



รายงานผลงานวิจัย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

ปี 2551-2552



กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

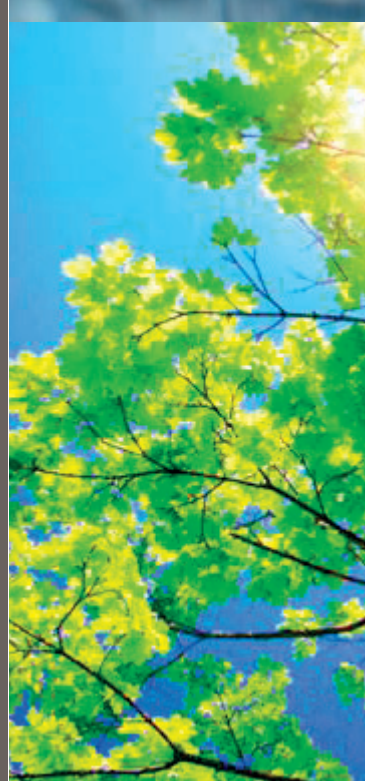


รายงานผลงานวิจัย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
ปี 2551-2552



กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



ที่ปรึกษา

นางอรพินทร์ วงศ์ชุมพิก

อธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

นายธนศ ดาवासวรรณ

รองอธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

นางธันนี เอ็มะรุจิ

รองอธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

บรรณาธิการบริหาร

นายบุญชอบ สุทธมนัสสงฆ์

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กองบรรณาธิการ

นางสาวสุกัญญา บุญเฉลิมกิจ

นายสมชาย วิจิตรนันทรัตน์

นางพภา สุขเกษม

นายมีศักดิ์ มีสินทวิสมัย

นายไสลล์ ชันธิ์เครือ

นางนิตยา นักระนาด มีสิน

นางสาวศิริณภา ศรีทองทิพย์

นางสาวหทัยรัตน์ ทาริเวทย์

นายธนาพันธ์ สุกสอาด

นางจินดารัตน์ เรืองโชติวิทย์

นางสาวปิยะมาศ ทะแสนอด



คำนำ



ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม มีการกิจหลักด้านการวิจัย พัฒนา เทคโนโลยี ที่เหมาะสมในการป้องกัน การควบคุมมลพิษ และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นการศึกษาวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในด้านต่าง ๆ อาทิ ด้านน้ำและขยะ อากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน สารอันตราย รวมทั้ง ด้านนิเวศเศรษฐกิจศาสตร์และสังคม

รายงานผลงานวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ฉบับนี้ ได้รวบรวม ผลการศึกษาวิจัยที่ได้ดำเนินการในระหว่างปี 2551-2552 ได้แก่ งานวิจัยด้านอากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน งานวิจัยด้านสารอันตราย งานวิจัยด้านน้ำและขยะ งานวิจัย ด้านนิเวศเศรษฐกิจศาสตร์และสังคม โดยการศึกษาวิจัยเหล่านี้ได้รับความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน เช่น Center for Environmental Science in Saitama ประเทศญี่ปุ่น กรมควบคุมมลพิษ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย กรุงเทพมหานคร ฐานทัพเรือ บริษัทท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทยจำกัด บริษัทผู้ผลิตถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป และเกษตรกร ตำบลเจ็ดริ้ว จังหวัดสมุทรสาคร

ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ขอขอบคุณทุกฝ่ายที่ให้ความร่วมมือ และสนับสนุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีของศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานภาครัฐ เอกชน สถานศึกษา และประชาชน เพื่อประกอบการศึกษา ค้นคว้า วิจัย พัฒนาเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อม และ ทรัพยากรธรรมชาติ อันจะเป็นส่วนหนึ่งของการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษของประเทศต่อไป

(นายบุญชอบ สุทธมนัสวงษ์)

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม





สารบัญ

- 8 การศึกษาผลการตกสะสมของกรดต่อความเป็นกรดในดินในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
(Study on Effects of Acid Deposition to Soil Acidification in Northern and Northeastern Parts of Thailand)
- 30 สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศและความเชื่อมโยงต่อภาวะโลกร้อน
(Linkage of Volatile Organic Compounds in Ambient Air to Global Warming)
- 42 Seasonal and Diurnal Concentrations of Carbonyl Compounds in Bangkok Ambient Air
- 58 ผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำต่อสุขภาพประชาชนและอาคารสิ่งปลูกสร้าง
(The Effect of Low Frequency Noise on Human Health and Building Structure)





- 76 สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในนาข้าวพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย
(Pesticide Residue in Paddy Filed of Central Thailand)
- 86 โครงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป
(Project on Efficiency Verification Testing of Wastewater Treatment Tank)
- 96 การบำบัดน้ำชะขยะด้วยเทคนิคกำแพงดินประดิษฐ์
(Permeable Reactive Barrier for Leachate Treatment)
- 108 การทดสอบปลูกพืชสวนครัวแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับเคมี
(Comparative Demonstration Plots of Organic and Chemical Horticulture)



งานวิจัยด้านอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน



- การศึกษาผลการตกสะสมของกรดต่อความเป็นกรดในดินในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
(Study on Effects of Acid Deposition to Soil Acidification in Northern and Northeastern Parts of Thailand)
- สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศและความเชื่อมโยงต่อภาวะโลกร้อน
(Linkage of Volatile Organic Compounds in Ambient Air to Global Warming)
- Seasonal and Diurnal Concentrations of Carbonyl Compounds in Bangkok Ambient Air
- ผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำต่อสุขภาพประชาชนและอาคารสิ่งปลูกสร้าง
(The Effect of Low Frequency Noise on Human Health and Building Structure)



การศึกษาผลการตกสะสมของกรดต่อความเป็นกรดในดินในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

(Study on Effects of Acid Deposition to Soil Acidification in Northern
and Northeastern Parts of Thailand)

หทัยรัตน์ การ์ริวอัย เดซี่ หมอกน้อย ดวงเดือน ชานะทร และ จันทิราพร มีพล
Hathairatana Garivait, Daisy Morknoy, Duangduan Chanatorn and
Chantiraphorn Meepol

บทคัดย่อ

การศึกษาความเชื่อมโยงของปริมาณการตกสะสมของกรดที่มีผลต่อความเป็นกรดในดินและการปนเปื้อนของสารพิษเมื่อดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น มีความสำคัญมากต่อการประเมินผลกระทบของการตกสะสมของกรดในระบบนิเวศ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของการตกสะสมของกรดต่อดินในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เนื่องจากมีพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการตกสะสมของกรดค่อนข้างสูง การตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่ศึกษาทำการเก็บตัวอย่างน้ำฝนและนำมาตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ตลอดจนวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ Na^+ K^+ NH_4^+ Ca^{2+} Mg^{2+} NO_3^- Cl^- and SO_4^{2-} ด้วยเทคนิค Ion Chromatography พบว่าปริมาณการตกสะสมของกรดสำหรับปี พ.ศ. 2551 มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง โดยปริมาตร (volume weighted average pH) อยู่ในช่วง 5.03 - 5.98 ในพื้นที่เขตเมือง และเขตชนบท และมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง โดยปริมาตรเท่ากับ 5.15 ในพื้นที่ป่าต้นน้ำ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีพบว่าปริมาณการตกสะสมเฉลี่ยโดยปริมาตร (weighted average) ของ SO_4^{2-} และ NO_3^- ในเขตเมืองมีค่าเท่ากับ 32.0 และ 55.4 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อปี ในเขตชนบทมีค่าเท่ากับ 12.1 และ 23.8 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อปี และในเขตป่าต้นน้ำมีค่าเท่ากับ 8.3 และ 6.3 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อปี ตามลำดับ

ข้อมูลปริมาณการตกสะสมของกรดใน ปีพ.ศ. 2551 ได้นำไปใช้เป็นระดับความเป็นกรดในน้ำฝนอ้างอิงในการศึกษาผลกระทบจากการตกสะสมของกรดในดินด้วยเทคนิค soil column leaching โดยนำตัวแทนของชุดดินในพื้นที่ทำการเกษตรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ชุดดินโคราช ชุดดินพนาลัย และชุดดินปากช่อง และในภาคเหนือได้แก่ ชุดดินบ้านจ้อย ชุดดินห้างฉัตร และชุดดินเชียงรายได้มาทดลองในดินในพื้นที่ป่าต้นน้ำของสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชมาใช้เป็นตัวอย่างดินที่บรรจุลงใน column แล้วชะล้างดินด้วยน้ำฝนสังเคราะห์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4-5 ที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1500 มิลลิเมตรต่อปี ทั้งนี้ได้เพิ่มความเข้มข้นของกรดในน้ำฝนสังเคราะห์ 10-100 เท่าของปริมาณการตกสะสมของกรดเฉลี่ยทั้งปี ผลการศึกษาพบว่าดินจากทั้ง 2 ภาค มีศักยภาพในการรองรับการตกสะสมของกรดได้ค่อนข้างดี กล่าวคือความไวและความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นกรดของดินจะสามารถรองรับฝนกรดหรือการตกสะสมของกรดในระดับปัจจุบันถึง 10 เท่าตัว โดยยังคงสภาพความเป็นกรดในดินเท่าเดิมและยังคงมีความไวและความอ่อนไหวของดินในระดับปานกลาง-น้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาคุณลักษณะของดินระบุว่าดินชุดโคราชที่ปัจจุบันมีระดับความเป็นกรดปานกลาง (pH5.1-5.5) มีโอกาสสูงที่จะเพิ่มความเป็นกรดไปเป็นดินกรดรุนแรง (pH4.5-5.0) เช่นเดียวกับดินชุดเชียงรายได้ (ดินนา) ที่จะมีค่าความไวและความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นดินกรดรุนแรงเมื่อปริมาณการตกสะสมของกรดในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : การตกสะสมของกรด ความเป็นกรดในดิน ความไวและความอ่อนไหวของดิน ชุดดินภาคเกษตรกรรม
ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย

Abstract

Acid deposition is a very important issue of air pollution due to its trans-boundary nature and its possible great impact on ecological acidification. This study was focused on the effects of acid deposition to soil acidification in Thailand. The study focused first with soil series in the Northern and Northeastern Regions where acidic soil are prevail. Wet deposition in urban rural and forested catchment areas in northern and north eastern parts have been measured during 2008 to assess deposition strength for the present situation. Generally, precipitation samples were collected by automatic wet-only collector except for forested catchment area where bulk rain collector was used. Ionic composition of wet deposition was analyzed by Ion Chromatography such as Na^+ NH_4^+ Ca^{2+} Mg^{2+} NO_3^- Cl^- and SO_4^{2-} . The volume weighted average pH in urban and rural areas ranged 5.03 to 5.98 and the one for catchment area was 5.15. The deposition results in 2008 of well known acidifying compounds such as SO_4^{2-} and NO_3^- found in urban areas were 32.0 and 55.4 $\text{mmol/m}^2/\text{year}$, in remote areas were 12.1 and 23.8 $\text{mmol/m}^2/\text{year}$ and in catchment area were 8.3 and 6.3 $\text{mmol/m}^2/\text{year}$, respectively. These deposition data were utilized as reference level to determine the effects of acid deposition to soil acidification by using soil leaching column technique. The soil samples were obtained from the agricultural areas at different soil series namely: from the Northeastern Region were Korat, Polpisai, and Pakchong while at the northern part soil series were Banjong, Hangchatr, and Chiangrai, including soil sample from the catchment area at Sakerat Silvicultural Research Station (SRS). According to the weighted average pH value found in the precipitation samples, the synthesized rain water with a pH value of 4-5. Acidification of the synthesized rainwater was gradually increased between 10-1000 times of the reference precipitation. The soil column packed with different soil series was eluted by these series of the synthesized rainwater. The results showed that soil series of 2 parts of Thailand have a good holding capacity to acid deposition as high as about 10 times of the acidity in rainwater presently collected. Soil series can remain their acidity as well as their sensitivity and vulnerability properties as moderate to low acidification with the present amount of acid rain. However, the characteristic of Korat soil series showed a high potential to soil acidification from the moderate acidity ($\text{pH} = 5.1-5.5$) to severely acidity ($\text{pH} = 4.5-5.0$). Likewise, the characteristics of Chiangrai soil series showed high sensitivity to soil acidification, especially for rice paddy soil.

Keywords: acid deposition, soil acidification, soil sensitivity, soil vulnerability, agricultural soil, Northern Region, Northeastern Region, Thailand

1. บทนำ

เป็นเวลาหลายสิบปีแล้วที่ปัญหาการตกสะสมของกรดในระบบนิเวศเป็นปัญหาที่สำคัญมากในทวีปยุโรป และอเมริกาตอนเหนือ อันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นก๊าซกรดในอากาศที่สามารถถูกลมพัดพาไปได้ในระยะไกลๆ หลายร้อยกิโลเมตร ถือเป็นสารมลพิษทางอากาศแบบไร้พรมแดน (Transboundary air pollution) และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในภูมิภาคอย่างรุนแรงจนทำให้ประเทศในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือต้องจัดทำสนธิสัญญาและข้อตกลงว่าด้วยการลดการระบายสารกรดในอากาศ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979^[1,2]

สำหรับประเทศในทวีปเอเชียปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศมีความสำคัญและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากร การพัฒนาเศรษฐกิจโดยไม่มีจัดการทรัพยากรที่ดี เป็นเหตุให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง ผลเบื้องต้นจากการประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่อง “Composition and Acidity of Asian Precipitation (CAAP)” จัดขึ้นที่กรุงเทพฯ เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2541 ระบุชัดเจนว่าปัญหามลพิษทางอากาศมีความรุนแรงในหลายพื้นที่ของทวีปเอเชีย โดยปริมาณการตกสะสมของสารกรดในหลายพื้นที่มีปริมาณมากกว่าความสามารถของดินที่จะรองรับไม่ให้เกิดการกลายเป็นกรดในระบบนิเวศได้ (www.rapidc.org) ตัวอย่างเช่น ในประเทศจีนน้ำฝนมีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} < 4.5$) ในแถบตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศ โดยมีสาเหตุหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินคุณภาพต่ำที่มีปริมาณกำมะถันสูงในการผลิตไฟฟ้า จึงมีการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูง^[3] ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้มีการประเมินผู้เสียชีวิตถึง 4,000 คนต่อปีในเมือง Chongqing และ Geijing และความเสียหาย

ต่อพืชและป่าไม้ อันเกิดจากฝนกรดใน 4 จังหวัดที่มีการใช้ถ่านหินมากที่สุดในประเทศ ได้แก่ Guangdong Guangxi Guzhou และ Sichuan เป็นต้น ประเมินความเสียหายถึง 2 พันล้านดอลลาร์^[4] สำหรับประเทศญี่ปุ่น ข้อมูลจากกระทรวงสิ่งแวดล้อม (Ministry of Environment) ระบุว่าภาคตะวันตกของประเทศ ได้รับผลกระทบจากฝนกรดมากกว่าภาคตะวันออก โดยมีค่า $\text{pH} < 4.6$ ก่อให้เกิดผลกระทบเช่นเดียวกับประเทศจีน และมีความเสียหายจากฝนกรดเทียบได้กับประเทศทางยุโรปและอเมริกาตอนเหนือที่มีความเสียหายคิดเป็นมูลค่ากว่าพันล้านเหรียญ โดยเฉพาะในจังหวัด Tokushima ซึ่ง pH ของน้ำฝนมีค่าน้อยกว่า 4.4 พบความเสียหายของป่าไม้ และความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนของอาคาร และสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ต่างๆ (<http://www.env.go.jp>)

สำหรับประเทศไทยเหตุการณ์ผลกระทบอันเนื่องมาจากการตกสะสมของกรดได้เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2535 ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เมื่อมีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในบรรยากาศสูงเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินที่มีส่วนผสมของกำมะถันในปริมาณสูงเป็นเชื้อเพลิง ส่งผลให้พื้นที่เกษตรกรรมและประชาชนที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงได้รับความเสียหาย สถาบันสิ่งแวดล้อมแห่งสต็อกโฮล์ม (Stockholm Environment Institute) ได้จัดทำแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อผลกระทบของการตกสะสมของกรด (sensitivity mapping for acid deposition)^[5,6,7] ในทุกภูมิภาคของโลก พบว่าประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมมีความอ่อนไหวต่อผลกระทบดังกล่าวในระดับสูง กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมตระหนักถึงปัญหาการตกสะสมของสารกรดดังกล่าว จึงได้เข้าร่วมในเครือข่ายการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออก หรือ EANET (Acid Deposition Monitoring Network in East

