมักจะหมักไม่ได้ที่ แล้วนำไปบรรจุถุงขาย เมื่อนำไปใช้ ปุ๋ยดังกล่าวมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ยังไม่ย่อยสลายสูงมาก จุลินทรีย์ในดินต้องการไนโตรเจนสูงในการเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์ เพื่อใช้อินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่มากมายนั้น ทำให้เกิดการ

แย่งธาตุไนโตรเจนในดินกับพืช ส่งผลให้พืชขาดไนโตรเจน นอกจากนี้ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์จะมีสารพิษที่เรียกว่า phytotoxin เช่น ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งเป็นพิษกับพืช ทำให้เมล็ดพันธุ์ไม่งอก หรืองอกแล้วไม่เจริญ และตายในที่สุด ส่งผลให้เกิดอคติต่อปุ๋ยอินทรีย์ว่าใช้แล้วไม่ได้ผล)

4) มีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย ยีสต์และรา ที่มีประโยชน์ ช่วยปรับปรุงดิน ย่อยสลายอินทรีย์สารในดินทำให้ดินมีฮิวมัสสูง มีความโปร่งพรุน ร่วนซุย และอุ้มน้ำได้ดี นอกจากจะช่วยให้เพิ่มฮิวมัสแล้วจุลินทรีย์เหล่านี้ยังช่วยการละลายของแร่ธาตุในอนุภาคหินในดินให้กลายเป็นอาหารพืช

2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาความแตกต่างด้วยหลักการทางสถิติ วิธีการหา Least Significant Difference (LSD) วิธีการนี้เป็นการหาค่าความแตกต่างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อการเปรียบเทียบในทางเกษตรกรรม โดยใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีน้อยกว่า 10 คู่ ผลวิเคราะห์นี้ สามารถกำจัดผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ที่ทำการวิจัยได้

การวิเคราะห์ข้อมูล ดำเนินการสรุปได้ดังนี้

1) ดำเนินการโดยใส่ข้อมูลลงใน Analysis worksheet

2) คำนวณค่า Variance จากสูตร

$$\text{variance} = D^2_{tot} / (r-1)$$

3) คำนวณค่า variance of the means จากสูตร $\text{variance of the means} = \text{variance} / r$

4) คำนวณค่า Standard error ทั้งนี้ $\text{standard error} = \text{square root of the variance of the means}$

5) คำนวณค่า Least Significant Difference (LSD) ณ ค่า t-values ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ

95 และ 90 โดย $\text{standard error} \times t\text{-value} = \text{LSD}$

6) หาค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเปรียบเทียบค่า LSD กับค่า C_{avg} ถ้า C_{avg} น้อยกว่า LSD แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ถ้า C_{avg} มากกว่า LSD แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

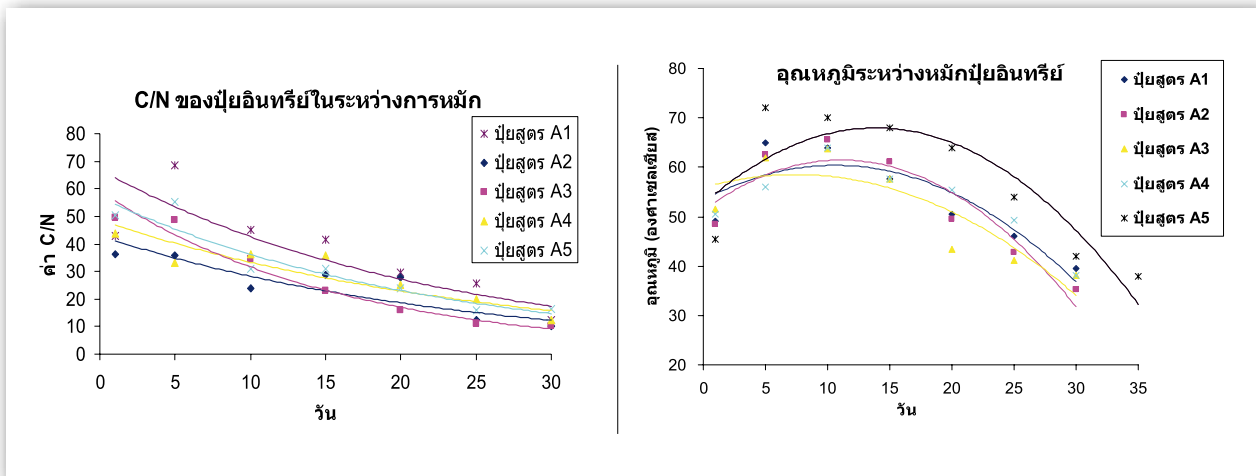
3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 อัตราส่วนวัตถุดิบในปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยที่คั้นคิดและผลิตขึ้น และนำมาใช้ในแปลงทดสอบของการวิจัยครั้งนี้ มี 5 สูตร ปุ๋ยอินทรีย์ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมสูตรที่ 1 (A1), 2 (A2), 3 (A3), 4 (A4) และ 5 (A5) มีองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้หมักปุ๋ย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรปุ๋ยอินทรีย์