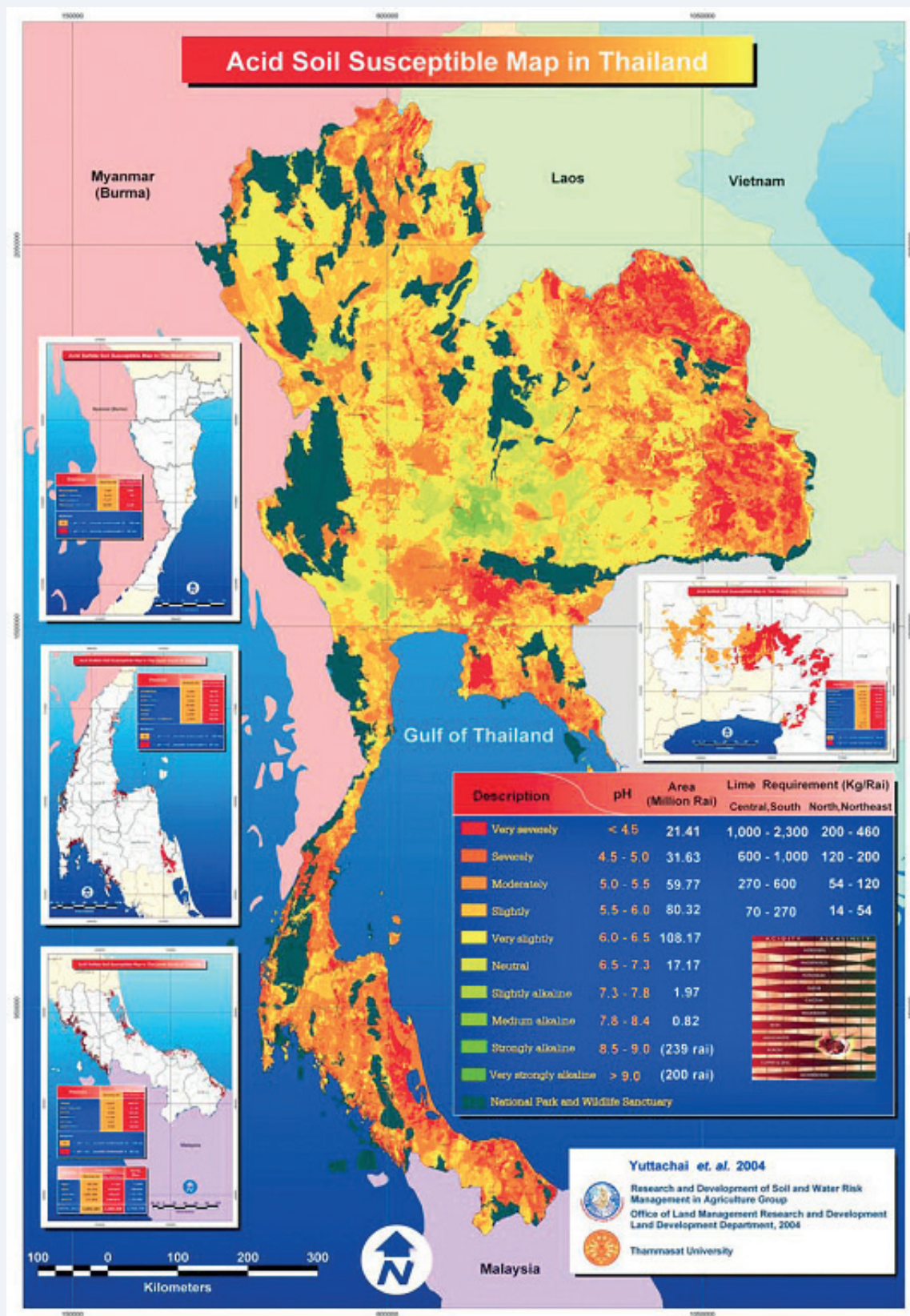
Asia) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 จนถึงปัจจุบัน เครือข่าย EANET ได้จัดตั้งขึ้นเพื่อประสานข้อมูลเกี่ยวกับการตกสะสมของกรดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีประเทศสมาชิกจำนวน 13 ประเทศ คือ ญี่ปุ่น สาธารณรัฐประชาชนจีน สาธารณรัฐเกาหลี มองโกเลีย รัสเซีย อินโดนีเซีย มาเลเซีย เวียดนาม กัมพูชา พม่า สาธารณรัฐประชาชนลาว ฟิลิปปินส์ และประเทศไทย วัตถุประสงค์หลักของ EANET คือ รวบรวมข้อมูลการตกสะสมของกรดในสิ่งแวดล้อมทุกด้าน เพื่อจัดทำฐานข้อมูล (Database) สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตลอดจนพัฒนาบุคลากร และคุณภาพห้องปฏิบัติการ โดยเน้นการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดได้แก่ การตกสะสมแบบเปียก (wet deposition) การตกสะสมแบบแห้ง (dry deposition) การตกสะสมของกรดในดิน และพืช (soil and Vegetation) และสิ่งมีชีวิตในน้ำ (inland aquatic) เป็นต้น

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการเกิดปัญหาการตกสะสมของกรดในประเทศไทย ภายใต้โครงการความร่วมมือไทย-สวีเดนในระหว่างปี พ.ศ. 2544-2547 ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า 70-80% ของการตกสะสมของซัลเฟต และออกไซด์ของไนโตรเจนในประเทศไทย มีที่มาจากแหล่งกำเนิดภายในประเทศ ทั้งนี้พบปริมาณการตกสะสมของซัลเฟตมากที่สุด 3-10 กรัมซัลเฟต/ตารางเมตร/ปี ที่บริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล^[8]

นอกจากนี้ การตกสะสมของกรดลงสู่ดินย่อมมีผลทำให้ดินแปรสภาพกลายเป็นกรด ทั้งนี้ชนิดของดิน (Soil Type) ตลอดจนคุณสมบัติของดินเอง (Soil Properties) รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากที่ดิน และการปรับปรุงบำรุงดินมีส่วนสำคัญยิ่งที่จะเป็นตัวกำหนดความอ่อนไหวของดิน (Soil Vulnerability) ในการพัฒนาต่อไปเป็นดินกรด สำหรับประเทศไทย โดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน (Soil pH) มาใช้วัดระดับความรุนแรงของพื้นที่ดิน

ในประเทศไทย จึงทำให้ทราบว่า ณ ปัจจุบันประเทศของเรามีพื้นที่ส่วนใหญ่ประมาณหนึ่งในสามของพื้นที่ทั้งประเทศเป็นดินกรด แต่มีระดับความเป็นกรดน้อยมาก กล่าวคือดินของไทยจะมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.1-6.5 คิดเป็นพื้นที่รวมกันประมาณ 108 ล้านไร่ของพื้นที่ทั้งประเทศ 321.21 ล้านไร่ สำหรับพื้นที่ที่มีความเป็นกรดรุนแรงมากหรือเป็นดินที่มีค่าปฏิกิริยาดินน้อยกว่า 4.5 พบว่ามีพื้นที่รวมกันถึง 21.41 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.66 ของพื้นที่ทั้งประเทศ เฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบดินที่มีความเป็นกรดรุนแรง มากถึง 13.33 ล้านไร่ รองลงมาได้แก่ ภาคใต้ 4 ล้านไร่ ภาคตะวันออก 2.92 ล้านไร่ และภาคเหนือ 1.11 ล้านไร่ ตามลำดับ แผนที่ระดับความรุนแรงของการเกิดดินกรดในประเทศไทย แสดงไว้ในภาพที่ 1 อนึ่ง กระบวนการกลายเป็นกรดในดินยังสามารถทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากวิธีที่นิยมในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในดินหรือมหาสมุทรจะทำให้โดยกระบวนการคาร์บอนชั่นของแมกนีเซียม และแคลเซียมซิลิเกต (carbonation of magnesium and calcium silicates) แต่ถ้าหากความเป็นกรดในน้ำฝนสูงเมื่อตกลงสู่พื้นโลกจะทำให้การจับคาร์บอนของแมกนีเซียมและแคลเซียมซิลิเกตไว้ในดินจะไม่มี ความสมดุล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บไว้จะถูกปลดปล่อยออกมาในที่สุดก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อนเพิ่มขึ้น^[9]

การศึกษาวิจัยเพื่อที่จะประเมินคุณภาพของดินที่จะเปลี่ยนไป (Soil Quality Change) เมื่อมีการตกสะสมของกรด โดยตรวจวัดจากตัวแปรทั้งหลาย (Soil Variables/Parameters) และนำตัวแปรเหล่านั้นมาประมวลผล เพื่อใช้สร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เอาไว้สำหรับอธิบายว่า เมื่อดินมีความเป็นกรดมากยิ่งขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตลอดจนการละลายของสารพิษในดินจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ข้อมูลวิจัย ภายใต้สมมุติฐานลักษณะนี้มีอยู่อย่างจำกัด และจำเป็น



ภาพที่ 1 แผนที่ระดับความรุนแรงของการเกิดดินกรดในประเทศไทย

ที่มา: ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์ และคณะ 2548 ^[10]

ที่จะต้องมีไว้เพื่อป้องกันระบบนิเวศน์เกษตรมิให้เสื่อมโทรมลงไปจนกระทั่งสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพเพราะการตกสะสมของกรด

ดังนั้นการศึกษาผลของการตกสะสมของกรดต่อความเป็นกรดในดินของประเทศไทย จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปริมาณการตกสะสมของสารกรดในสิ่งแวดล้อม ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีในดินที่มีความอ่อนไหวต่อการตกสะสมของกรดและความเชื่อมโยงของปริมาณการตกสะสมของกรดที่มีผลต่อความเป็นกรดในดิน โดยจะเน้นผลของการตกสะสมของกรดต่อดินในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลำดับแรก เนื่องจากมีพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการตกสะสมของกรดค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาขีดความสามารถในการศึกษาผลกระทบจากการตกสะสมของกรดในสิ่งแวดล้อมทั้งในระดับประเทศและระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ความร่วมมือในเครือข่าย EANET ทั้งนี้การรู้ถึงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นกรด และปริมาณการตกสะสมของสารมลพิษ จะทำให้สามารถประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ และการป้องกันปัญหาจะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการศึกษา

เพื่อศึกษาความเชื่อมโยงของปริมาณการตกสะสมของกรดที่มีผลต่อความเป็นกรดในดิน ตลอดจนการปนเปื้อนของสารพิษในดินเมื่อเกิดปัญหาการกลายเป็นกรดในดิน สำหรับชุดดินในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะต้องทำการตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของกรดในสิ่งแวดล้อมและคุณลักษณะของชุดดินในภูมิภาคทั้งสองนี้ ซึ่งการศึกษาปริมาณการตกสะสมของกรดนั้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมมีประสบการณ์ในการตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของสารกรดในเขตเมือง เขตชนบท และเขตป่าต้นน้ำของประเทศไทย

ในส่วนของการศึกษาคุณลักษณะของดินและผลกระทบต่อดิน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้มีความร่วมมือกับสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียในการศึกษาผลกระทบของการตกสะสมของกรดต่อดินด้วยเทคนิค soil column วิธีการตรวจวัดสำหรับการศึกษารังนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

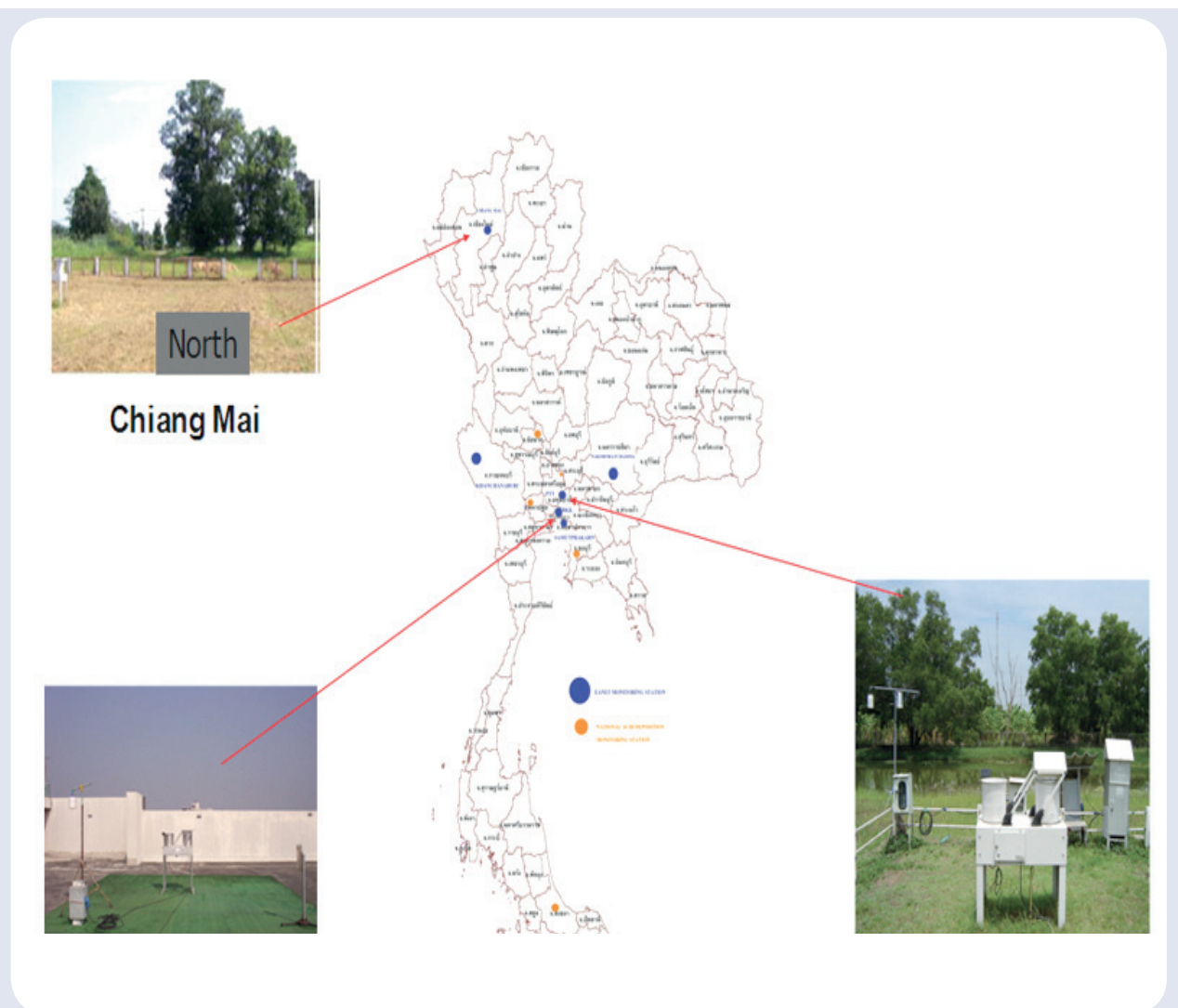
2.1 ปริมาณการตกสะสมของกรดในสิ่งแวดล้อม

- การตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของสารกรดในเขตเมือง และเขตชนบทของประเทศไทยนั้นเป็นการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำฝนแบบเปียก (wet only) ที่สถานีตรวจวัดการตกสะสมของกรดของประเทศไทยที่เข้าร่วมในเครือข่ายของ EANET ได้แก่ สถานีตรวจวัดการตกสะสมของกรดที่เชียงใหม่ ปทุมธานี และกรุงเทพมหานคร โดยเก็บตัวอย่างน้ำฝนด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำฝนอัตโนมัติ (wet only sampler) และตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง (pH) การนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) Na^+ K^+ NH_4^+ Ca^{2+} Mg^{2+} NO_3^- Cl^- and SO_4^{2-} ในตัวอย่างน้ำฝนด้วยเทคนิค Ion Chromatography สำหรับวิธีการเก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดในตัวอย่างน้ำฝนได้อ้างอิงตามวิธีที่ระบุใน Technical document for wet deposition monitoring ของ EANET^[11] ผลของการตรวจวัดด้วยวิธีนี้จะเป็นตัวแทนของปริมาณการตกสะสมของกรดบริเวณทั่วไปที่ไม่ใช่พื้นที่ป่า สถานีเก็บตัวอย่างน้ำฝนแบบบริเวณทั่วไปแสดงไว้ในภาพที่ 2

- การตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของกรดต่อระบบนิเวศป่าต้นน้ำของประเทศไทย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมมีความร่วมมือด้านการวิจัยกับ Acid Deposition and Oxidant Research Center (ADORC) ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นหน่วยประสานงานกลางของ EANET และส่วน

งานนวัตกรรมการวิจัยของกรมป่าไม้ในโครงการวิจัยเรื่อง “Catchment Analysis in Thailand” โดยเลือกพื้นที่ศึกษาที่สถานีวิทยุกระจายเสียงสวท. จังหวัดนครราชสีมา ของกรมป่าไม้ และใช้วิธีเก็บตัวอย่างการตกสะสมของกรดแบบเปียก (wet deposition) ได้แก่ น้ำฝนรวม (Rainfall) น้ำฝนที่ตกผ่านใบไม้ (Throughfall) และน้ำฝนที่ตกผ่านต้นไม้ (Stemflow) ตลอดจนเก็บตัวอย่างน้ำจากลำธาร (stream water) โดยตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง wet deposition ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง (pH) การนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) Na^+ K^+

NH_4^+ Ca^{2+} Mg^{2+} NO_3^- Cl^- และ SO_4^{2-} ด้วยเทคนิค Ion Chromatography สำหรับปริมาณของก๊าซกรดในอากาศ ใช้วิธีการตรวจวัดแบบ Passive Sampler ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ก๊าซโอโซน (O_3) และ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion chromatography และเทคนิค Spectrometer โดยอ้างอิงวิธีตรวจวัดของ Ogawa Passive Sampling method สถานีตรวจวัดสำหรับการศึกษาศักยภาพการตกสะสมของกรดในพื้นที่ป่าต้นน้ำแสดงไว้ในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 สถานีตรวจวัดการตกสะสมของกรดแบบเปียก (wet deposition) ที่เชียงใหม่ กรุงเทพฯ และปทุมธานี



การเก็บตัวอย่างแบบฝนรวม (Rainfall)



การเก็บตัวอย่างแบบฝนตกผ่านใบไม้
(Throughfall)



การเก็บตัวอย่างแบบฝนตกผ่านต้นไม้
(Stemflow)



การเก็บตัวอย่างน้ำลำธาร
(Stream water)

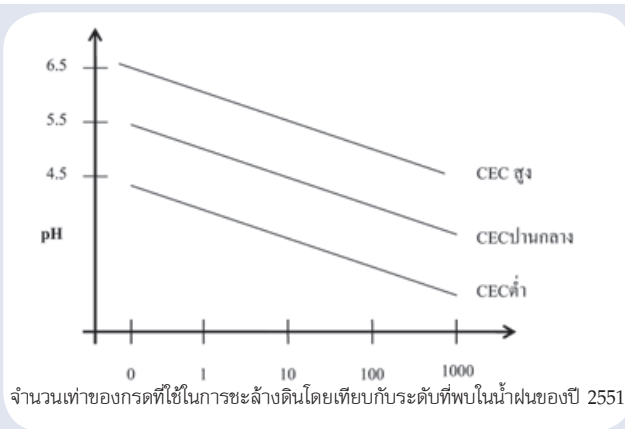


การเก็บตัวอย่างก๊าซกรดในอากาศ
(Passive samplers)

ภาพที่ 3 การเก็บตัวอย่างการตกสะสมของกรดในพื้นที่ป่าต้นน้ำ จังหวัดนครราชสีมา

2.2 ศึกษาความอ่อนไหวของดินต่อการตกสะสมของกรดด้วยเทคนิค soil column

การศึกษาความอ่อนไหวของดินต่อการตกสะสมของกรด ได้ทำการศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพและเคมีของชุดดินหลักในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความอ่อนไหวต่อการตกสะสมของกรด ตลอดจนศึกษาความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงของปริมาณการตกสะสมของกรดต่อความเป็นกรดในชุดดินหลักนั้นๆ ทั้งนี้การศึกษาจะเน้นการรวบรวมข้อมูลแผนที่ชุดดินหลักของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกชุดดินให้เป็นตัวแทนของแต่ละภาคที่ทำการศึกษา โดยผลของการตกสะสมของกรดจะเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินที่สามารถตรวจวัดได้ เช่น การลดระดับลงหรือหมดไปของธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวก ได้แก่ Na^+ K^+ NH_4^+ Ca^{2+} Mg^{2+} (base cations) การปลดปล่อยธาตุที่เป็นพิษ ได้แก่ Al^{3+} การเพิ่มการละลายได้ของโลหะหนัก เช่น Zn Cd Mn Cu Ni เป็นต้น ตลอดจนการสะสมของไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ในดิน การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินเมื่อได้รับผลกระทบจากการตกสะสมของกรดจะรุนแรงและเกิดเป็นกรดมากขึ้นเพียงใดจะขึ้นอยู่กับ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดที่ตกสะสมกับระดับของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ปรับลดลงเมื่อได้รับปริมาณฝนกรดที่ใช้ชะล้างในระดับที่แตกต่างกัน

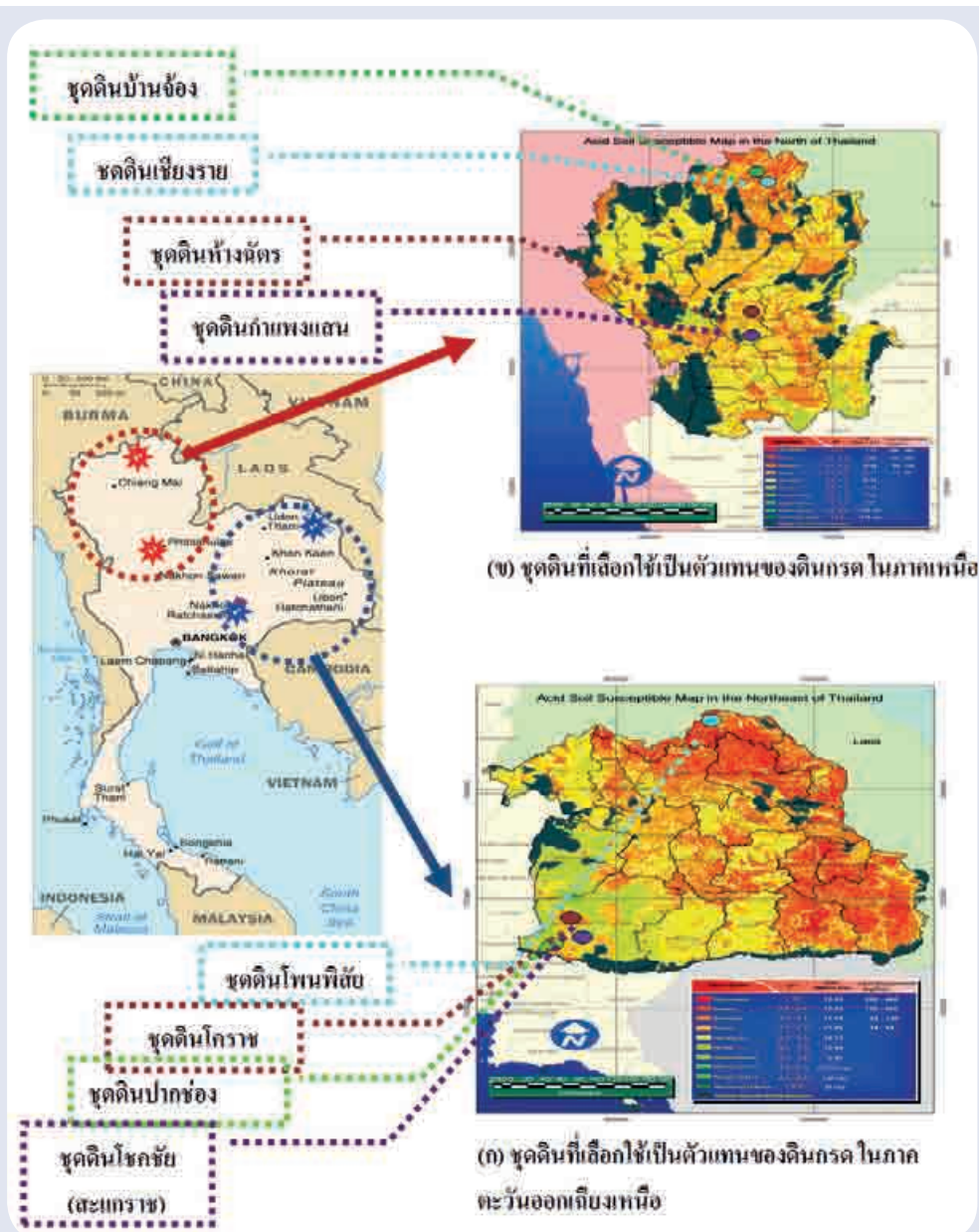
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และความอิ่มตัวของสารที่เป็นด่าง (Base Saturation: BS) ของดิน ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ค่า CEC และ BS จัดระดับความไวต่อการกลายเป็นดินกรดได้ ทั้งนี้สามารถทำนายความอ่อนไหวของชุดดินต่อการกลายเป็นดินกรดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากข้อมูลการทดลองด้วยเทคนิคการชะล้างดินใน soil column โดยการเลือกชุดดินจำเป็นต้องมีความแตกต่างกันของค่าความจุในการแลกเปลี่ยน cation (CEC) ประกอบอยู่ด้วยในระดับต่ำ ($< 5 \text{ meq/100 g}$) ระดับปานกลาง ($5-10 \text{ meq/100 g}$) และระดับสูง ($> 10 \text{ meq/100 g}$) เพื่อประเมินรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดที่ตกสะสมกับระดับของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ปรับลดลงเมื่อได้รับปริมาณฝนกรดที่ใช้ชะล้างในระดับที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4)

ในการเลือกชุดดินเพื่อใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือที่มีความเป็นกรดค่อนข้างรุนแรง ชุดดินที่เลือกต้องพบมากในเชิงพื้นที่ (ไร่) ซึ่งใช้ในการเพาะปลูกพืชที่สำคัญ ๆ อาทิเช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด อ้อย ยางพารา ฯลฯ และมีความแตกต่างกันของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนของประจุบวก (CEC) เพื่อให้เหมาะแก่การใช้ประเมินหารูปแบบของความสัมพันธระหว่างปริมาณของกรดที่ตกสะสมกับระดับของปฏิกิริยาดิน (Soil pH) ที่ปรับลดลงเมื่อได้รับปริมาณของฝนกรดที่ใช้ชะล้างในระดับที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าว ชุดดินที่เลือกใช้เป็นตัวแทนของดินกรดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ (1) ชุดดินโคราช (Korat Soil Series) เป็นตัวแทนของดินกรดที่มีค่า CEC 2 – 5 meq/100g (2) ชุดดินโพนพิสัย (Phon Phisai Soil Series) มีค่า CEC 5 – 10 meq/100g และ (3) ชุดดินปากช่อง (Pak Chong Soil Series) มีค่า CEC $> 10 \text{ meq/100g}$ ทั้งนี้ดินทั้ง 3 ชุด มีพื้นที่รวมกันมากกว่า 15 ล้านไร่ เฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ส่วนตัวแทนของดินกรดในภาคเหนือได้แก่ (1) ชุดดิน เชียงราย (Chiang Rai Soil Series) มีค่า CEC 4 - 6 meq/100g (2) ชุดดิน ห้างฉัตร (Hang Chat Soil Series) มีค่า CEC 7 - 9 meq/100g และ (3) ชุดดิน บ้านจ้อง (Ban Chong Soil Series) มีค่า CEC ประมาณ 11 - 15 meq/100g พื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างชุดดินที่เลือกใช้เป็นตัวแทนของดินกรดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และในภาคเหนือแสดงไว้

ในภาพที่ 5

เมื่อสุ่มเลือกชุดดินซึ่งเป็นตัวแทนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือได้แล้วเก็บตัวอย่างดินประกอบด้วยดินชั้นโพรพอน (0-30 ซม.) ส่วนหนึ่งของตัวอย่างดินจะตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ อาทิเช่น pH CEC exchangeable K, Ca, Mg, NH_4 ตลอดจน soil texture รวมทั้ง Al, Fe, Mn, Zn, Cu ในรูปของ total และ water soluble

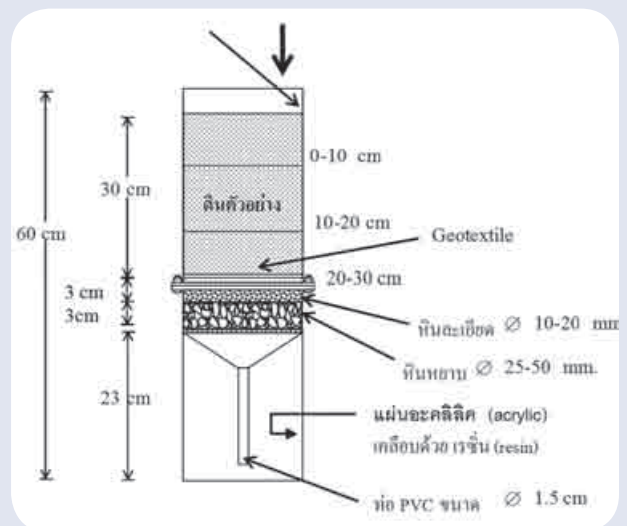


ภาพที่ 5 พื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างชุดดินที่เลือกใช้เป็นตัวแทนของดินกรด (ก) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ (ข) ในภาคเหนือ

fraction ตัวอย่างดินอีกส่วนหนึ่งจะนำมาบรรจุลงใน soil column และทำการชะล้าง (leaching test) ด้วย น้ำฝนสังเคราะห์ที่มีระดับความเป็นกรดต่างๆ กัน (artificial acid rain) ปริมาณฝนกรดที่ใช้ในการ ชะล้างนี้จะใช้ค่าที่คำนวณมาจากตัวอย่างปริมาณ น้ำฝนและองค์ประกอบทางเคมีของสารกรดใน น้ำฝนที่ตกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ศึกษาไว้ เป็นเกณฑ์ โดยให้เพิ่มความเข้มข้นของฝนกรดอยู่ ระหว่าง 10-1000 เท่าของปริมาณกรดเฉลี่ยทั้งปี ในการชะล้างดินชุดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองนี้ ตัวแปร (acid-basic indicators/parameters) ที่จะตรวจวัด จากทั้งตัวอย่างดินใน soil column ต่างๆ เมื่อสิ้นสุด การชะล้างดินด้วยฝนกรดในระดับต่างๆ กัน และจาก สารละลาย (leachate) ที่เก็บกักไว้ประกอบด้วยกลุ่ม basic cations NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} และ Mg^{2+} รวมทั้ง ฟอสเฟตในรูปที่พืชดูดซึมได้ดี นอกจากนี้ระดับความ เป็นกรด (pH) ที่เพิ่มมากขึ้นในดินที่ระดับความลึก ต่าง ๆ ของ soil column และใน leachate ได้ทำการ ตรวจจดบันทึกเช่นกัน อนึ่งปริมาณการเคลื่อนย้าย ของสารพิษในรูปของไอระเหยที่ละลายน้ำได้ (acidic indicators) อาทิเช่น Al, Fe, Mn, Zn และ Cu จะ ทำการตรวจวัดทั้งใน leachate และที่ตกสะสมตกค้าง อยู่ทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่างของ soil column ที่นำมาทดลอง หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จากการตรวจ วัดในระดับห้องปฏิบัติการดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำ มาใช้สร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมิน รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดที่ ตกสะสมกับระดับของค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ที่ปรับลดลง

การทดลองการชะล้างดินด้วยฝนกรด โดยใช้เทคนิค Soil Column (Soil Column Leaching Experiment) ได้ถูกออกแบบโดยใช้ ท่อพลาสติกทรงกระบอกมีขนาดความยาว และ เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 35 และ 15 ซม. ตาม ลำดับนำมาเคลือบผิวภายในด้วยทรายละเอียดและ

ปูรองด้วยแผ่น Geotextile พร้อมกระดาดกรอง เพื่อใช้เป็นภาชนะ/หน่วยทดลองในครั้งนี้ โดยได้ จัดเตรียมหน่วยทดลอง (Soil Column Unit) รวมทั้งหมด 90 หน่วย เพื่อใช้สำหรับบรรจุดิน จากทั้ง 2 ภาคฯ ภาคละ 45 หน่วย แล้วเสร็จ หน่วยทดลองดังกล่าวจะมีความจุของดินได้ หน่วยละ 8-9 กิโลกรัม (Pilot Scale Unit) โครงสร้าง ของหน่วยทดลอง และการทดลอง soil leaching column แสดงไว้ในภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ.



ภาพที่ 6 ภาพแสดงหน่วยทดลอง Soil leaching column



ภาพที่ 7 ภาพแสดงการทดลอง Soil leaching column

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ปริมาณการตกสะสมของกรด

การตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของกรดในเขตกรุงเทพมหานครเป็นตัวแทนของการตกสะสมในเขตเมือง สำหรับการตกสะสมของกรดที่ปทุมธานีและเชียงใหม่จะเป็นตัวแทนของการตกสะสมของกรดในพื้นที่ชนบท ในส่วนของพื้นที่ต้นน้ำใช้พื้นที่ป่าต้นน้ำในสถานีวิจัยสะแกราชของกรมป่าไม้เป็นพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ได้นำข้อมูลตรวจวัดในปี พ.ศ. 2551 เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากที่สุดในการนำมาใช้วิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับการประเมินผลกระทบการตกสะสมของกรดในดินโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่เขตเมือง และพื้นที่เขตชนบท

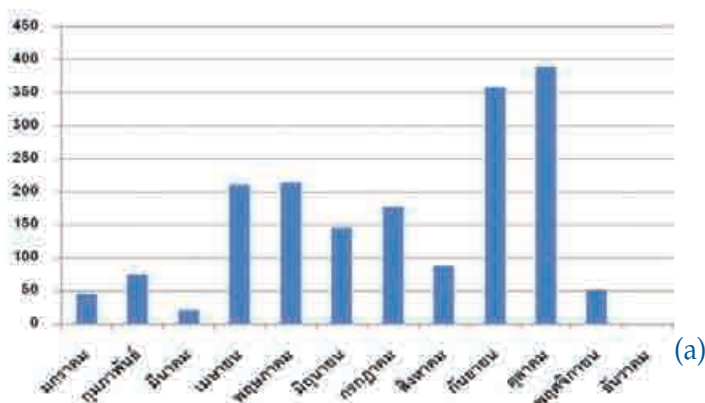
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนของปี พ.ศ. 2551 ในภาพรวมพบว่าในพื้นที่ศึกษายังคงเป็นไปตามฤดูกาล กล่าวคือ ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – ตุลาคม ฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน – เมษายน โดยที่กรุงเทพมหานครมีฝนตก 62 วัน วัดปริมาณน้ำฝนรวม 1,776 มิลลิเมตร ถือเป็นปริมาณน้ำฝนที่มากที่สุดในจำนวนสถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา แต่มีความแปรปรวนของน้ำฝนรายเดือนค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอิทธิพลของ heat Island effect ในเขตเมือง ที่สถานีเก็บตัวอย่างเชียงใหม่ มีฝนตก 132 วัน วัดปริมาณน้ำฝนรวมได้ 1,286.4 มิลลิเมตร สำหรับที่สถานีเก็บตัวอย่างปทุมธานีมีฝนตก 108