สูตร	องค์ประกอบ	ปริมาณ (กิโลกรัม)	หมายเหตุ
A1	ใบประตู	112	หั่น/สับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 ซม.
	หญ้า	112	
	กล้วยน้ำว้า	80	
	มูลวัว	96	
	รวม	400	
A2	ขี้เลื่อย	150	หั่น/สับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 ซม.
	เศษปลา	84	
	เศษผัก	84	
	ฟาง	82	
	รวม	400	
A3	ขี้เลื่อย	150	หั่น/สับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 ซม.
	เศษปลา	84	
	เศษผักข้าวโพด	84	
	ฟาง	82	
	รวม	400	
A4	ขี้เลื่อย	150	หั่น/สับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 ซม.
	เศษปลา	84	
	หัวโซเท้า	84	
	ฟาง	82	
	รวม	400	
A5	ขี้เลื่อย	150	หั่น/สับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 ซม. * เศษผลไม้รวมประกอบด้วย สับปะรดคัตทิ้ง, กล้วยคัตทิ้ง และแตงโมคัตทิ้ง ในปริมาณอย่างละ 28 กก.
	เศษปลา	82	
	หัวโซเท้า	84	
	เศษผลไม้รวม*	84	
	รวม	400	



ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงค่า C/N และ อุณหภูมิของปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ที่ใช้ในแปลงทดสอบจริง OFT

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

สูตรปุ๋ย	% อินทรีย์วัตถุ	อัตราส่วน C/N	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O	% การย่อยสลายสมบูรณ์
A1	30.2	12.5:1	3.19	0.92	1.92	100
A2	53.9	10.4:1	2.14	0.67	0.84	81.8
A3	49.6	10.7:1	2.12	1.23	0.50	93.4
A4	53.6	12.6:1	2.61	1.10	0.93	88.4
A5	52.7	16.2:1	2.34	0.95	1.12	92.7
มาตรฐาน	30	≤ 20:1	≥ 1	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 80

3.2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ pH และอัตราส่วน C/N

ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย บันทึกค่าอุณหภูมิของปุ๋ยในคอกหมัก และค่า C/N ของปุ๋ย ที่ใช้ในแปลงทดสอบจริง (On-farm Testing) ผลดังแสดงในภาพที่ 3 จะเห็นว่า ระยะเริ่มต้นประมาณ 10 วันแรก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อหมักได้ประมาณ 2 อาทิตย์ อุณหภูมิจะเริ่มลดลง และกระบวนการหมักจะสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 1 เดือน

3.3 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตขึ้น

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตขึ้น ประกอบด้วยค่า % อินทรีย์วัตถุ อัตราส่วน C/N, %N, %P₂O₅, %K₂O และ % การย่อยสลายสมบูรณ์ แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งสรุปได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศวฟ. มีคุณสมบัติโดดเด่น มีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ นั่นคือเมื่อนำไปใช้ก็จะช่วยเพิ่มฮิวมัสในดินมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ดี ซึ่งยืนยันได้จาก

ตารางที่ 3 ชนิดพืชที่ใช้ในการทดสอบปุ๋ยอินทรีย์

สูตรปุ๋ยอินทรีย์	ชนิดพืช
สูตรที่ 1 (A1)	กะเพราแดง
สูตรที่ 2 (A2)	หอมแบ่ง, มะเขือเปราะ
สูตรที่ 3 (A3)	ผักบุ้งจีน, โหระพา
สูตรที่ 4 (A4)	สลัดใบแดง
สูตรที่ 5 (A5)	พริกชี้หนู

ค่าอัตราส่วน C/N (ดีกว่ามาตรฐานมาก และใกล้เคียงกับ 10:1) และมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสมบูรณ์มากกว่า 80%

3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยกับพืช

เตรียมแปลงเพาะปลูกพืชทดสอบโดยไถดินแล้วพักดินไว้ 2 อาทิตย์ จากนั้นทำการยกร่องพรุนดินและใส่ปุ๋ยก่อนการปลูก (Pre-treatment) 10 กิโลกรัม/แปลง และคลุมฟาง ในระหว่างการปลูก ถอนวัชพืชทุก 2 วัน รดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น บันทึกข้อมูลสภาพอากาศทุกวัน และข้อมูลการเจริญทุก 2 วัน ในช่วงเดือนแรก และ

ทุก 7 วัน หลังปลูกประมาณ 1 เดือน

3.4.1 การเจริญและปริมาณผลผลิต

1) กะเพราแดง (Holy basil)

ปลูกกะเพราแดงใช้วิธีการเพาะเมล็ด เมื่ออายุได้ 2 เดือน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงทดสอบ โดยแต่ละแปลงจะปลูกกะเพราแดง 2 แถวๆ ละ 10 ต้น รวมทั้งหมด 20 ต้นต่อแปลง ใส่ปุ๋ย ศวฟ.สูตรที่ 1 (A1) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) โดยใส่รองกันหลุมจำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง และหลังจากลงแปลงทดสอบได้ 14, 24 และ 34 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2, 3 และ 4 จำนวน 7 กิโลกรัม/แปลง/ครั้ง ตามลำดับ บันทึกข้อมูลการเจริญ โดยการวัดความสูง, ความกว้างกอทุกๆ 7 วัน เก็บผลผลิตและบันทึกน้ำหนักโดยตัดยอดกะเพราแดงเหนือโคนต้นประมาณ 10 ซม. ทั้งหมด 3 ครั้งเมื่ออายุได้ 8, 25 และ 36 วันตามลำดับ รวมระยะเวลาการวิจัย 36 วัน

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 คำนวณหาความแตกต่างของน้ำหนักรวมของกะเพราแดงด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot,g

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D ²)
	Treatment	Control			
	A	B	C = (A - B)	D = C - C _{avg}	D ² = D x D
I	3890	3275	615	163	26406
II	4125	3975	150	-303	91506
III	4100	3320	780	328	107256
IV	3895	3630	265	-188	35156
Totals	16010	14200	1810		D ² _{tot} = 260325
Averages	A _{avg} = 4002.5	B _{avg} = 3550.0	C _{avg} = 452.5		