วัน วัดปริมาณน้ำฝนรวมได้ 1,670.3 มิลลิเมตร โดยมีฝนขาดช่วงเล็กน้อยช่วงกลางฤดูฝน ระหว่างเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม ปริมาณน้ำฝนนั้นมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการประเมินการตกสะสมของกรด เนื่องจากปริมาณการตกสะสมของกรดเป็นการคำนวณมาจากผลคูณของความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำฝนกับปริมาณน้ำฝน รายละเอียดปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่เขตเมืองและเขตชนบท แสดงไว้ในภาพที่ 8 ในส่วนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่าน้ำฝนที่จุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพฯ เชียงใหม่ และปทุมธานี มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.6-6.6, 4.8-6.5 และ 4.3-5.7 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าน้ำฝนในทุกพื้นที่ศึกษามีความเป็นกรดสูงในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าในช่วงฤดูแล้งบรรยากาศมีการปนเปื้อนสูง เนื่องจากบรรยากาศไม่มีการชะล้างด้วยน้ำฝนเหมือนในฤดูฝน โดยจะเห็นได้ว่าคุณภาพอากาศจะดีขึ้นในฤดูฝนเมื่อเทียบกับฤดูแล้ง^[12] และมีข้อสังเกตว่าค่า pH ในน้ำฝนรายเดือนในเขตเมืองมีความผันแปรสูงกว่าในเขตชนบท บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดก๊าซกรดในอากาศที่หลากหลายและมีที่มาจากการใช้พลังงานในเขตเมือง เช่น การจราจร เป็นต้น นอกจากนี้การกระจายตัวของอากาศที่ไม่ดีในเขตเมืองเมื่อเทียบกับพื้นที่ชนบทก็เป็นสาเหตุให้ค่า pH มีค่าแปรปรวนสูงได้เช่นเดียวกัน รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่า pH รายเดือนในพื้นที่ศึกษาแสดงไว้ในภาพที่ 9 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีในน้ำฝนและปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่เขตเมืองและเขตชนบทของปี พ.ศ. 2551 แสดงไว้ในตารางที่ 1

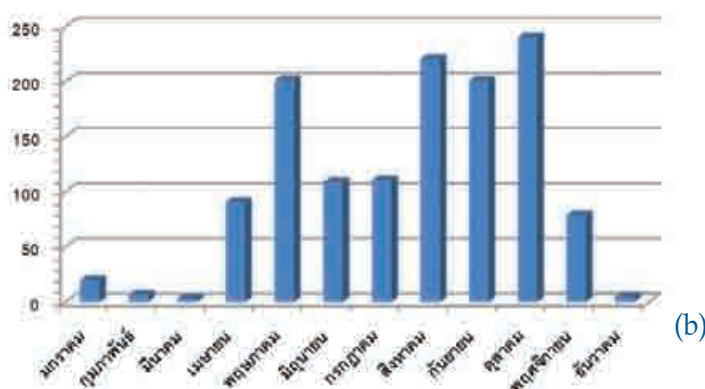
ตารางที่ 1 ปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่เขตเมืองและเขตชนบท

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณการตกสะสมของกรด (มิลลิโมล/ตารางเมตร)							
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
กรุงเทพมหานคร	32.0	55.4	20.1	95.5	17.3	3.6	28.7	4.2
เชียงใหม่	6.4	11.7	5.9	25.6	3.4	3.4	8.6	2.3
ปทุมธานี	17.8	35.9	11.0	49.6	10.0	2.5	19.4	2.8

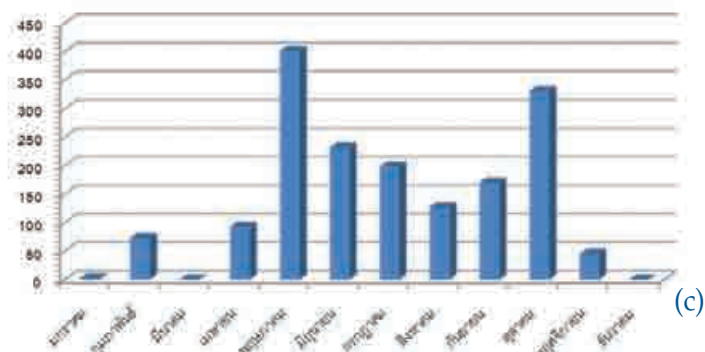
ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มม.) ของจุดตรวจวัดกรุงเทพมหานคร



ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มม.) ของจุดตรวจวัดที่เชียงใหม่



ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มม.) ของจุดตรวจวัดที่ปทุมธานี



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตร) ที่
(a) กรุงเทพมหานคร (b) เชียงใหม่ และ
(c) ปทุมธานี

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการตกสะสมของกรดในกรุงเทพมหานครมีปริมาณสูงสุด โดยมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำฝนจากมากไปหาน้อย ได้แก่ $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ การที่ปริมาณการตกสะสมของ NO_3^- และ SO_4^{2-} มีปริมาณ

สูงกว่าองค์ประกอบทางเคมีตัวอื่นๆ บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของมลพิษอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานในเขตเมือง สำหรับ NH_4^+ ที่มีปริมาณสูงมากในเขตเมืองมักมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมที่มนุษย์ทำขึ้น เช่น การทิ้งขยะและการเผาขยะชุมชน เป็นต้น ปริมาณการตกสะสมของกรด ร่องลงมาพบที่จุดเก็บตัวอย่างปทุมธานีและเชียงใหม่ตามลำดับ โดยมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีจากมากไปหาน้อย ได้แก่ $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ สำหรับปทุมธานี และ $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+$ สำหรับเชียงใหม่ จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ชนบททั้งสองมี NH_4^+ NO_3^- และ Ca^{2+} เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างน้ำฝน บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและแหล่งกำเนิดที่มาจากกิจกรรมด้านเกษตรกรรม เช่น การใช้ปุ๋ยและการเผาขยะเกษตรกรรมในพื้นที่^[13] เป็นต้น

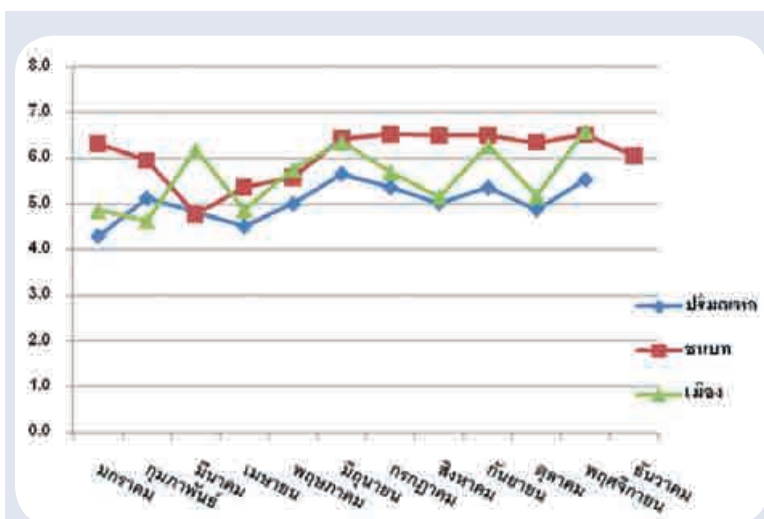
3.1.2 ปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่ป่าต้นน้ำ

สำหรับปริมาณน้ำฝนและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำฝนในเขตป่าต้นน้ำ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ทำการตรวจวัดมาตั้งแต่ปี 2549 ภายใตความร่วมมือด้านการวิจัยกับประเทศญี่ปุ่นในโครงการ “The Joint Research Project on Catchment Analysis in Thailand” พบว่าปริมาณน้ำฝนมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,382 มิลลิเมตร/ปี และพบปริมาณน้ำฝนมากกว่า 200 มิลลิเมตรในเดือนกันยายนและตุลาคมของทุกปี รายละเอียดปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่ป่าต้นน้ำแสดงไว้ในภาพที่ 10

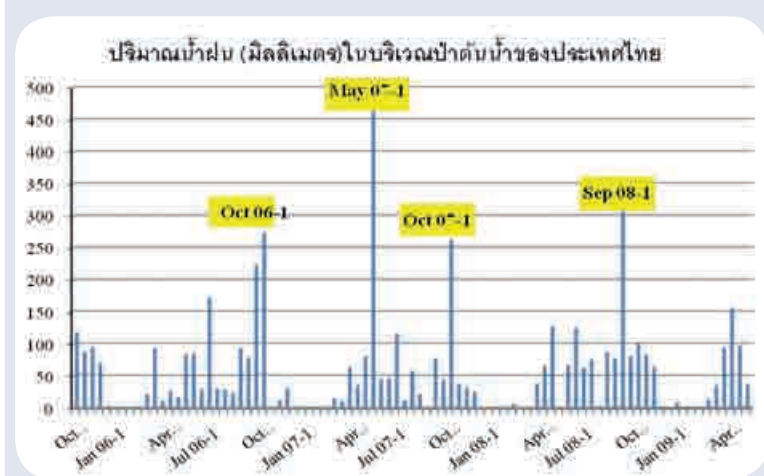
ในส่วนของคุณค่า pH ของน้ำฝนในพื้นที่ป่าต้นน้ำ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 4.1 – 6.8 แต่การเปลี่ยนแปลงของคุณค่า pH ตามฤดูกาลมีความแตกต่างจากค่าที่พบในพื้นที่เขตเมืองและเขตชนบท กล่าวคือพบว่าค่า pH มีค่าต่ำในฤดูฝนช่วงประมาณเดือนตุลาคมของทุกปี ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการการศึกษา (ภาพที่ 11) บ่งชี้ถึงการพัดพามลพิษมาจากระยะทางไกล (long range transport) ด้วยกระบวนการเกิดเมฆ (rain out process) เมื่อตกลงมาเป็นฝนจึงมีความเป็นกรดสูง และเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนพบว่า pH มีค่าต่ำเมื่อปริมาณน้ำฝนมากซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาข้างต้น

สำหรับค่า pH น้ำฝนที่ตกผ่านใบไม้ (Throughfall) และน้ำฝนที่ตกผ่านต้นไม้ (Stemflow) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5.8-7.1 และ 6.0-8.0 ตามลำดับ การกระจายตัวของคุณค่า pH เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการกระจายตัวของความเป็นกรด-ด่างในตัวอย่างน้ำฝน (Rainfall) Throughfall และ Stemflow พบว่ามีแบบการกระจายตัวที่คล้ายคลึงกัน โดยมีค่า pH ที่พบมีความถี่ (frequency) มากที่สุดคือ 5.0 6.2 และ 6.8 ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าค่า pH มีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการปริมาณการตกสะสมขององค์ประกอบทางเคมีที่มีประจุบวก (Cation) เช่น Ca^{2+} Na^+ Mg^{2+} และ K^+ ในตัวอย่าง Throughfall และ Stemflow ที่มีปริมาณสูงขึ้นเนื่องจากฝุ่นที่ตกค้างตาม

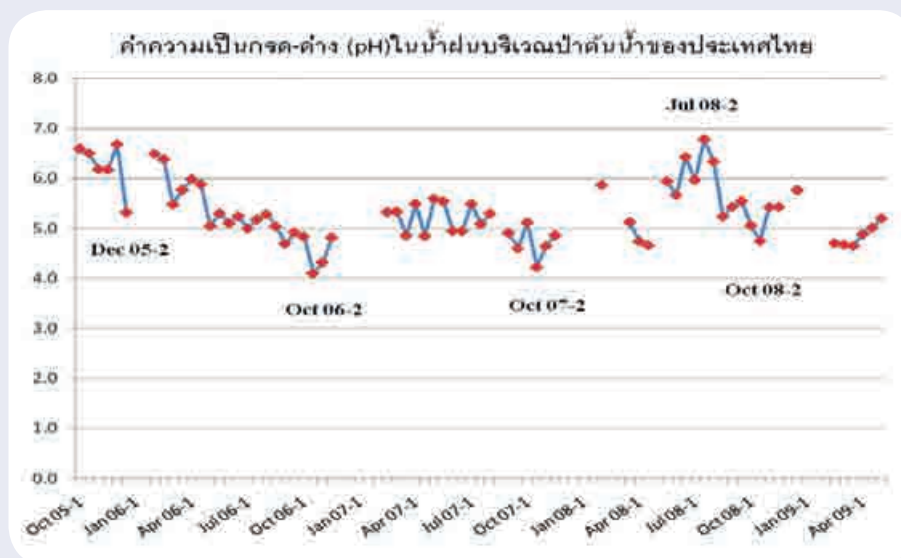
ใบไม้ และต้นไม้ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำฝนที่ตกลงมาทำให้น้ำฝนนั้นมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามลำดับการกระจายตัวของค่า pH ในตัวอย่างน้ำฝนน้ำฝนที่ตกผ่านใบไม้ และน้ำฝนที่ตกผ่านต้นไม้แสดงไว้ในภาพที่ 12 และองค์ประกอบทางเคมีของการตกสะสมแบบเปียกในพื้นที่ป่าต้นน้ำในปี พ.ศ. 2551 แสดงไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 9 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำฝนในพื้นที่ต่างๆ ได้แก่ ปทุมธานี (ปทุมธานี) ชนบท (เชียงใหม่) และเขตเมือง (กรุงเทพมหานคร)



ภาพที่10 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตร) ที่สถานีวนวัฒนวิจัยสระแกรราช (พื้นที่ป่าต้นน้ำ) ตัวหนังสือบนพื้นสีเหลืองแสดงถึงเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมาก



ภาพที่ 11 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำฝนที่สถานีวัฒนวิจัย สะแกราช (พื้นที่ป่าต้นน้ำ)

ในส่วนของคุณภาพอากาศในเขตป่าต้นน้ำจากการตรวจวัดก๊าซกรดในอากาศด้วยเทคนิค Ogawa passive sampler พบว่า ก๊าซ SO_2 และ NO_2 มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ppbv และ 0.5-2.5 ppbv ตามลำดับ โดยมักมีค่าสูงในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน - เมษายน) ซึ่งปริมาณที่พบของ SO_2 และ NO_2 ในอากาศที่บริเวณป่าต้นน้ำนี้ มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทยสำหรับค่าเฉลี่ย 1 ปี ค่อนข้างมาก ได้แก่ 40 ppbv และ 30 ppbv ตามลำดับ บ่งชี้ถึงคุณภาพอากาศที่ดีปราศจากแหล่งกำเนิดมลพิษ

ที่สำคัญในพื้นที่แตกต่างจากปริมาณของก๊าซโอโซนที่พบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 20-120 ppbv โดยพบมีค่าสูงสุดในฤดูแล้ง โดยเฉพาะในเดือนธันวาคมของทุกปี ปัจจุบันประเทศไทยมีค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับก๊าซโอโซน คือค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง (100 ppb) และ 8 ชั่วโมง (70 ppb) ถึงแม้ว่าในการศึกษานี้จะทำการเก็บตัวอย่างทุก 15 วัน แต่ในฤดูแล้งดังกล่าว ปริมาณก๊าซโอโซนมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงสูงคือ 30-120 ppb ซึ่งส่วนใหญ่พบว่ามีปริมาณเกินค่ามาตรฐานทั้งสอง ปริมาณก๊าซ

ตารางที่ 2. ปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่เขตป่าต้นน้ำ (catchment area)

ตัวอย่าง	ปริมาณการตกสะสมของกรด (มิลลิโมล/ตารางเมตร)							
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
น้ำฝน (Rainfall)	8.3	6.3	18.7	6.1	16.8	6.2	13.0	3.8
น้ำฝนที่ตกผ่านใบไม้ (Throughfall)	89.9	80.6	263.2	119.0	51.0	716.3	130.8	114.8
น้ำฝนที่ตกผ่านต้นไม้อ่อน (Stemflow)	3.0	1.8	7.2	4.0	1.7	81.9	4.9	14.8

ไอโซนที่สูงนี้บ่งชี้ถึงอิทธิพลของสารมลพิษทุติยภูมิที่มีการพัดพามาจากที่ไกล(long range transport) นอกจากนี้อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาป่าและการเผาในที่โล่งของขยะเกษตรกรรม ซึ่งมักพบบ่อยในพื้นที่ใกล้เคียงในช่วงฤดูแล้งดังกล่าว

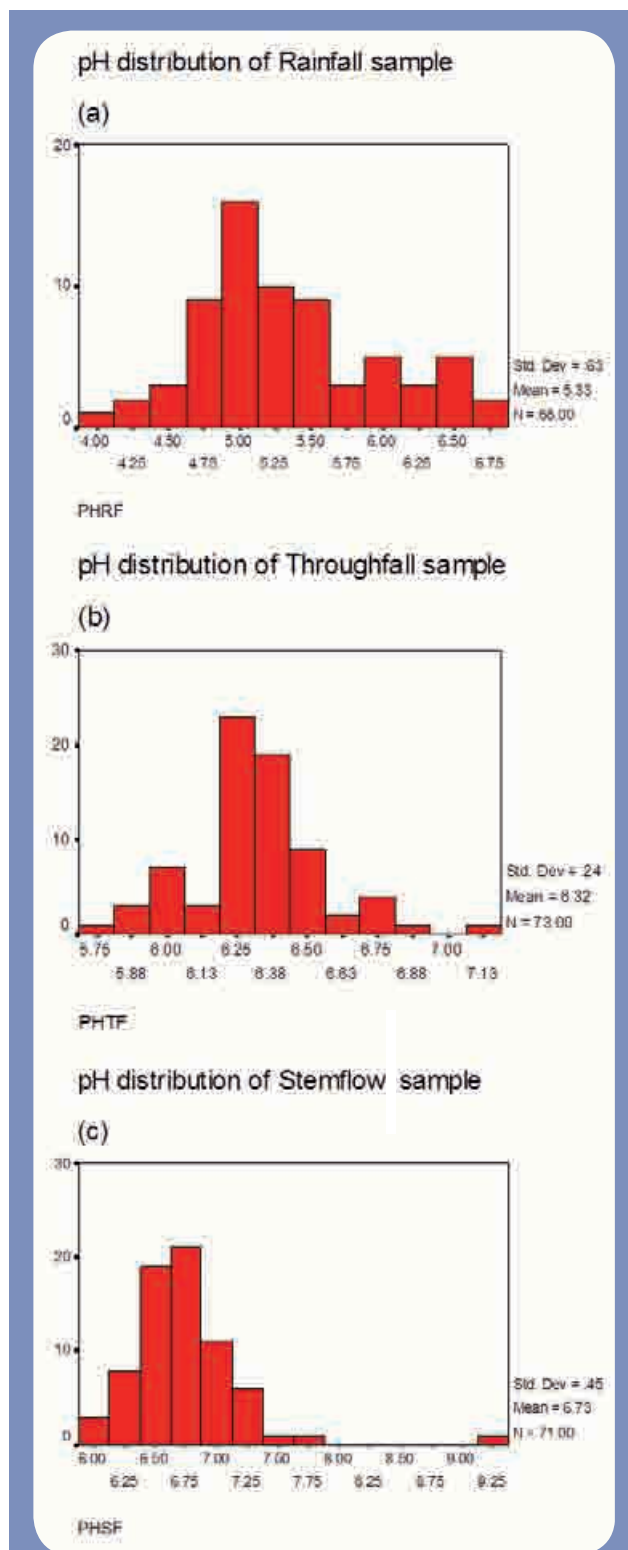
3.2 ความเป็นกรดของดิน ความไว และความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นกรด

3.2.1 การจัดระดับความรุนแรงในการเกิดดินกรดของประเทศไทย

ประเทศไทยโดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน (Soil pH) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 มาใช้วัดลำดับของความรุนแรงของพื้นที่ดินในประเทศไทย จึงทำให้ทราบว่า ณ ปัจจุบันประเทศของเรามีพื้นที่ส่วนใหญ่ประมาณหนึ่งในสามของพื้นที่ทั้งประเทศเป็นดินกรดแต่มีระดับความเป็นกรดค่อนข้างน้อย-น้อยมาก กล่าวคือ ดินของไทยเราจะมีค่า pH เฉลี่ยของทั้งประเทศ อยู่ระหว่าง 6.1-6.5 คิดเป็นพื้นที่รวมกันประมาณ 108 ล้านไร่จากพื้นที่ทั้งหมด 321.27 ล้านไร่ อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่มีความเป็นกรดรุนแรงมากหรือเป็นดินที่มีค่าปฏิกิริยาของดินน้อยกว่า 4.5 พบว่ามีพื้นที่รวมกันถึง 21.41 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.66 ของพื้นที่ทั้งประเทศ เฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบดินที่มีความเป็นกรด รุนแรงมากถึง 13.33 ล้านไร่ รองลงมา ได้แก่ ภาคใต้ (4 ล้านไร่) ภาคตะวันออก (2.92 ล้านไร่) และภาคเหนือ (1.11 ล้านไร่) ตามลำดับ

ตารางที่3 การนำค่าปฏิกิริยาดิน(Soil pH)มาใช้ในการจัดระดับความรุนแรงในการเกิดดินกรดของประเทศไทย

ระดับความรุนแรง	ค่าปฏิกิริยาดิน (soil pH)
รุนแรงมาก (very severely)	< 4.5
รุนแรง (severely)	4.5-5.0
ปานกลาง (moderately)	5.1-5.5
น้อย (slightly)	5.6-6.0
น้อยมาก (very slightly)	6.1-6.5
เป็นกลางหรือต่างรุนแรง	> 6.6



ภาพที่ 12 การกระจายตัวของค่า pH ในน้ำฝน (a) น้ำฝนที่ตกผ่านใบไม้ (b) และ น้ำฝนที่ตกผ่านต้นไม้ (c)

ตารางที่ 4 รูปแบบของการจัดชั้นของกลุ่มชุดดินที่อ่อนไหวต่อการเกิดเป็นดินกรด ^[14]

CEC (meq/100g)	Base Saturation (%)			
	0-20	20-60	60-80	80-100
< 10	I	II	III	V
10-25	I	III	IV	V
> 25	II	IV	V	V

Note: Vulnerability Classes = I, II, III, IV, V whereas I = Very severely and V = Very slightly

นอกจากนี้แผนที่ระดับความรุนแรงในการเกิดกรดของพื้นที่ประเทศไทยสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ทำนาย (Predict/Forecast) ความอ่อนไหวของดินต่อการตกสะสมของกรด (Soil sensitivity and Vulnerability of Acid Deposition) ได้อีกทางหนึ่ง ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาดินหรือการเกิดกรดของดินตลอดจนการตกสะสมของกรดมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับคุณสมบัติทางเคมีของดินอีก 2-3 ชนิดที่นับว่าเป็นองค์ประกอบหลัก และพบได้ในแต่ละชุดดิน สมบัติทางเคมีที่สำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณา ร่วมกันในการจัดชั้น/ลำดับ ของความอ่อนไหวในการเกิดกรดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 ได้แก่ความจุไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน (CEC) และความอิ่มตัวด้วยต่างของดิน (Base Saturation: BS)

ทั้งนี้เนื่องจากการตกลงมาของกรดจะเหนี่ยวนำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินซึ่งสามารถตรวจวัดได้ดังต่อไปนี้

(1) การลดระดับลงหรือหมดไปของธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวก อาทิเช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ (Base cations)

(2) การเคลื่อนย้ายของอลูมิเนียม (Al^{3+}) ออกมาอยู่ในรูปสารละลายของดิน

(3) เกิดการสะสมของไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S)

(4) เพิ่มการละลายได้ของโลหะหนักดังต่อไปนี้ Zn, Cd, Mn, Cu, Ni, etc.

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดิน เมื่อกรดไหลซึมลงสู่ดินจะรุนแรงและเกิดเป็นดินกรดมากขึ้นเพียงไรจึงขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และความอิ่มตัวของสารที่เป็นต่าง (Base Saturation: BS) ของดินนั่นเอง ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ค่า CEC และ BS จัดระดับความเสี่ยงต่อการกลายสภาพเป็นกรดของระบบ นิเวศได้อีกด้วย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ความไวของชุดดิน (Sensitivity Classes) ต่อการเกิดเป็นดินกรดของระบบนิเวศ ^[15]

CEC meq/100g	Base Saturation (%)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
< 10	I	I	II	III	V
10-25	I	II	III	IV	V
> 25	II	III	IV	V	V

Ecosystem risk class I = Very high risk, II = High risk, III = Medium risk, IV = Low risk, V = Very low risk

ตัวแทนของชุดดินที่เก็บมาจากพื้นที่ทำการเกษตรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ได้แก่ ชุดดินโคราช ชุดดินโพธิ์พลัย และชุดดินปากช่อง) และภาคเหนือ (ได้แก่ ชุดดินบ้านจ้อง, ห้างฉัตร และเชียงราย) รวมทั้งดินในสวนป่าจากสถานีวนวัฒนวิจัยสะแกราช ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางเคมี-กายภาพอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง เช่นความเป็นกรด-ด่างของดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และความอิ่มตัวของสารที่เป็นด่าง (Base Saturation: BS) เพื่อประเมินความไวต่อการกลายเป็นกรดของดิน (Soil sensitivity class) และความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นกรดของดิน (Soil vulnerability class) ต่อไป

3.2.2 สถานะความเป็นกรดของดิน (soil acidity) ความไว (sensitivity) และความอ่อนไหว (vulnerability) ต่อการกลายเป็นกรดของดินในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากการตรวจวัดค่าปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH) จากชุดดินตัวแทนทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ทำให้ทราบว่าความรุนแรงของดินชุดที่เป็นกรด อาทิเช่น ปากช่อง โพธิ์พลัย และโคราช ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่ได้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นตรงกันข้าม ดินทั้ง 3 ชุดซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทำการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่า 15 ล้านไร่ กลับมีค่า pH ของดินในภาคสนาม (Field pH) สูงขึ้นระหว่าง 0.50-1.0 หน่วยเมื่อเปรียบเทียบกับ pH ของดินเมื่อ 30 ปีก่อน เหตุผลสำคัญที่ทำให้ pH ของดินในภาคฯ นี้สูงขึ้น เนื่องจากหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร อาทิเช่น กรมส่งเสริมการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน กรมวิชาการเกษตร และศูนย์วิจัยพัฒนาทางการเกษตรได้ร่วมมือกันรณรงค์ให้เกษตรกร เพิ่มศักยภาพในการผลิตโดยมีโครงการปรับปรุงบำรุงดินมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในหลาย ๆ โครงการปรับปรุงบำรุงดินก็จะมีใส่ปุ๋ย การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การไถกลบตอซังหลังจากการ

เก็บเกี่ยวการปลูกพืชตระกูลถั่วเพื่อใช้คลุมดิน และทำการไถกลบเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ตลอดจนการเพิ่มการใช้ปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยเคมี จึงทำให้ปัจจุบันสถานะของความเป็นกรดกลับฟื้นดีขึ้น อาทิเช่น ดินชุดโคราช และปากช่อง มีความเป็นกรดน้อย (pH 5.7, slightly) ถึงน้อยมาก (pH 6.3, Very slightly) ในขณะที่ดินชุดโพธิ์พลัยกลับออกฤทธิ์เป็นกลางค่อนข้างต่างอ่อน (pH 7.22, alkaline) อย่างไรก็ตามหากชุดดินดังกล่าว ขาดการบำรุงดูแลอย่างใกล้ชิด แนวโน้มที่ดินทั้ง 3 ชุดจะกลับไปมีสภาพเป็นกรดรุนแรง (pH 4.5-5.0) และรุนแรงมาก (pH < 4.5) ก็เป็นไปได้สูง ทั้งนี้เนื่องจากโดยสภาพธรรมชาติของตัวดินเองมีอลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบอยู่ในเนื้อดินค่อนข้างมาก จึงเป็นที่มาของดินกรดเมื่อผ่านกระบวนการชะล้างในฤดูฝนในสภาพร้อนชื้นดังเช่นที่พบในประเทศไทย ทั้งสารละลายอลูมิเนียมและเหล็กก็จะชักนำให้ pH ของดิน ลดค่าลงอย่างต่อเนื่อง และกลายสภาพเป็นกรดจัดเช่นเดิม

ส่วนสภาพของความเป็นกรดในชุดดินตัวแทนของภาคเหนือ นั้น ดินชุดบ้านจ้องซึ่งเป็นดินเหนียวร่วนปนทราย แต่มีอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง (2.31%) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดดินตัวแทนอีก 2 ชุด จึงออกฤทธิ์เป็นกรดน้อยกว่า (Slightly) ในขณะที่ดินชุดเชียงราย (pH 4.99) และดินชุดห้างฉัตร (pH 4.87) ยังคงมีสถานะของความเป็นดินกรดอย่างรุนแรง (Severely) ทั้งคู่ เนื่องจากดินชุดเชียงราย และห้างฉัตรมีค่า eld pH เมื่อตรวจวัดด้วยน้ำต่ำกว่า 5.0 ทั้งอลูมิเนียมและเหล็กที่มีอยู่ในดิน (เป็นองค์ประกอบทางแร่ของดิน) ก็จะละลายได้คือออกมาอยู่ในรูปของสารละลาย และเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ นอกจากนี้ดินทั้ง 2 ชุด (เชียงรายและห้างฉัตร) ที่มีความเป็นกรดรุนแรง (pH < 5.0) มีผลทำให้โปแตสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญในกลุ่มเดียวกับฟอสฟอรัส และไนโตรเจนมีปริมาณต่ำไม่เพียงพอต่อการปลูกพืชอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ดินชุดห้างฉัตร

ยังคงเป็นดินกรดจัดที่มีศักยภาพในการผลิตเหนือกว่าดินชุดโคราช ซึ่งแม้ดินชุดโคราชจะมีค่า pH ที่สูงกว่า (pH 5.7) แต่กลับมีค่า CEC, Soil organic matter และปริมาณแร่ดินเหนียว (Clay) ต่ำกว่าดินชุดห้วยน้ำคร่างอย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณาการนำมาใช้ประโยชน์พบว่า ดินชุดห้วยน้ำคร่างมีความเสี่ยงสูงกว่าดินชุดโคราช (Al 0.7 mg/kg) เพราะมีสารละลายอลูมิเนียมมากกว่าหลายสิบเท่า (44 mg/kg) ดังนั้นในการเลือกชนิดของพืชที่ปลูกจะต้องเป็นพืชที่ชอบสภาพดินกรดรุนแรงและทนต่ออลูมิเนียมได้ดี เช่น พืชในกลุ่มของ ขา กาแฟ มันสำปะหลัง อนึ่งการปลูกพืชโดยปราศจากการปรับปรุงบำรุงดิน เช่น การใส่ปุ๋ย หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับอินทรีย์วัตถุชนิดต่าง ๆ ก็จะทำให้ดินที่เป็นกรดค่อนข้างจะรุนแรงกลายเป็นกรดรุนแรงมากยิ่งขึ้น

สำหรับดินจากสวนป่าในสถานีวนวัฒนวิจัย สะแกกราชมีสภาพเป็นดินกรดรุนแรง - รุนแรงมาก โดยมีค่า pH ของดิน ต่ำกว่า 5.0 คืออยู่ระหว่าง 4.1 - 4.7 จึงพบทั้งอลูมิเนียมและเหล็กในรูปของสารละลายดินมีปริมาณสูงมาก โดยพบสูงสุดมากถึง 869 mg/kg และต่ำสุดที่ 157 mg/kg ทั้งนี้เนื่องจากดินบริเวณสถานีฯ สะแกกราช ไม่มีการไถพรวนหน้าดินไม่ถูกรบกวน และไม่เคยผ่านขั้นตอนการปรับปรุงบำรุงดิน เช่น การใส่ปุ๋ย ปูน หรือปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้นการจัดชั้นของความเป็นกรด ตลอดจนความไวและความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นดินกรด จึงไม่มีปัจจัยภายนอกอื่น ๆ มารบกวน นอกเหนือจากคุณสมบัติของดินซึ่งเป็นผลโดยตรงมาจากกระบวนการชะล้าง และการพัฒนาการเกิดดินในสภาพธรรมชาติเท่านั้น (Natural processes on soil development) ด้วยเหตุดังกล่าว ดินที่สถานีฯ สะแกกราช มีสถานะความเป็นกรดอย่างรุนแรง (severely) ไปจนถึงกระทั่งเป็นกรดรุนแรงมาก (very severely) อีกทั้งดินเหล่านี้มีศักยภาพในการคงไว้ซึ่งค่า pH ในภาคสนามค่อนข้างต่ำ (BS มีค่าค่อนข้างต่ำ < 40%) จึงมีความไว (sensitivity) และอ่อนไหว (vulnerability) สูงมากต่อการกลายเป็น

ดินกรด หมายความว่า ดิน ที่สถานีฯ สะแกกราช จะมีค่า pH ของดินลดลงได้อีกอย่างง่ายดาย เมื่อผ่านกระบวนการชะล้างด้วยฝน ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ พร้อมกับจะมีสารละลายอลูมิเนียมและเหล็ก เพิ่มขึ้นจากระดับที่เป็นอยู่ในสัดส่วนเดียวกันกับการลดลงของค่า pH ของดินนั่นเอง นอกจากนี้การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งมีอัตราค่อนข้างสูงก็จะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่จะมีส่วนทำให้ดินมีค่า pH ลดลง เพราะกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่ออินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายนั่นเอง

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษาลักษณะการตกสะสมของกรดต่อความเป็นกรดในดินสำหรับดินในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในตัวอย่างน้ำฝนมีความเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับพื้นที่นั้นๆ โดยในเขตเมืองและเขตชนบทมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างโดยปริมาตร (volume weighted average pH) อยู่ในช่วง 5.03-5.98 และพื้นที่ป่าต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างโดยปริมาตรเท่ากับ 5.15 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีพบว่ามี NH_4^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- และ Na^+ เป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างน้ำฝนที่ตกลงมาตามธรรมชาติ ทั้งนี้ปริมาณการตกสะสมของกรดจะขึ้นกับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในแต่ละพื้นที่ ในจำนวนองค์ประกอบทางเคมี หลักในตัวอย่างน้ำฝนในพื้นที่ต่างๆ ปริมาณการตกสะสมของ SO_4^{2-} และ NO_3^- ถือว่าเป็นตัวการหลักในการทำให้เกิดกรดในน้ำฝน และมีผลต่อการเกิดความเป็นกรดในดิน ซึ่งสารมลพิษทั้งสองมีค่าการตกสะสมเฉลี่ยสำหรับปี พ.ศ. 2551 ในเขตเมือง 32.0 และ 55.4 mmol/m² ในเขตชนบท 12.1 และ 23.8 mmol/m² และ ในเขตป่าต้นน้ำ 8.3 และ 6.3 mmol/m² ตามลำดับ ปริมาณการตกสะสมของกรดในพื้นที่ต่าง ๆ นี้ได้ถูกนำมาเป็นเกณฑ์ในการออกแบบการทดลองความอ่อนไหวของดินต่อ

การตกสะสมของกรดด้วยเทคนิค soil column ของชุดดินหลักในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยให้เพิ่มความเข้มข้นของฝนกรดอยู่ระหว่าง 10-1000 เท่าของปริมาณกรดเฉลี่ยทั้งปีในการชะล้างดินชุดต่าง ๆ