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.05$	2.57
LSD = standard error x t-values	378.53
$C_{avg} =$	452.50

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (C_{avg}) มีค่าเท่ากับ 452.5 กรัม คิดเป็นร้อยละ 12.7 และจากการคำนวณค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าเท่ากับ 378.53 ซึ่งต่ำกว่าค่า C_{avg} จึงสรุปได้ว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรยวียัยและฝักอบรวม

ด้านสิ่งแวดล้อมสูตรที่ 1 (A1) มีผลให้กะเพราแดงในแปลงใส่ปุ๋ยเจริญและให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าแปลงไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ

2) หอมแบ่ง (Spring onions)

ปลูกหอมแบ่งโดยวิธีการตัดจุก ปลูก 28 ต้นต่อแปลง ใส่ปุ๋ย ศวฟ. สูตรที่ 2 (A2) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) ก่อนเริ่มการปลูกแปลง 7 วัน จำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง และเมื่อหอมแบ่งมีอายุ 15 และ 70 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2 และ 3 จำนวน 7 กิโลกรัม/แปลง/ครั้ง บันทึกอัตราการเจริญโดยวัดความสูง และจำนวนใบ เก็บผลผลิตหลังจากปลูกได้ 81 วัน โดยบันทึกน้ำหนักและจำนวนหัวของหอมแบ่ง

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 คำนวณหาค่าความแตกต่างน้ำหนักรวมของหอมแบ่งด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot, g

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D^2)
	Treatment	Control	$C = (A - B)$	$D = C - C_{avg}$	$D^2 = D \times D$
	A	B			
I	942	810	132	25.20	635.04
II	967	872	95	-11.80	139.24
III	1052	919	133	26.20	686.44
IV	1110	986	124	17.20	295.84
V	1122	1072	50	-56.80	3226.24
Totals	5193	4659	534		$D^2_{tot} = 4982.8$
Averages	$A_{avg} = 1038.6$	$B_{avg} = 931.8$	$C_{avg} = 106.8$		

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.05$	2.57
LSD = standard error x t-values	40.57
$C_{avg} =$	106.8

หมายเหตุ: การคำนวณเปรียบเทียบค่า T-values ทำเช่นเดียวกับกะเพราแดง

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (C_{avg}) จากการชั่งเท่ากับ 106.8 คิดเป็นร้อยละ 11.5 และจากการคำนวณ Least Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95% ได้ค่า LSD เท่ากับ 40.57 ต่ำกว่าค่า C_{avg} จึงสรุปได้ว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรยววิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สูตรที่ 2 (A2) มีผลให้หอมแบ่งในแปลงใส่ปุ๋ยเจริญและให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าแปลงไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมี

นัยสำคัญ นอกจากนี้หอมแบ่งในแปลงควบคุม และแปลงที่ใส่ปุ๋ย มีร้อยละการรอดใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 93.6 และ 93.3 ตามลำดับ

3) มะเขือเปราะ (Cockroach berry)

ปลูกมะเขือเปราะโดยใช้วิธีเพาะเมล็ด เมื่ออายุประมาณ 2 เดือน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงทดสอบ โดยแต่ละแปลงจะปลูก 2 แถว แถวละ 11 ต้น รวมใช้ต้นกล้ามะเขือเปราะทั้งหมด 22 ต้น/แปลง ใส่ปุ๋ย ศวผ. สูตรที่ 2 (A2) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) โดยใส่รองกันหลุมจำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง และหลังจากลงแปลงทดสอบได้ 18, 28, 38 และ 48 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2, 3, 4 และ 5 จำนวน 7 กก./แปลง/ครั้ง ตามลำดับ บันทึกข้อมูลการเจริญของมะเขือเปราะ จากการวัดความสูง ความกว้างกอ จำนวนดอก และน้ำหนักผลมะเขือเปราะ ทุกๆ 7 วัน รวมระยะเวลาการวิจัย 62 วัน

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 คำนวณหาความแตกต่างของน้ำหนักรวมของมะเขือเปราะด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot,g

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D^2)
	Treatment	Control			
	A	B	$C = (A - B)$	$D = C - C_{avg}$	$D^2 = D \times D$
I	1645.00	1316.00	329	-135.31	18309.47
II	2635.00	1715.00	920.00	455.69	207651.10
III	1330.25	1225.00	105.25	-359.06	128925.88
IV	1548.00	1045.00	503	38.69	1496.72
Totals	7158.25	5301	1857.25		$D^2_{tot} = 356383.17$
Averages	$A_{avg} = 1789.56$	$B_{avg} = 1325.25$	$C_{avg} = 464.31$		

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.05$	2.57
-----------------------------	------

$$LSD = \text{standard error} \times t\text{-values} \quad 442.90$$

$C_{avg} =$	464.31
-------------	--------

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (C_{avg}) มีค่าเท่ากับ 464.31 คิดเป็นร้อยละ 35.03 และจากการคำนวณค่า Least Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าเท่ากับ 442.90 ซึ่งต่ำกว่าค่า C_{avg} จึงสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้าน

สิ่งแวดล้อมสูตรที่ 2 (A2) มีผลทำให้ผลผลิตของมะเขือเปราะในแปลงใส่ปุ๋ยเจริญ และให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าแปลงไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ

4) ผักบุ้งจีน (Water convolvulus)

ปลูกโดยใช้วิธีการหว่านเมล็ด โดยแต่ละแปลงหว่านเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนจำนวน 1 ซองซึ่งมีเมล็ดพันธุ์ประมาณ 1,000 เมล็ด ใส่ปุ๋ย ศวฟ. สูตรที่ 3 (A3) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) ก่อนเริ่มการปลูกลงแปลง 7 วัน จำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง และเมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 28 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2 จำนวน 20 กิโลกรัม/แปลง บันทึกอัตราการเจริญโดยสุ่มวัดความสูงของต้นในแต่ละแปลง เก็บผลผลิตหลังจากปลูกได้ 34 วัน บันทึกน้ำหนักรวมในแต่ละแปลงช่วงเก็บผลผลิต

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 คำนวณหาค่าความแตกต่างน้ำหนักรวมของผักบุ้งจีนด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot, kg

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D^2)
	Treatment	Control			
	A	B	$C = (A - B)$	$D = C - C_{avg}$	$D^2 = D \times D$
I	3.20	3.00	0.20	-0.82	0.67
II	3.80	2.40	1.40	0.38	0.15
III	5.40	3.00	2.40	1.38	1.91
IV	3.90	3.20	0.70	-0.32	0.10
V	3.80	2.60	1.20	0.18	0.03
VI	2.20	2.00	0.20	-0.82	0.67
Totals	22.30	16.20	6.10		$D^2_{tot} = 3.53$
Averages	$A_{avg} = 3.71$	$B_{avg} = 2.7$	$C_{avg} = 1.01$		

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.05$	2.57
LSD = standard error x t-values	0.89
$C_{avg} =$	1.10

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (C_{avg}) จากการชั่งเท่ากับ 1.01 คิดเป็นร้อยละ 37.7 และจากการคำนวณ Least Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 0.89 ซึ่งต่ำกว่าค่า C_{avg} จึงสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมสูตรที่ 3 (A3) มีผลให้ผักบุ้งจีนเจริญและให้ปริมาณผลผลิตดีกว่าแปลงควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ

5) โหระพา (Sweet basil)

ปลูกโหระพาโดยการเพาะเมล็ดในถุงเพาะชำเมื่ออายุประมาณ 2 เดือน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงทดสอบ โดยแต่ละแปลงจะปลูก 2 แถว แถวละ 10 ต้น รวมใช้ต้นกล้าโหระพาทั้งหมด 20 ต้น/แปลง ใส่ปุ๋ย ศวผ. สูตรที่ 3 (A3) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) โดยใส่รองกันหลุมจำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง หลังจากลงแปลงทดสอบได้ 15, 25 และ 35 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2, 3 และ 4 จำนวน 7 กิโลกรัม/แปลง/ครั้ง บันทึกข้อมูลการเจริญของโหระพาจากการวัดความสูง ความกว้างกอทุกๆ 7 วัน เก็บผลผลิตและบันทึกน้ำหนักโดยตัดยอดโหระพาเหนือโคนต้น 10 ซม. ทั้งหมด 3 ครั้ง เมื่ออายุได้ 24, 45 และ 66 วันตามลำดับ รวมระยะเวลาการวิจัย 66 วัน

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 12 และ 13 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 คำนวณหาค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมของโหระพาด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot,g

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D^2)
	Treatment	Control			
	A	B	$C = (A - B)$	$D = C - C_{avg}$	$D^2 = D \times D$
I	7635	5485	2150	349.25	121975.56
II	8080	6125	1955	154.25	23793.06
III	6792	5265	1527	-273.75	74936.06
IV	7696	6125	1571	-229.75	52785.06
Totals	30203	23000	7203		$D^2_{tot} = 273492.75$
Averages	$A_{avg} = 7550.75$	$B_{avg} = 5750.00$	$C_{avg} = 1800.75$		

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.05$	2.57
LSD = standard error x t-values	387.99
$C_{avg} =$	1800.75

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (C_{avg}) มีค่าเท่ากับ 1800.75 คิดเป็นร้อยละ 31.3 และจากการคำนวณค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าเท่ากับ 387.99 ซึ่งต่ำกว่าค่า C_{avg} จึงสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ย ศวฟ. สูตรที่ 3 (A3) มีผลทำให้

ผลผลิตของโหระพาในแปลงใส่ปุ๋ยเจริญ และให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าแปลงไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ

6) สลัดใบแดง (Red salad bowl)

ปลูกโดยเพาะเมล็ด เมื่อเจริญดีประมาณ 1 สัปดาห์ นำไปปลูกลงแปลงทดสอบแปลงละ 28 ต้น ใส่ปุ๋ย ศวฟ. สูตรที่ 4 (A4) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) ก่อนเริ่มการปลูกลงแปลง 7 วัน จำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง และเมื่อสลัดใบแดงมีอายุ 19 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2 จำนวน 7 กิโลกรัม/แปลง บันทึกอัตราการเจริญโดยวัดความสูง ความกว้างกอและจำนวนใบ และเก็บผลผลิตหลังจากปลูกได้ 43 วัน บันทึกน้ำหนักต่อต้นและน้ำหนักรวมในแต่ละแปลง

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 คำนวณหาความแตกต่างน้ำหนักรวมของสลัดใบแดงด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot, g

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D^2)
	Treatment	Control			
	A	B	$C = (A - B)$	$D = C - C_{avg}$	$D^2 = D \times D$
I	3364	2178	1186	1186	1406596
II	3701	3489	212	212	44944
III	3639	2547	1092	1092	1192464
IV	3514	2949	565	538	289864
V	5256	3120	2136	2136	4562496
VI	3673	3538	135	135	18225
Totals	23147	17821	5326		$D^2_{tot} = 3001987$
Averages	$A_{avg} = 3857.8$	$B_{avg} = 2970.2$	$C_{avg} = 887.7$		