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าสำหรับดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ในเชิงพื้นที่) ปัจจุบันมีทิศทาง ในการกลายเป็นกรดน้อยลง ซึ่งเห็นได้ชัดจากชุดดินตัวอย่างที่วิเคราะห์ทั้ง 3 ชุด (ดินชุดโพธิ์พลัย pH 7.22, ดินชุดปากช่อง pH 6.3 และดินชุดโคราช pH 5.7) ในขณะที่ดินในภาคเหนือสภาพของความเป็นดินกรด (ในเชิงพื้นที่) จากการสุ่มวิเคราะห์โดยใช้ชุดดินตัวแทนพบว่า มีสภาพของความเป็นกรดค่อนข้างรุนแรง โดยพบดินเป็นกรดรุนแรงมาก ($\text{pH} \leq 5.0$) ถึง 2 ชุดดิน (ดินชุดเชียงราย pH 4.99 ดินชุดห้างฉัตร pH 4.87) มีเพียงดินชุดบ้านจ้องเพียงชุดเดียว (หนึ่งในสาม) เท่านั้นที่มีความเป็นกรดน้อย ($\text{pH} = 6.03$) กล่าวคือดินชุดห้างฉัตรจะมีธาตุอาหาร (K, Ca, Mg) ถูกชะล้างในรูปของ leachate ได้ดีกว่าดินชุดเชียงรายและบ้านจ้อง และการถูกชะล้างจะเข้มข้นยิ่งขึ้นเมื่อดินได้รับน้ำฝนที่มีปริมาณกรดมากขึ้น ถึงแม้ในเชิงพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตรดินทั้ง 3 ชุด พบในจังหวัดต่างๆ ของภาคเหนือตอนบนรวมกันประมาณ 7 ล้านไร่ แต่ถ้าหากไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อชะลอต่อการกลายเป็นดินกรดในอนาคต (10-20 ปี) คาดว่าจะพบดินกรดรุนแรงเพิ่มมากขึ้นอีก ส่วนดินจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้น ชุดดินปากช่องและโพธิ์พลัยซึ่งมีธาตุอาหาร (K, Ca, Mg) ในดินมากกว่า จึงมีโอกาสถูกชะล้างออกไปเมื่อดินกลายเป็นกรดได้มากกว่าดินชุดโคราชที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (CEC 1.58 meq/100g) ดังนั้นการสูญเสียธาตุอาหารที่ออกฤทธิ์เป็นต่างของดินชุดปากช่องและโพธิ์พลัยด้วยขบวนการชะล้างดินผ่านทางฝนกรดที่ตกจึงมีมากกว่าดินชุดโคราชหลายเท่า สำหรับดินในพื้นที่ป่าต้นน้ำมีสภาพเป็นดินกรดรุนแรง-รุนแรงมาก โดยมีค่า pH ของดิน

ต่ำกว่า 5.0 อันเนื่องมาจากพัฒนาการเกิดดินเป็นไปตามสภาพธรรมชาติเท่านั้น (Natural processes on soil development) อีกทั้งดินเหล่านี้มีศักยภาพในการคงไว้ซึ่งค่า pH ในภาคสนามค่อนข้างต่ำ (BS มีค่าค่อนข้างต่ำ < 40%) จึงมีความไว (sensitivity) และอ่อนไหว (vulnerability) สูงมากต่อการกลายเป็นดินกรด หมายความว่าดินที่สถานะ สะเกราข จะมีค่า pH ของดินลดลงได้อีกอย่างง่ายดาย เมื่อน้ำฝนที่ตกลงมามีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของสารกรดในบรรยากาศ และเมื่อดินมีความเป็นกรดมากขึ้นจะทำให้ลูมินัมและเหล็กสามารถละลายลงสู่ดินเพิ่มขึ้นจากระดับที่เป็นอยู่ในสัดส่วนเดียวกันกับการลดลงของค่า pH ในดิน

การทดลองการชะล้างดินด้วยเทคนิค soil column ด้วยฝนกรดสังเคราะห์แสดงให้เห็นว่าดินกรดจากทั้ง 2 ภาคมีศักยภาพในการรองรับการตกสะสมของกรดได้ค่อนข้างดี กล่าวคือสามารถรองรับกรดที่ตกผ่านชั้นของดินได้สูงถึง 10 เท่าของปริมาณฝนกรดที่พบเฉลี่ยอยู่ในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามดินชุดโคราช มีโอกาสสูงมากที่จะเพิ่มความเป็นกรดขึ้นไปอีก 1 ระดับจากการเป็นกรดปานกลาง ($\text{pH} 5.1-5.5$) ไปเป็นดินกรดรุนแรง ($\text{pH} 4.5-5.0$) ในทำนองเดียวกัน สำหรับความไว และความอ่อนไหวต่อการกลายเป็นกรดของดินจากทั้ง 2 ภาคจะสามารถรองรับฝนกรดหรือการตกสะสมของกรดในระดับปัจจุบันถึง 10 เท่าตัว โดยยังคงสภาพความเป็นกรดเท่าเดิมและอยู่ในชั้นดินที่มีความ ไวและความอ่อนไหวในระดับปานกลาง-น้อยมาก (class III – V, Moderately Slightly) ยกเว้นดินชุดเชียงราย (ดินนา) หรือดินที่ใกล้เคียงกับดินชุดนี้จะมี ความไวและความอ่อนไหว ในการกลายเป็นดินกรดรุนแรง

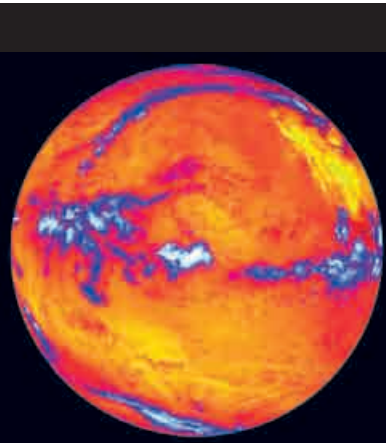
5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณ สำนักจัดการอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดการตกสะสมของกรดที่เชียงใหม่ และกรุงเทพมหานคร ซึ่งทำให้การประเมินผลกระทบของการตกสะสมของกรดสามารถครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้ตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณ ดร. ปรีดา พากเพียร และคณะ จากคณะทรัพยากรศาสตร์และการจัดการ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย สำหรับความร่วมมือในการศึกษาความอ่อนไหวของดินต่อการตกสะสมของกรดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเทคนิค soil column ที่ได้ทำการทดลองนับร้อยชุดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียด และเป็นปัจจุบัน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการศึกษานี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. UN-CEC 1996. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution and Its Protocols 1979, ECE/EB.AIR/50, United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, Switzerland.
2. UN/CEC 2000. Protocol to Abate Acidification Eutrophication and Ground-level Ozone. Secretariat for the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, UN/CEC, Geneva.
3. Han, Z., Ueda, H. and Sakurai, T., Model study on acidifying wet deposition in East Asia during winter time, Atmospheric Environment 40(2006) 2360-2373.
4. Nagase, Y. and Silva Emilson, C.D., Acid rain in China and Japan: A game theoretic analysis, Regional Science and Urban Economics, 37(2007) 100-120.
5. Kuylenstierna, J.C.I., Cambridge, H., Cinderby, S. and Chadwick, M.J. 1995. Terrestrial ecosystem sensitivity to acid deposition in developing countries. Water Air Soil Pollut. 85, 2319-2324.
6. Kuylenstierna, J.C.I., Rodhe, H., Cinderby, S. And Hicks, K., Acidification in Developing Countries: Ecosystem Sensitivity and Critical Load Approach on a Global Scale. Royal Swedish Academy of Sciences (2001) 20-28.
7. W. Kevin Hicks, Johan C.I. Kuylenstierna, Ann Owen, Frank Dentener, Hans-Martin Seip and Henning Rodhe 2008. Soil Sensitivity to Acidification in Asia: Status and Prospects. Ambio, vol. 37, No. 4.
8. Ivesfeldt, A, Sjoberg, K., Endgardt, M., Garivait, H. Robertson, L., Ferm, M. and Peterson, K., Technical Report on Study of Possible Acidification in Thailand, 2003.
9. Sebastian, T., Eloneva, S., Fogelholm, C-J. and Zevenhoven, R., Stability of calcium carbonate and magnesium carbonate in rainwater and nitric acid solutions. Energy Conversion and Management 47 (2006) 3059-3068.

10. ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์ และคณะ 2548 แบบจำลองดิน ดินกรด ดินเปรี้ยว และปริมาณความต้องการ ปูนของประเทศไทย (Thai Acids version 1.0), กรมพัฒนาที่ดิน.
11. Environmental Agency, Government of Japan, 2000. Guidelines and Technical Manuals for Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET).
12. กรมควบคุมมลพิษ 2551, สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2550, ISBN 978-974-286-529-0 คพ. 03-097.
13. Garivait, H., A Study on Air Pollution by Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok Urban Atmosphere, PhD. Dissertation 1999, No. EV-99-1.
14. Tao, F., Hayashi, Y. and Lin, E. (2002). Soil Vulnerability and Sensitivity to Acid Deposition in China. Water, Air and Soil Pollution, 140, 247-260.
15. Bhatti, N. and Streets, D.G. (1992). Acid Rain in Asia. Environmental Management. 16(4), 541-562.



สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศและความเชื่อมโยงต่อภาวะโลกร้อน (Linkage of Volatile Organic Compounds in Ambient Air to Global Warming)

วรรณ ลาอวกุล พลีนพิศ พงษ์ประยูร เดซี่ หมอกน้อย หทัยรัตน์ การ์นิเวย์

ศุภนุช รสจันทร์ สุธีระ บุญญาพิทักษ์ และนิรัน เปี่ยมโย

Wanna Laowagul, Plernpis Pongprayoon, Daisy Morknoy, Hathairatana Garivait,
Supanut Roschan, Sutura Boonyapitak, and Nirun Piemyai

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและความเชื่อมโยงต่อภาวะโลกร้อน จากการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 - เดือนกุมภาพันธ์ 2551 จำนวน 11 จุด แบ่งออกเป็นบริเวณริมถนน 5 จุด บริเวณที่อยู่อาศัย 5 จุด และบริเวณทั่วไป 1 จุด โดยใช้เทคนิค canister-preconcentrator-GC/MS ข้อมูลสรุปจากผลการศึกษาพบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้จำนวน 53 ชนิด แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกฮาโลเจนเตทไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกฮาโลเจนเตทไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มสารประกอบออกซิเจนเตทไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารเหล่านี้บางตัวก่อให้เกิดโรคมะเร็ง บางตัวมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ระบบตับและไต บางตัวเป็นสารที่ก่อให้เกิดก๊าซโอโซน จากการประมวลผลเกี่ยวกับศักยภาพการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย 5 กลุ่มนี้ พบว่าบริเวณริมถนนมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีศักยภาพในการเกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ 5 อันดับแรก ได้แก่ Propene, Toluene, m-, p-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene และ o-Xylene และเมื่อเปรียบเทียบสารในกลุ่มอะโรมาติกทั้งในบริเวณริมถนนและบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า Toluene และ m-,p-Xylene มีบทบาทในการที่จะก่อให้เกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศสูงกว่าสารชนิดอื่นในกลุ่มอะโรมาติก นอกจากนี้ ในบรรดาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มฮาโลคาร์บอนที่จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกและทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน พบว่า สาร CFC-12 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณริมถนนและสาร HCFC-22 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณที่อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายดังกล่าวนี้เป็นสารที่มีโอกาสต่อการเกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นควรต้องมีการติดตามตรวจสอบเพื่อเฝ้าระวังระดับของสารดังกล่าวในบรรยากาศเพื่อจัดการและควบคุมจากแหล่งกำเนิดต่อไป

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ระเหยง่าย ภาวะโลกร้อน

Abstract

This study was conducted to determine the linkage of VOCs in ambient air to global warming. The measurement of VOCs concentrations in Bangkok's ambient air was carried out at 11 sites during November 2006 to February 2008. The sampling sites were divided into 3 groups i.e., 5 roadside areas, 5 residential areas and 1 background area. The analysis was performed using canister-preconcentrator-GC/MS technique. The results of this study indicated that there were 53 VOCs compounds found in Bangkok's ambient air, which belong to the 5 groups, namely aliphatic hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, aliphatic halogenated hydrocarbons, aromatic halogenated hydrocarbons and oxygenated hydrocarbons. Some of these compounds are carcinogenic, some have effects on respiratory system, nervous system, cause kidney and liver malfunction and some compounds are precursors to ozone formation. High concentrations of VOCs were found in roadside areas which are known as precursors of ozone formation such as propene, toluene, m-, p-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene and o-xylene. The aromatic hydrocarbons found in roadside and residential areas especially to toluene and m-, p-xylene highly contribute to the formation of ozone compared to other aromatic hydrocarbons. Besides, high concentrations of CFC-12 were found in roadside areas while HCFC-22 concentrations were high in residential areas. These compounds are known as contributors to global warming, therefore, their concentrations in ambient air should be monitored and controlled.

Keywords: Volatile organic compounds, VOCs, Global warming

1. บทนำ

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds; VOCs) เป็นสารที่สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง เป็นสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักและมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน คลอรีน เป็นต้น สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากมายหลายกลุ่ม ได้แก่ อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอน และออกซิเจนเตทไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น คำนิยามของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของกฎหมายแต่ละประเทศ เช่น สหภาพยุโรป ให้คำนิยามว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีจุดเดือดไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 101.3 กิโลปาสกาล^[1] สหรัฐอเมริกาให้คำนิยามว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์ใดๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่มีส่วนในการทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลในบรรยากาศ โดยไม่รวมถึงมีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนิกแอซิด โลหะคาร์ไบด์ และเกลือคาร์บอนเนต^[2] ประโยชน์ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น สามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต่างๆ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ล้างพวกคราบไขมัน เป็นต้น จากฐานข้อมูลอัตราการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540 พบว่าอัตราการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากยานพาหนะ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย แหล่งที่พักอาศัย สถานบริการเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรม และอากาศยาน คิดเป็น 52.2%, 39.75%, 5.22%, 2.21%, 0.45% และ 0.16% ตามลำดับ^[3] อย่างไรก็ตาม สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรงหรือโดยทางอ้อม ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ถ้าหากมีการใช้ที่ไม่เหมาะสมและการควบคุมหรือการจัดการที่ไม่ดีพอ อาจส่งผล

กระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ สารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น มีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง ถ้าหายใจเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน รวมทั้งมีผลต่อการหายใจ บางตัวหากได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดมะเร็ง บางตัวอาจทำให้เซลล์เม็ดเลือดผิดปกติ ในแง่ของผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนในทางตรงสารอินทรีย์ระเหยง่ายเกือบทุกชนิดมีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยการดูดกลืนรังสีช่วงอินฟราเรดจากพื้นผิวของโลก อย่างไรก็ตามอายุของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศส่วนใหญ่สั้น ยกเว้นสารในกลุ่มฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอน เช่น CFC คาร์บอนเตตราคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่มีอายุยาวนานในบรรยากาศ และมีศักยภาพต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 1000 เท่า สารในกลุ่มนั้นนอกจากจะจัดเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) แล้ว ยังจัดเป็นสารที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Ozone depletion) ตัวอย่างดังตารางที่ 1 ส่วนผลกระทบทางอ้อมสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดเป็นสารตั้งต้นในการเกิดก๊าซโอโซน โดยเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical reaction) ระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในสภาวะที่มีแสงแดด ถ้าปริมาณก๊าซโอโซนมีปริมาณมากจะทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น เจ็บหน้าอก ไอ ระคายคอ คัดจมูก หอบเหนื่อย หลอดลมอักเสบ ถุงลมโป่งพอง หอบหืด ลดการทำงานของปอด เป็นต้น^[4] และโอโซนยังมีผลต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ทำให้พืชเสียหาย วัสดุยางเสื่อม เป็นต้น นอกจากนี้ ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ เนื่องจากก๊าซโอโซนจัดเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง และมีส่วนทำให้เกิดปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 3-7% ถ้าก๊าซโอโซนมีปริมาณสูงขึ้นในชั้นบรรยากาศ โอกาสในการดูดกลืนพลังงานฟิสิกส์ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ก็

สูงขึ้นด้วย^[5] เนื่องจากปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นปัญหาที่สำคัญที่รัฐบาลให้ความสำคัญและเร่งแก้ไข ดังนั้นจึงได้มีการจัดตั้งค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปเฉลี่ย 1 ปี จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ Benzene, 1,3-Butadiene, Chloroform, 1,2-Dichloroethane, Dichloromethane, 1,2-Dichloropropane, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene และ Vinyl Chloride^[6] รวมทั้งกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 19 ชนิด ได้แก่ Acetaldehyde, Acrylonitrile, Benzene, Benzyl Chloride, 1,3-Butadiene, Bromomethane, Carbon Tetrachloride, Chloroform, 1,2-Dibromoethane, 1,4-Dichlorobenzene, 1,2-Dichloroethane, Dichloromethane, 1,2-Dichloropropane, 1,4-Dioxane, 2-Propenal (acrolein), Tetrachloroethylene, 1,1,2,2-Tetrachloroethane, Trichloroethylene และ Vinyl Chloride^[7] เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมกำกับดูแลปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย

โดยเฉพาะในเขตเมือง กำลังเป็นปัญหาที่ขยายวงกว้างทั่วไปทุกแห่ง ดังนั้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงเน้นศึกษาสถานการณ์สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อให้การเฝ้าระวังและป้องกันปัญหาคุณภาพอากาศเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์สารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศ และชนิดที่จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกและทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน