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.05$	2.57
LSD = standard error x t-values	812.9
$C_{avg} =$	887.7

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย 6 คู่ (C_{avg}) จากการซังเท่ากับ 887.7 คิดเป็นร้อยละ 29.9 และจากการคำนวณ Least Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 812.9 สรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สูตร A4 มีผลให้สลัดใบแดงเจริญ และให้ปริมาณผลผลิตดีกว่าแปลง

ควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ

7) พริกชี้หนู (Bird-eye chili)

ปลูกพริกชี้หนูโดยใช้วิธีเพาะเมล็ด เมื่ออายุประมาณ 2 เดือน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงทดสอบ โดยแต่ละแปลงจะปลูก 2 แถว แถวละ 11 ต้น รวมใช้ต้นกล้าพริกชี้หนูทั้งหมด 22 ต้น/แปลง ใส่ปุ๋ย ศวผ. สูตรที่ 5 (A5) ครั้งที่ 1 (Pre-treatment) โดยใส่รองก้นหลุม จำนวน 10 กิโลกรัม/แปลง และหลังจากลงแปลงทดสอบได้ 15, 25 และ 35 วัน ใส่ปุ๋ย (Post-treatment) ครั้งที่ 2, 3 และ 4 จำนวน 7 กิโลกรัม/แปลง/ครั้ง ตามลำดับ บันทึกข้อมูลการเจริญของพริกชี้หนูจากการวัดความสูง ความกว้างกอ จำนวนดอก และน้ำหนักเมล็ดของพริกชี้หนูทุกๆ 7 วัน รวมระยะเวลาการวิจัย 45 วัน

ผลการคำนวณหาค่า variance, variance of the means, standard error และค่า LSD แสดงไว้ในตารางที่ 16 และ 17 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 คำนวณหาค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมของพริกชี้หนูด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
Completed sum of squares calculations: Total weight in each plot, g

Blocks	Conditions		Difference (C)	Deviation (D)	Deviation squared (D^2)
	Treatment	Control			
	A	B	$C = (A - B)$	$D = C - C_{avg}$	$D^2 = D \times D$
I	322.5	227	95.5	-28	802
II	424	369.2	55	-69	4764
III	417	361	56	-68	4600
IV	598	309	289	165	27283
Totals	1761.5	1266.2	495.3		$D^2_{tot} = 37450$
Averages	$A_{avg} = 440.4$	$B_{avg} = 316.6$	$C_{avg} = 123.8$		

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบค่า Least Significant Difference (LSD) กับค่า C_{avg}

t-values at $\alpha = 0.10$	2.02
LSD = standard error x t-values	122.85
$C_{avg} =$	123.83

ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (C_{avg}) มีค่าเท่ากับ 123.83 คิดเป็นร้อยละ 39.12 และจากการคำนวณค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 90% มีค่าเท่ากับ 112.85 ซึ่งต่ำกว่าค่า C_{avg} จึงสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรยววิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สูตรที่ 4 (A4) มีผลให้ผลผลิตของต้นพริกชี้หนูในแปลงใส่ปุ๋ยเจริญและให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าแปลงไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลในตารางที่ 1-17 สามารถสรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย C_{avg} ของผลผลิต และ LSD เพื่อศึกษาความแตกต่างของผลผลิตระหว่างการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยได้ในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย C_{avg} ของผลผลิต และ LSD เพื่อศึกษาความแตกต่างของผลผลิตระหว่างการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย

ชนิดพืช	variance	variance of the means	standard error	t-value	LSD	C_{avg}	สรุปผล
---------	----------	-----------------------	----------------	---------	-----	-----------	--------

1. กะเพราแดง

น้ำหนักรวม (กรัม)	86775	21693.75	147.29	2.57	378.53	452.5	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ยของผลผลิตต่อแปลง C สูง กว่าค่า LSD (ระดับความเชื่อมั่น 95) แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
-------------------	-------	----------	--------	------	--------	-------	--

2. หอมแบ่ง

น้ำหนักผลผลิตต่อแปลง (กรัม)	1245.70	249.14	15.78	2.57	40.57	106.80	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ยของผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90) แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
-----------------------------	---------	--------	-------	------	-------	--------	---

ตารางที่ 18 (ต่อ) สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย C_{avg} ของผลผลิต และ LSD เพื่อศึกษาความแตกต่างของผลผลิตระหว่างการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย

ชนิดพืช	variance	variance of the means	standard error	t-value	LSD	C_{avg}	สรุปผล
---------	----------	-----------------------	----------------	---------	-----	-----------	--------

3. มะเขือเปราะ

น้ำหนัก รวม (กรัม)	118794.39	29698.60	172.33	2.57	442.90	464.31	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ย ผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) แสดงว่า ทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
--------------------------	-----------	----------	--------	------	--------	--------	---

4. ผักบุ้งจีน

ความสูง เฉลี่ย (เซนติเมตร)	28.820	4.80	2.19	2.57	5.63	6.23	ค่าความแตกต่างของความสูงเฉลี่ย ผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95) แสดงว่า ทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
น้ำหนัก รวม (กิโลกรัม)	0.70	0.12	0.35	2.57	0.89	1.01	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ย ผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95) แสดงว่า ทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5. โหระพา