2. วิธีการศึกษา

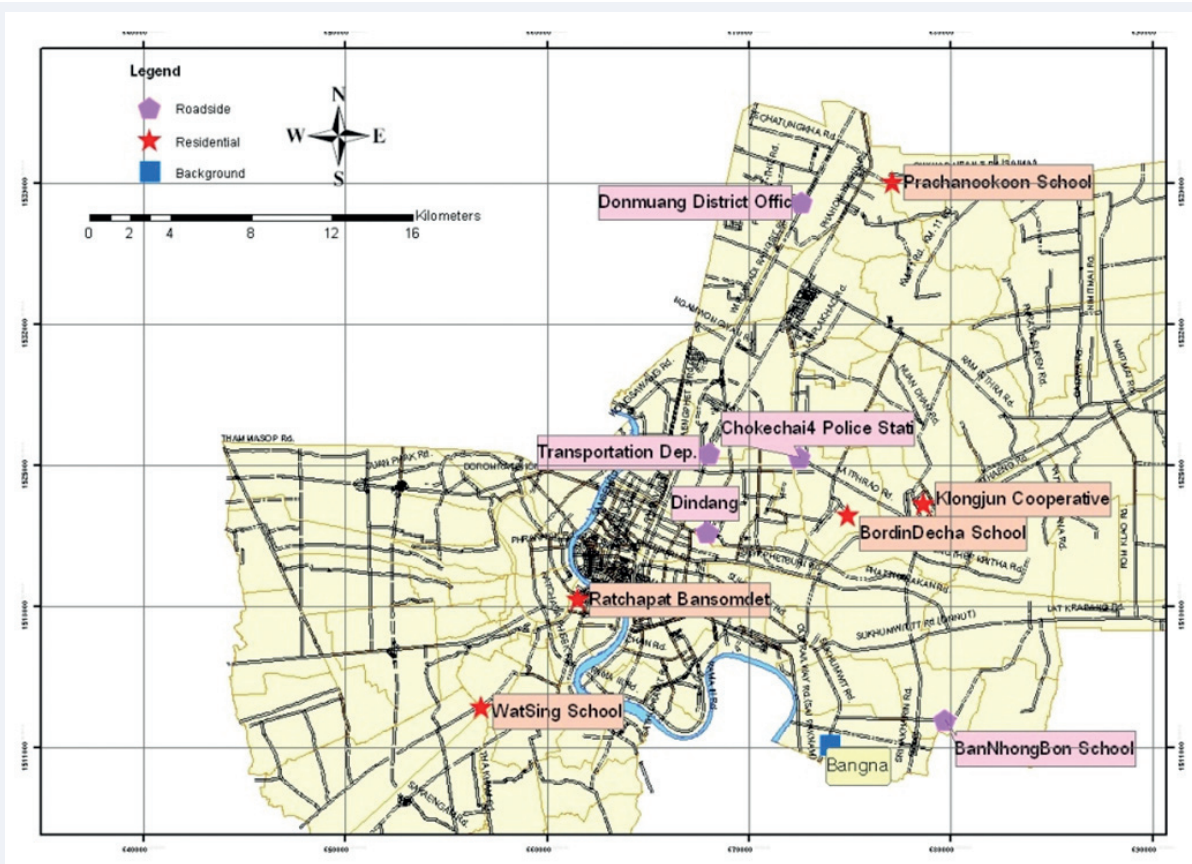
2.1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศด้วยเทคนิค canister เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เดือนละ 1 ครั้ง จำนวน 11 จุด ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 – กุมภาพันธ์ 2551 แบ่งออกเป็นบริเวณริมถนน 5 จุด ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดินแดง สถานีตำรวจโชคชัยสี่ สำนักงานเขตดอนเมือง กรมขนส่งทางบก และโรงเรียนบ้านหนองบอน บริเวณที่อยู่อาศัย 5 จุด ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทร์เดชา โรงเรียนวัดสิงห์ โรงเรียน

ตารางที่ 1 ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มฮาโลคาร์บอนและศักยภาพการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน

ชนิดของสาร VOCs	Ozone depletion potential ^[5,8]	Lifetime (ปี)
CFC 11*	1.0	60
CFC12*	0.82 , 0.90	120
CFC113	0.85 , 0.90	90
CFC114	0.60 , 0.85	200
Carbon tetrachloride	1.1 , 1.2	50
HCFC22*	0.04 , 0.05	15.3
Chloromethane	0.02	1.5
1,1,1-trichloroethane	0.14	6.3

Note: * หมายถึง Greenhouse gas



ภาพที่1 จุดเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวน 11 จุด ในเขตกรุงเทพมหานคร

บางกะปิสุขุมวิท 1 จุด โรงเรียนประชาภูมิ ฐานทัพเรือ และบริเวณทั่วไป 1 จุด ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพ อากาศบางนา ดังภาพที่ 1 โดยจุดเก็บตัวอย่างบริเวณริมถนนตั้งห่างจากขอบถนนหลักประมาณ 1.5 เมตร ส่วนจุดเก็บตัวอย่างบริเวณที่อยู่อาศัยตั้งห่างจากขอบถนนหลักประมาณ 100 เมตร และจุดเก็บตัวอย่างบริเวณทั่วไป ตั้งห่างจากบริเวณริมถนนและบริเวณที่อยู่อาศัยประมาณ 500 เมตร

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่างอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้วิธี U.S. EPA Compendium Method TO-15 ซึ่งเป็นวิธีที่ระบุไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ^[6] และประกาศกรมควบคุมมลพิษ^[7] โดยใช้เครื่อง preconcentrator-GC/MS การวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทำโดยเปรียบเทียบกับก๊าซมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน จำนวน 77 ชนิด และค่าความเข้มข้น

ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้ต้องผ่านเกณฑ์การทำการประกันคุณภาพ ได้แก่ กราฟมาตรฐานต้องมีค่า $r^2 \geq 0.995$ ค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของ Relative response factor $\leq 20\%$ การตรวจสอบการปนเปื้อนถึงเก็บตัวอย่างอากาศก่อนนำไปเก็บตัวอย่างและระหว่างการขนย้ายถึงเก็บตัวอย่างอากาศตั้งแต่ในภาคสนามจนถึงห้องปฏิบัติการต้องมีค่าน้อยกว่าค่า Instrument quantitation limit และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่รายงานผลได้ต้องมีค่ามากกว่าค่า Method quantitation limit เป็นต้น จากนั้นทำการประเมินสถานการณ์สารอินทรีย์ระเหยง่ายรวมทั้งประมวลศักยภาพของการเกิดก๊าซโอโซน (Ozone formation potential) จากสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ค่า Maximum incremental reactivity (MIR) ที่ได้จากการศึกษาของ Carter^[9] มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณก๊าซโอโซน

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

จากการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 11 จุด ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 – กุมภาพันธ์ 2551 พบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถตรวจวัดได้จำนวน 53 ชนิด แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกฮาโลเจนเตทไฮโดรคาร์บอน กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกฮาโลเจนเตทไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มสารประกอบออกซิเจนเตทไฮโดรคาร์บอน โดยมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 45% ของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายบริเวณริมถนนที่ได้จากการศึกษานี้กับต่างประเทศ ดังตารางที่ 2 พบว่า ความเข้มข้นของสาร Propene และ Pentane ในกลุ่มสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าประเทศญี่ปุ่น และ ความเข้มข้นของสาร Benzene, Toluene, m-,p-Xylene,

o-Xylene, Styrene, 1,2,4-Trimethylbenzene และ 1,2,3-Trimethylbenzene ในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สูงกว่าประเทศเกาหลีและประเทศญี่ปุ่น^[10,11] สารเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียรถยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Source profile ที่ศึกษาจากนักวิจัยหลายประเทศ^[12, 13]

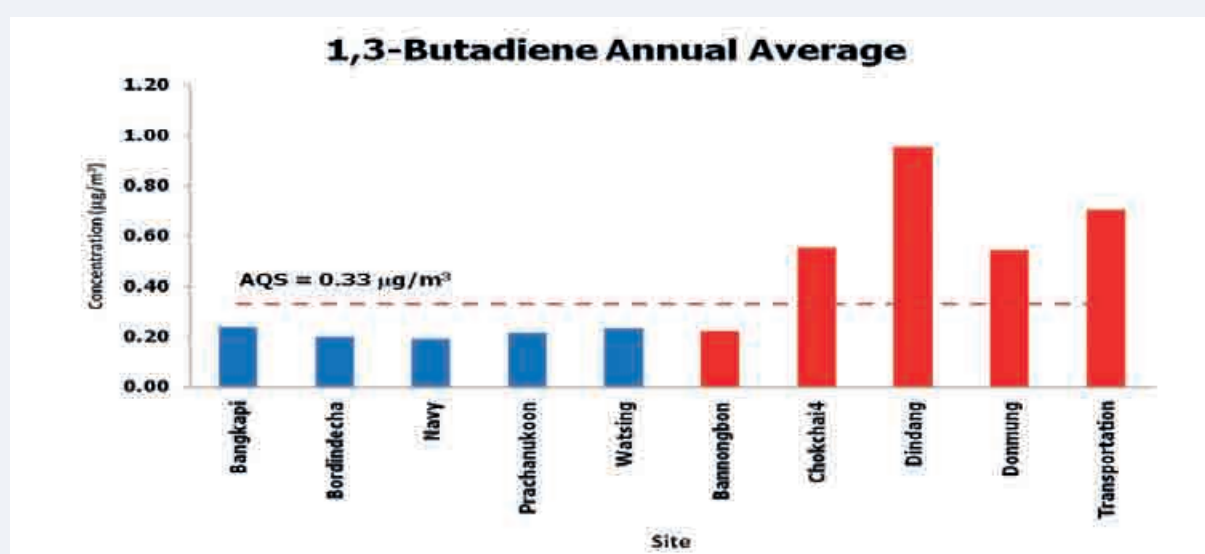
นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย จำนวน 9 ชนิด กับเกณฑ์ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ที่กำหนดสำหรับประเทศไทย ได้แก่ Vinyl chloride, 1,3-Butadiene, Dichloromethane, Chloroform, Benzene, 1,2-Dichloroethane, Trichloroethylene, 1,2-Dichloropropane และ Tetrachloroethylene พบว่า ความเข้มข้นของสาร 1,3-Butadiene บริเวณริมถนน เกินค่าเกณฑ์มาตรฐาน 1.8 เท่า และพบว่าความเข้มข้นของสาร Benzene บริเวณริมถนนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน 4.5 เท่า ดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดอื่นมีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้จากการศึกษานี้กับต่างประเทศ และค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ที่กำหนดสำหรับประเทศไทย

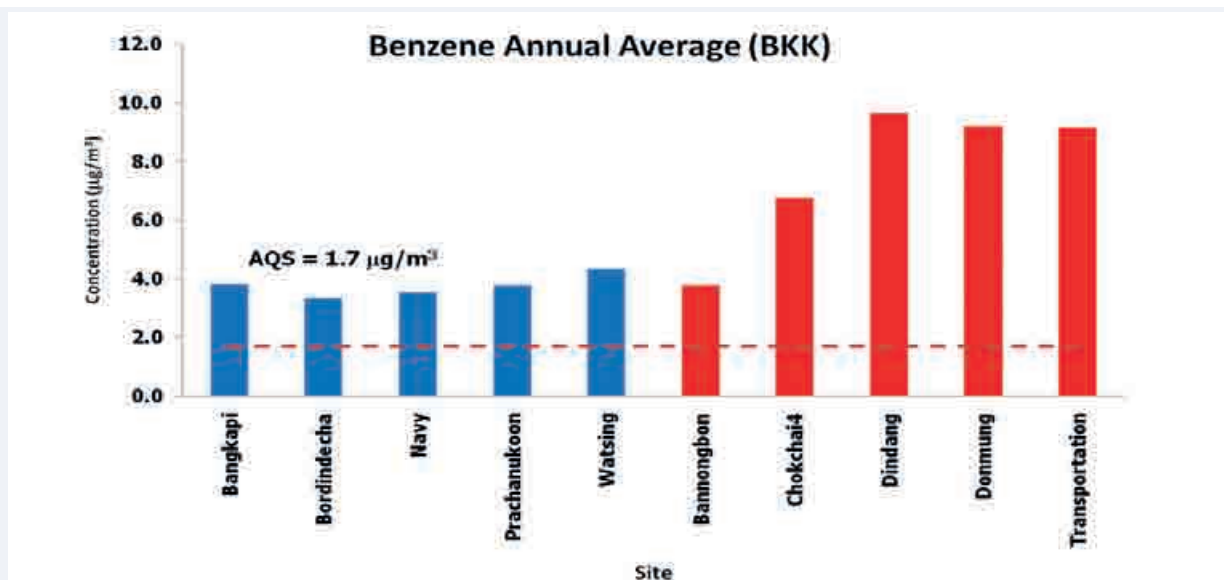
ชนิดสารอินทรีย์ ระเหยง่าย	การศึกษานี้		ต่างประเทศ					ค่ามาตรฐาน ประเทศไทย ^[6]
			Berlin ^[14]	Brazil ^[15]	Korea ^[10]	Taiwan ^[16]	Japan ^[11]	
	บริเวณ ที่อยู่ อาศัย (n=70)	บริเวณ ริมถนน (n=70)	1996	1997	1999	1999	2004	
Propene	8.6	19	3.4				3.6	
Vinyl chloride	0.19	0.41						10
1,3-Butadiene	0.22	0.59		2.6			0.33	0.33
Pentane	5.0	9.8	6.3		3.8	5.0-9.0	4.4	
Dichloromethane	2.3	2.0	0.10	1.8	1.4			22

ตารางที่ 2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้จากการศึกษานี้กับต่างประเทศและค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ที่กำหนด สำหรับประเทศไทย

ชนิดสารอินทรีย์ ระเหยง่าย	การศึกษานี้		ต่างประเทศ					ค่ามาตรฐาน ประเทศไทย ^[6]
			Berlin ^[14]	Brazil ^[15]	Korea ^[10]	Taiwan ^[16]	Japan ^[11]	
	บริเวณ ที่อยู่ อาศัย (n=70)	บริเวณ ริมถนน (n=70)	1996	1997	1999	1999	2004	
Chloroform	0.17	0.19	0.060		0.49			0.43
Benzene	4.1	7.7	4.8	12	3.2	4.0-5.0	2.3	1.7
1,2-Dichloroethane	0.11	0.13	0.060		1.2			0.4
Trichloroethylene	0.47	0.48	0.14	2.0	1.1			23
1,2-Dichloropropane	0.19	0.56						4
Toluene	32	39	17	21	24	18-30	19	
Tetrachloroethylene	0.19	0.32	0.19	7.2	0.68			200
Ethylbenzene	2.6	4.2	3.1	5.8	3.0	4.0-9.0	3.9	
m/p-Xylene	5.5	11	9.2	14	10	4.0-9.0	4.6	
o-Xylene	1.8	3.8	3.2	5.5	3.5	3.0-8.0	1.7	
Styrene	0.50	0.90	0.44	2.5	1.3		0.38	
1,2,4-Trimethylbenzene	2.5	6.7	5.1	7.8	3.9	4.0-12.0	2.0	
1,2,3-Trimethylbenzene	0.52	1.2	0.97				0.50	



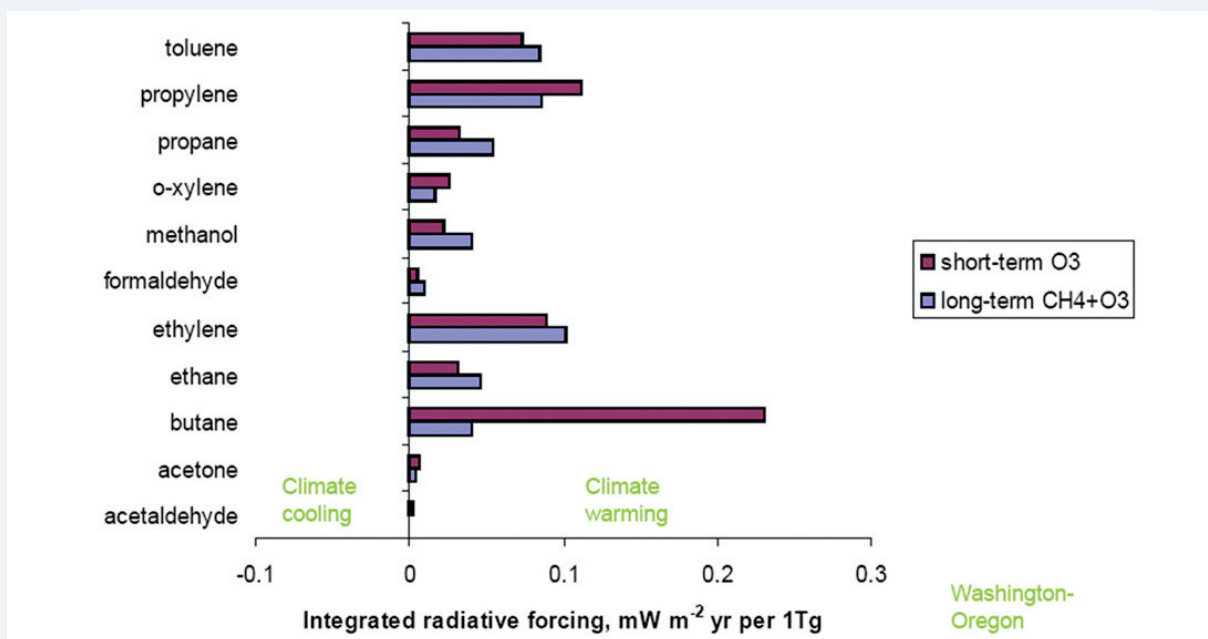
ภาพที่ 2 ความเข้มข้นของสาร 1,3-Butadiene ในพื้นที่ศึกษาเขตกรุงเทพมหานคร (ค่าเฉลี่ยรายปี ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 – กุมภาพันธ์ 2551)