น้ำหนัก รวม (กรัม)	91164.25	22791.06	150.97	2.57	387.99	1800.75	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ย ผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) แสดงว่า ทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
--------------------------	----------	----------	--------	------	--------	---------	---

ตารางที่ 18 (ต่อ) สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย C_{avg} ของผลผลิต และ LSD เพื่อศึกษาความแตกต่างของผลผลิตระหว่างการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย

ชนิดพืช	variance	variance of the means	standard error	t-value	LSD	C_{avg}	สรุปผล
---------	----------	-----------------------	----------------	---------	-----	-----------	--------

6. สลัดใบแดง

น้ำหนักรวม (กรัม)	600397	100066	316.33	2.57	812.9	887.67	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ยผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
น้ำหนัเฉลี่ย (กรัม)	732.138	122.02	11.046	2.57	28.39	34.6	ค่าความแตกต่างของน้ำหนัเฉลี่ยผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

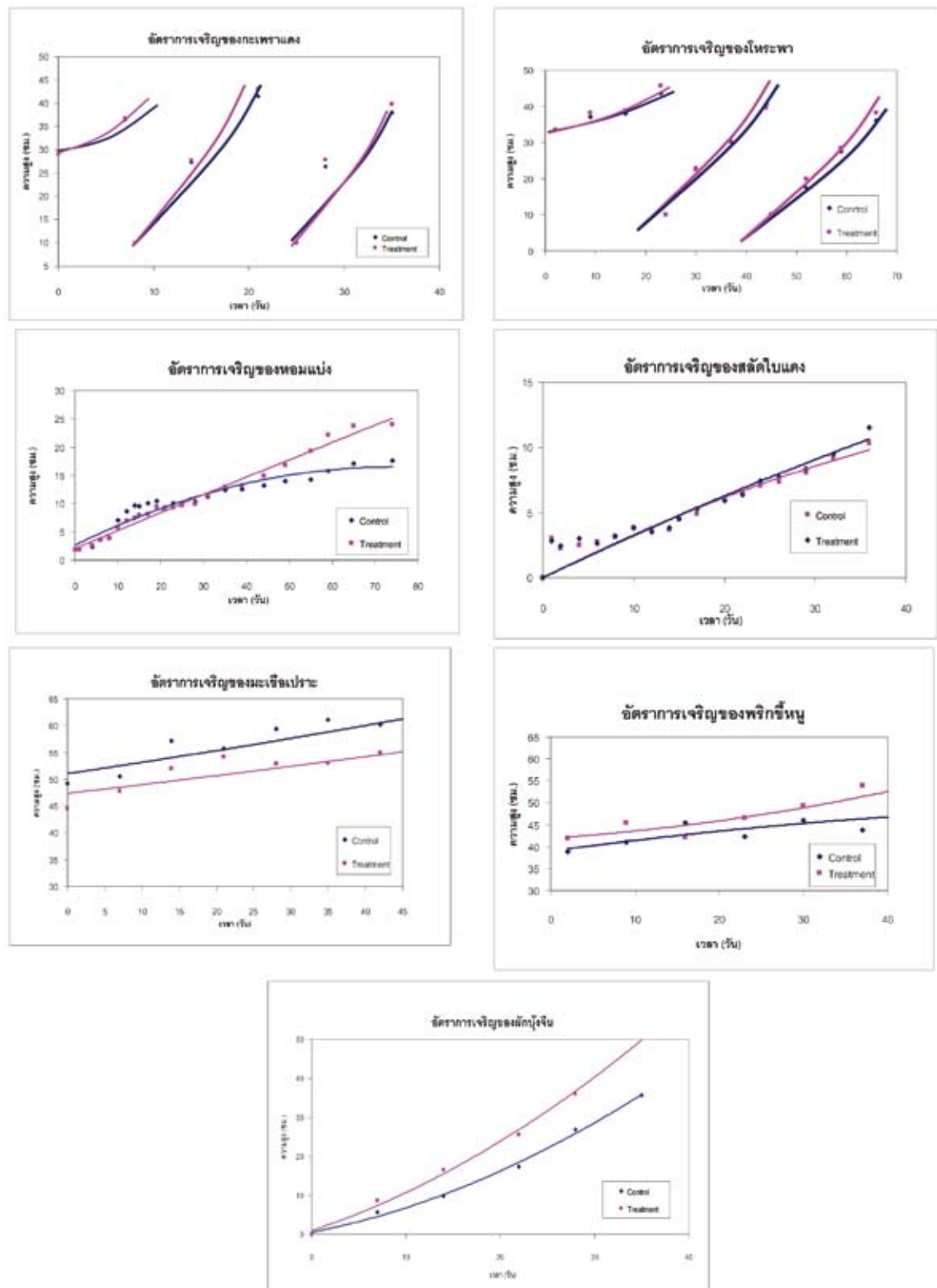
7. พริกชี้ฟ้า

น้ำหนักรวม (กรัม)	12483.26	3120.81	55.86	2.02	112.85	123.83	ค่าความแตกต่างของน้ำหนักรวมเฉลี่ยผลผลิตต่อแปลง C สูงกว่าค่า LSD (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90) แสดงว่าทั้ง 2 เงื่อนไขที่ศึกษาเปรียบเทียบนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
-------------------	----------	---------	-------	------	--------	--------	---

3.4.2 อัตราการเจริญของพืชทดสอบ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้พืชทดสอบมีอัตราการเจริญที่ดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย กรณีหอมแบ่งในแปลงที่ใส่ปุ๋ยมีการเจริญทางใบใหญ่และยาวกว่า แตกกอ และหัวใหญ่กว่าในแปลงที่

ไม่ใส่ปุ๋ย พักสลัดใบแดงในแปลงที่ใส่ปุ๋ยมีขนาดใบ กอใหญ่ และอวบกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย พักบ่งจิ้นในแปลงที่ใส่ปุ๋ยมีความยาว และอวบของลำต้นมากกว่า และขนาดใบใหญ่กว่า ใบมีสีเขียวสดกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงสรุปในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงอัตราการเจริญของพืชทดสอบในแปลงเพาะปลูกจริง OFT

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบน้ำหนักผลผลิตของพืชทดสอบ

ลำดับที่	ชนิดพืช	น้ำหนักผลผลิตรวมจากแปลงทดสอบ		ความแตกต่างของน้ำหนักผลผลิตรวม	
		Control (g)	Treatment (g)	g	(%)
1	กะเพราแดง	14,200	16,010	1810	12.7
2	หอมแบ่ง	4,659	5,193	534	11.5
3	มะเขือเปราะ	5,301	7,158.25	1857.25	35.0
4	ผักบุ้งจีน	16.20(kg)	22.30(kg)	6.1(kg)	37.7
5	โหระพา	23,000	30,203	7,203	31.3
6	สลัดใบแดง	17,821	23,147	5326	29.9
7	พริกชี้หนู	1,266.20	1,761.50	495.3	39.1

3.4.3 เปรียบเทียบน้ำหนักผลผลิตของพืชทดสอบ

ผลการวิจัยทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมผลิตคั่นคิดได้กับผักสวนครัวทั้ง 7 ชนิด สามารถเปรียบเทียบผลผลิตดังแสดงในตารางที่ 19

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมผลิตคั่นคิดได้ กับผักสวนครัวทั้ง 7 ชนิด คือ กะเพราแดง หอมแบ่ง มะเขือเปราะ ผักบุ้งจีน โหระพา สลัดใบแดง และพริกชี้หนู ในแปลงทดสอบตามหลักทฤษฎี On-farm testing (OFT) พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ สูตร ศวฟ. ทำให้มีการเจริญและปริมาณผลผลิตของกะเพราแดง หอมแบ่ง มะเขือเปราะ ผักบุ้งจีน โหระพา สลัดใบแดง และพริกชี้หนู ให้ผลผลิตรวมมากกว่าแปลงควบคุมร้อยละ 12.7, 11.5, 35.0, 37.7, 31.3, 29.9 และ 39.1 ตามลำดับ

ผลการวิจัยนี้เป็นสิ่งที่พิสูจน์ยืนยันได้ว่า เกษตรกรสามารถทำปุ๋ยอินทรีย์ใช้ได้เองตามหลักวิชาการ จากวัตถุดิบอินทรีย์ที่เหลือทิ้งจากการเกษตร และเศษอาหาร ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ช่วยให้พืชเจริญได้ดี มีความต้านทานโรคสูง ไม่ต้องพึ่งพาปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปลอดภัยต่อสุขภาพของเกษตรกรเองและผู้บริโภค และนอกเหนือไปจากนั้น เนื่องจากในสภาพปัจจุบัน การเผาวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ดังกล่าว คือทางเลือกหนึ่งของการกำจัด ซึ่งก่อให้เกิดการระบายปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ดังนั้นเกษตรกรจึงเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการช่วยลดวิกฤตโลกร้อน

ในระยะต่อไปจะทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเพิ่มศักยภาพการเก็บกักคาร์บอนในดิน และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม ในเรื่องของต้นทุนและผลได้จากการทำเกษตรอินทรีย์ โดยมีการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต และความยั่งยืนของการใช้

พื้นที่ในการทำการเกษตร โดยยึดหลักเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจใช้เทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์ สำหรับเกษตรกรกลุ่มเป้าหมาย นอกจากนี้กำลังดำเนินการ ส่งเสริมเผยแพร่ผลงานวิจัยในกลุ่มเป้าหมายเกษตรอินทรีย์ เพื่อปรับเปลี่ยนทัศนคติของประชาชนต่อการทำและบริโภค ผลผลิตเกษตรอินทรีย์ให้ถูกต้อง เพื่อเป้าหมายหลักคือการ ลดวิกฤติโลกร้อน และปัญหามลพิษ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายอำนาจ หมายยอดกลาง ผู้อำนวยการศูนย์การเรียนรู้วิถีการเกษตรไร้อาหารพิษ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา และสมาชิกของศูนย์การเรียนรู้ฯ ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่การทำวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในเรื่องการเพาะปลูก และการดูแลพืชทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

Dan Anderson, On-Farm Research Guidebook, University of Illinois. Home page http://web.aces.uiuc.edu/vista/pdf__pubs

On-Farm Testing – A Scientific Approach to Grower Evaluation of New Technologies. Home page <http://pnwsteepest.wsu.edu/onfarmtesting>

On-Farm Testing: A Grower's Guide—Washington State University Cooperative Extension bulletin EB1706. 1992. Home page <http://caheinfo.wsu.edu>

Jane Sooby, On-Farm Research Guide, Organic Farming Research Foundation, 2001. www.kingcorn.org

นิตยา นักระนาด มิลน์ และ สุวรรณ จิตรีเมต. 2550. การทำปุ๋ยหมัก. ส่วนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ด้านของเสียและชีวมวล, กรมส่งเสริมคุณภาพ สิ่งแวดล้อม.

ประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร. 2548. กรมวิชาการเกษตร.

<http://www.klickitatcounty.org>

<http://www.composter.com>

<http://www.compostinfo.com>

<http://www.extension.missouri.edu>

<http://www.mastercompost.com>

<http://www.kiwipower.com> 

ภาคผนวก

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

“ประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548” ประกาศฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ 2 เรื่องคือ เพื่อควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์และเพื่อรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว มีการกำหนดรายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ 11 รายการ ดังนี้

1. ขนาดของปุ๋ย: เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร

ขนาดปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้เพื่อให้ขนาดของปุ๋ยเหมาะสมในการนำไปใช้

2. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้: เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีความชื้นสูงมากเกินไป จะเสียค่าใช้จ่ายมากในการขนส่งโดยเฉพาะในภาชนะน้ำมันแพงที่สำคัญปุ๋ยอินทรีย์ความชื้นสูงเกษตรกรได้ประโยชน์น้อยไม่สะดวกในการใช้

3. ปริมาณหินและกรวด: เกณฑ์กำหนดให้มีปริมาณหิน และกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เหตุผลในเกณฑ์ข้อนี้ชัดเจนเพราะว่าปริมาณหินและกรวดไม่มีประโยชน์และเป็นการเพิ่มน้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์อย่างไม่เป็นธรรมแก่เกษตรกร

4. พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ: เกณฑ์กำหนดให้ต้องไม่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์

5. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ: เกณฑ์กำหนดให้มีไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อินทรีย์วัตถุที่ต่ำหรือสูง เป็นผลโดยตรงจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากพืช เช่น พางข้าว จะพบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากมูลสัตว์ เช่น มูลไก่ จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

6. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH): เกณฑ์กำหนดให้ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ระหว่าง 5.5-8.5

ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.5 จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม แต่จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคจะทำงานได้ดีขึ้น แต่ถ้าปุ๋ยอินทรีย์มี pH มากกว่า 8.5 ไนโตรเจนในปุ๋ยจะกลายเป็นแก๊สแล้วสูญหายไปสู่อากาศ ทำให้สูญเสียธาตุอาหารซึ่งแต่เดิมมีน้อยอยู่แล้ว

7. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio): เกณฑ์กำหนดไว้ไม่เกิน 20:1

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1 ปุ๋ยอินทรีย์มี C/N ratio มากกว่า 20:1 จะเกิดการย่อยสลายใหม่เมื่อใส่ในดิน ถ้าใช้ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดีอาจเป็นอันตรายต่อพืช

8. ค่าการนำไฟฟ้า (EC): เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m) ค่าการนำไฟฟ้า เป็นค่าที่วัดความเค็มของปุ๋ย โดยปกติพบว่าค่าความเค็มที่ 6 เดซิซีเมน/เมตร จะมีปริมาณเกลือมากกว่า 0.175% ค่าการนำไฟฟ้าสามารถบ่งบอกได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์นั้นมีการเติมปุ๋ยเคมีลงไปหรือไม่ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่เติมปุ๋ยเคมีลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหารถือว่าเป็นปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518

9. ปริมาณธาตุอาหารหลักเกณฑ์กำหนดให้มี

(1) ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1% โดยน้ำหนัก

(2) ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก

(3) โพแทสเซียม (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก

10. การย่อยสลายที่สมบูรณ์: เกณฑ์กำหนดให้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

11. ปริมาณโลหะหนักเกณฑ์กำหนดให้มี

สารหนู (Arsenic) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

แคดเมียม (Cadmium) ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โครเมียม (Chromium) ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

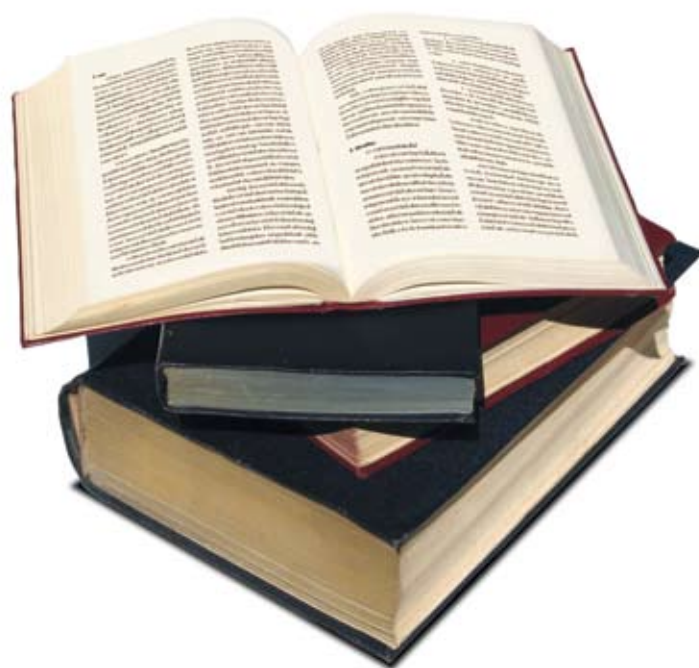
ทองแดง (Copper) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตะกั่ว (Lead) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปรอท (Mercury) ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร. (2548)





พิมพ์เมื่อ ธันวาคม 2551

ISBN 974-7529-71-8

จัดทำโดย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. 0-2577-1136-7, 0-2577-4182-5

โทรสาร 0-2577-1138

www.ertc.deqp.go.th



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี ๓.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร. 0-2577-1136-7, 0-2577-4182-5

โทรสาร 0-2577-1138

www.ertc.deqp.go.th