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของสาร Benzene ในพื้นที่ศึกษาเขตกรุงเทพมหานคร (ค่าเฉลี่ยรายปี ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 – กุมภาพันธ์ 2551)

ผลจากการประเมินศักยภาพการเกิดก๊าซไอโซนจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศบริเวณริมถนนและบริเวณที่อยู่อาศัยโดยใช้ Maximum incremental reactivity ดังตารางที่ 3 พบว่า บริเวณริมถนนมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีศักยภาพในการเกิดก๊าซไอโซนในบรรยากาศ 5 อันดับแรก ได้แก่ Propene, Toluene, m,p-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene และ o-Xylene ส่วนบริเวณที่อยู่อาศัยมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีศักยภาพในการเกิดก๊าซไอโซนในบรรยากาศ 5 อันดับแรก ได้แก่ Toluene, Propene, m,p-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene และ Hexanal โดยผลการศึกษานี้มีสาร Toluene, Propene และ o-xylene สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dick Derwent เกี่ยวกับความเชื่อมโยงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับภาวะโลกร้อนโดยพิจารณาจากค่า Integrated radiative forcing พบว่าสาร Toluene, Propene (Propylene) และ o-Xylene มีบทบาททำให้เกิดก๊าซไอโซนทั้งในระยะสั้นและระยะยาวและมีโอกาสทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ เนื่องจากมี Integrated radiative forcing อยู่ในช่วง 0-0.1 mWm⁻²yr per 1Tg

ซึ่งอยู่ในโซน Climate warming ดังภาพที่ 4 และเมื่อเปรียบเทียบสารในกลุ่มอะโรมาติกทั้งในบริเวณริมถนนและบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า Toluene และ m,p-Xylene มีบทบาท (contribution) ในการที่จะก่อให้เกิดก๊าซไอโซนในบรรยากาศสูงกว่าสารชนิดอื่นในกลุ่มอะโรมาติก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hoshi J. ในประเทศญี่ปุ่น^[17] อนึ่ง ก๊าซไอโซนในชั้นบรรยากาศในธรรมชาติโดยปกติมีความเข้มข้นประมาณ 10-20 ppb แต่ก๊าซไอโซนที่ตรวจวัดในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่หลายแห่งในเขตกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่มีค่าความเข้มข้นมากกว่า 20 ppb และในแต่ละปีมีหลายครั้งที่มีค่าความเข้มข้นมากกว่า 100 ppb ซึ่งเกินเกณฑ์ค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานก๊าซไอโซนในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เท่ากับ 100 ppb)^[18,19] จากการศึกษาของ Ramannathan และคณะ 1987 พบว่า การเพิ่มขึ้นของก๊าซไอโซนในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ 15% ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 0.1 องศาเซลเซียส^[20] ดังนั้นปริมาณก๊าซไอโซนในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 15% ก็มีโอกาที่จะทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นได้



ภาพที่ 4 แสดงความเชื่อมโยงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับภาวะการเกิดก๊าซโอโซนและโอกาสการเกิดภาวะโลกร้อน (ที่มา: Dick Derwent, R dScientific, UK, June 2009)

ตารางที่ 3 ประเมินศักยภาพการเกิดก๊าซโอโซนจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเขตกรุงเทพมหานครและเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

ชนิดของสาร VOCs	Ozone generation (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
	พื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร		บริเวณริมถนน เมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ^[17]
	บริเวณริมถนน	บริเวณที่อยู่อาศัย	
Propene	224	106	
Toluene	154	128	220
m,p-xylene	81	40	120
1,2,4-Trimethylbenzene	48	18	80
o-Xylene	29	13	44
Isobutene	25	6.9	29
Cyclopentane	21	11	
Hexanal	17	17.8	
Pentane	15	7.62	31
1,2,3-Trimethylbenzene	14	5.9	34
Ethylbenzene	13	7.6	32
Isoprene	11	12	29
1,3-Butadiene	8.0	2.9	22
Benzene	6.3	3.2	7.0

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนที่ตรวจวัดในเขตกรุงเทพมหานครและเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ชนิดของสาร VOCs	พื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร			บริเวณริมถนน เมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ^[17]
	บริเวณที่อยู่อาศัย	บริเวณริมถนน	บริเวณทั่วไป	
CFC11*	1.4	1.5	1.4	1.6
CFC12*	3.6	3.9	3.3	3.1
CFC113	0.56	0.57	0.57	0.71
CFC114	0.08	0.09	0.10	0.16
Carbon tetrachloride	0.54	0.56	0.53	0.64
HCFC22*	3.2	2.9	2.2	1.9
Chloromethane	2.5	2.3	2.2	1.5
1,1,1-Trichloroethane	0.04	0.06	0.05	0.21

Note: * หมายถึง Greenhouse gas

ผลการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มที่จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกและสารที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนในเขตกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 4 พบสาร CFC 11, CFC 113, CFC 114 และ Carbon tetrachloride ซึ่งเป็นสารที่ถูกยกเลิกการนำเข้าและการใช้งาน เมื่อ ปี พ.ศ. 2539^[21] ยังสามารถตรวจพบในบรรยากาศในบริเวณที่อยู่อาศัย บริเวณริมถนน และบริเวณทั่วไปในพื้นที่ศึกษาเขตกรุงเทพมหานคร และบริเวณริมถนนเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น แต่มีค่าค่อนข้างต่ำและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารดังกล่าวมีอายุ (Lifetime) ยาวนานและมีความเสถียร (Stable) ในบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนสาร CFC 12 พบว่ามีความเข้มข้นสูงในบริเวณริมถนน อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากการใช้สาร CFC 12 เป็นตัวทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศของรถยนต์ และพบสาร HCFC 22 มีความเข้มข้นสูงในบริเวณที่อยู่อาศัย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสาร HCFC 22 ส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศตามอาคารและบ้านเรือน และมีความเข้มข้นสูงกว่าประเทศญี่ปุ่นประมาณ 1.7 เท่า เนื่องจากอาจเป็นเพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนมีการใช้เครื่องปรับอากาศมากกว่า

ประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้สารทั้ง 2 ชนิด ยังมีการนำเข้าและใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของสารทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่าค่อนข้างสูงกว่าสารชนิดอื่นในกลุ่มก๊าซเรือนกระจกและสารที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ข้อสรุปจากผลการวิจัยนี้พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางตัวเป็นสารที่มีผลก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ ควรมีการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งควรหามาตรการในการจัดการควบคุมแหล่งกำเนิด ดังนี้

- สาร Benzene และ 1,3-Butadiene โดยเฉพาะจากบริเวณริมถนน เนื่องจากเป็นสารประเภทก่อมะเร็งและมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้
- สาร Propene, Toluene, m-p-Xylene, o-Xylene และ 1,2,4-Trimethylbenzene เนื่องจากมีความเข้มข้นสูงและมีศักยภาพในการเกิดก๊าซโอโซนสูง
- สาร CFC 12 และสาร HCFC 22 เนื่องจากมีความเข้มข้นสูงและเป็นสารชนิดทำลายชั้นโอโซนและเป็นก๊าซเรือนกระจกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารระดับสูงและเจ้าหน้าที่ของกรมควบคุมมลพิษ ฐานทัพเรือ สำนักงานเขตดอนเมืองและคณะอาจารย์ทุกท่านจากโรงเรียนบางกะปิสุขุมวิทพณิชยการ โรงเรียนบ้านหนองบอน และโรงเรียนประชานุกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกแก่เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ และขอขอบคุณ ดร. วณิศา สุรพิพิธ สำหรับข้อมูลการเชื่อมโยงการจัดการคุณภาพอากาศกับสภาวะโลกร้อน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] VOC Definition in Europe (Online) Available from <http://www.legaltaxtext.ee/text/en/PH2786.html>
- [2] Volatile organic compounds definition per 40 CFR part 51.100 (s) (as amended through January 21,2009. (Online) Available from www.arb.ca.gov/ei/speciate/voc_rog_dfn_11_04.pdf
- [3] กรมควบคุมมลพิษ รายงานฉบับสมบูรณ์การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, 2543.
- [4] Bloemen, H.J Th., and Burn, J., 1993. Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 290.
- [5] Jeremy C., Air pollution second edition. London and New York.
- [6] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 เล่ม 124 ตอนพิเศษ 143 ง ราชกิจจานุเบกษา 28 กันยายน 2550 เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี
- [7] ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เล่ม 126 ตอนพิเศษ 13 ง ราชกิจจานุเบกษา 27 มกราคม 2552 เรื่องกำหนดค่าเผื่อระเหยง่ายสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง
- [8] John H.S, Spyros N.P. 1998. Atmospheric chemistry and physics for air pollution to climate change. Wiley Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc.
- [9] William P.L. Carter. 1994. Documentation of the SAPRC99 Chemical mechanism for VOC reactivity assessment.
- [10] Kwangsam Na, Yong Pyo, Kim. 2001. Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea. Atmospheric Environment. 35, 2603-2614.
- [11] Hoshi, J, Amano, S, Sasaki, Y, Korenaga, T, 2008. Investigation and estimation of emission sources of 54 volatile organic compounds in ambient air in Tokyo. Atmospheric Environment. 42: 2383-2393.
- [12] Scheff P. A., Wadden R. A. 1993. Receptor modeling of volatile organic compounds. 1. Emission inventory and validation. Environ. Sci. Technol. 27(4): 617-625
- [13] John G. Watson, Judith C. Chow, Eric M. Fujita. 2001. Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance. Atmospheric Environment. 35: 1567-1584.

- [14] Tom R.T., Roeland F. van O., Peter L., 1999. Determination of source contributions to ambient volatile organic compound concentrations in Berlin. *J.Air&Waste Manage. Assoc.* 49. 1394-1404.
- [15] Grosjean E., Rasmussen R.A., Grosjean D., 1998. Ambient levels of gas phase pollutants in Porto Alegre, Brazil, *Atmospheric Environment*. 32,(20), 3371-3379.
- [16] Hsieh Chu-Chin and J.-H. Tsai. 2003. VOC concentration characteristics in Southern Taiwan. *Chemosphere* 50.545-556.
- [17] Junya Hoshi. 2007. Evaluation of the environmental risk of volatile organic compounds (VOCs) monitoring in the urban atmosphere and its application to estimate emission sources.
- [18] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ 2549
- [19] กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย 2551
- [20] Ramanathan V. et al. 1987. Climate-chemical interactions and effects of changing atmospheric trace gases. *Rev. Geophys.* 25. 1441-1482.
- [21] Yuchi F. and Stephen A. Methodological and technological issues in technology transfer. Case study 23: CFC-free refrigerator in Thailand. Intergovernmental Panel on Climate Change.



Seasonal and Diurnal Concentrations of Carbonyl Compounds in Bangkok Ambient Air

Daisy Morknoy, Wanna Laowagul, Plernpis Pongprayoon, Hathairatana Garivait and Onjeereeya Rinsarn

Abstract

The concentration level of carbonyl compounds in Bangkok ambient air were measured in 5 roadside sites and 5 residential sites during July 2007 to April 2008. About 250 samples were collected and 10 carbonyls were identified. Formaldehyde and acetaldehyde, were the most abundant carbonyl compounds found in Bangkok ambient air. The ambient concentrations of formaldehyde at the roadside areas in Bangkok during July 2007 to April 2008 ranged from 5.14 to 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 11.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) while, the ambient concentrations of formaldehyde in residential areas during the same period ranged from 3.06 to 19.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 9.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The concentrations of acetaldehyde in roadside areas ranged from 1.59 to 7.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 3.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) while at the residential areas the concentrations of acetaldehyde during the same period ranged from 1.07 to 8.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 3.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Other compounds showed low concentrations. The concentrations of formaldehyde and acetaldehyde were low during the rainy season due to rain washout since these compounds are water soluble. The concentrations were high during the cold season due to stable conditions during these months. Formaldehyde and acetaldehyde showed good correlation during 05:00 P.M. to 05:00 A.M. due to absence of solar radiation that may enhance photochemical reactions and mobile sources may be the sources of emission in the environment.

Keywords: Formaldehyde, acetaldehyde carbonyl compounds, ambient air

1. Introduction

Carbonyl compounds are emitted into the atmosphere from industrial sources and automobile exhaust through incomplete combustion processes. They are also formed indirectly by atmospheric photo-oxidation of volatile organic compounds emitted from anthropogenic and natural sources as explained by Possanzini, M., et al., 2002; Grosjean, E., et al., 1996. The presence of carbonyl compounds in the atmosphere has been related with health effects especially formaldehyde and acetaldehyde which were classified by Coglian, V.J. et al., 2005 as carcinogenic. According to Finlayson-Pitts and Pitts (1986), carbonyl compounds and their reaction products participate in the formation of peroxyacetyl nitrate and ozone which are recognized as significantly potential contributors to photochemical pollution. Since some carbonyls such as formaldehyde and acetaldehyde are water soluble, significant concentrations have been measured in fogs and clouds as experimented by Grosjean, D. and Wright, B., 1983. Photolysis of aldehydes can be a major source of hydroxy radicals during the day as observed by Possanzini,

M., et al. 2002; Hellen, H., et al., 2004. Considering the important roles of carbonyl compounds in atmospheric chemistry and their negative impact on human health, the concentration of atmospheric carbonyls and their variability can be an effective indicator reflecting the status of local photochemical activity and air pollution.

Bangkok, is a highly populated city, therefore air pollution from the transportation sector is one of the major problems, especially volatile organic compounds particularly carbonyl compounds. Since 2004, Thai government introduced ethanol blended fuel or gasohol (ethanol 10% and gasoline 90%). At present most cars in Thailand are fuelled with ethanol-gasoline blended fuel, and it is quite difficult to find regular gasoline sold in the gas stations. Research study conducted by the Pollution Control Department showed that up to 127% of acetaldehyde was emitted directly from the exhaust pipes of vehicles fuelled with gasohol as shown in Table 1.

Product studies showed that the major product from the reaction of ethanol with OH radicals is acetaldehyde with a formation yield of about 80%. The other possible minor products

Table 1 Emission of toxic air pollutants from cars using gasohol in Thailand

Air Toxic Pollutants	Emission changes from cars using gasohol compared to gasoline
Benzene	-12.86%
1,3 Butadiene	-55.71%
Ethylbenzene	122.34%
Xylene	177.07%
Toluene	6.20%
Formaldehyde	20.72%
Acetaldehyde	127.27%

Source : Measurement of toxic air pollutants from gasohol fuelled cars. Executive Summary. Pollution Control Department, April 2008.

include formaldehyde and methyl nitrate (Grosjean, 1998). Once formed from the atmospheric reaction of ethanol with OH radicals, acetaldehyde is rapidly consumed by photolysis and by reaction with OH radicals. Photolysis leads to formation of CO and formaldehyde while reaction with the OH radical leads to PAN by the following process:



The acetyl (CH_3CO_3) radical also reacts with NO to form CH_3CO_2 and NO_2 . In addition, PAN decomposes back to CH_3CO_2 and NO_2 in a reaction that increases at higher temperatures. Ambient concentrations of PAN are a function of ambient temperature, the NO_2 -to-NO ratio, and the concentration of the acetyl radical precursor.

Unfortunately, there were no measurements performed on the ambient concentration of carbonyl compounds before the introduction of ethanol - gasoline blended fuels in Thailand. There were several studies conducted for many air pollutants, however, no reported studies has been done for the carbonyl compounds especially their characteristics in a tropical country where heavy rains were experienced during the rainy season, and extreme temperature during summer season. This study was conducted to measure the spatial concentration of carbonyl compounds in Bangkok as well as to determine their seasonal and diurnal variations which will serve as preliminary information for carbonyl compounds during the introduction of ethanol blended fuels.

2. Analytical procedures

2.1 Site description

Bangkok is the 68th largest region in Thailand covering an area of 1,568.7 km² that lies about 2m above sea level. Geographical location of Bangkok is 13° 45' N, 100° 31' E. Absolute maximum temperature is 40 °C and absolute minimum temperature is 18 °C. Bangkok's temperatures range from 28-38 °C in summer March to June. The cold season falls in November to February and the rainy season begins in mid June and continue through to October.

2.2 Sampling and analysis

Ambient air samples were collected at 10 sites in Bangkok urban area. The sites were divided into 5 residential stations namely, Bangkapi Sukum School (RS1), Bodin Decha School (RS2), Wat Singh (RS3), Bangkok Naval base (RS4), and Prachanukul School (RS5). The roadside areas were: Don Muang District Office (RO1), Department of Transportation (RO2), Chokchai 4 Police Station (RO3), Dindaeng (RO4), and Bannongbon School (RO5). The criteria for selecting the sites are traffic density for roadside and population for residential sites. Map of the sampling site is shown in Figure 1. Ambient air samples were collected using a mini pump (Sibata Σ30, Japan) through the active DNPH cartridge (Wako, Japan). An ozone scrubber (Supelco.Co., USA) was attached to the upstream of the DNPH active cartridge to protect from ozone interference. A heater (GTH 100, GL Science, Japan) was also provided to the collection system to prevent moisture

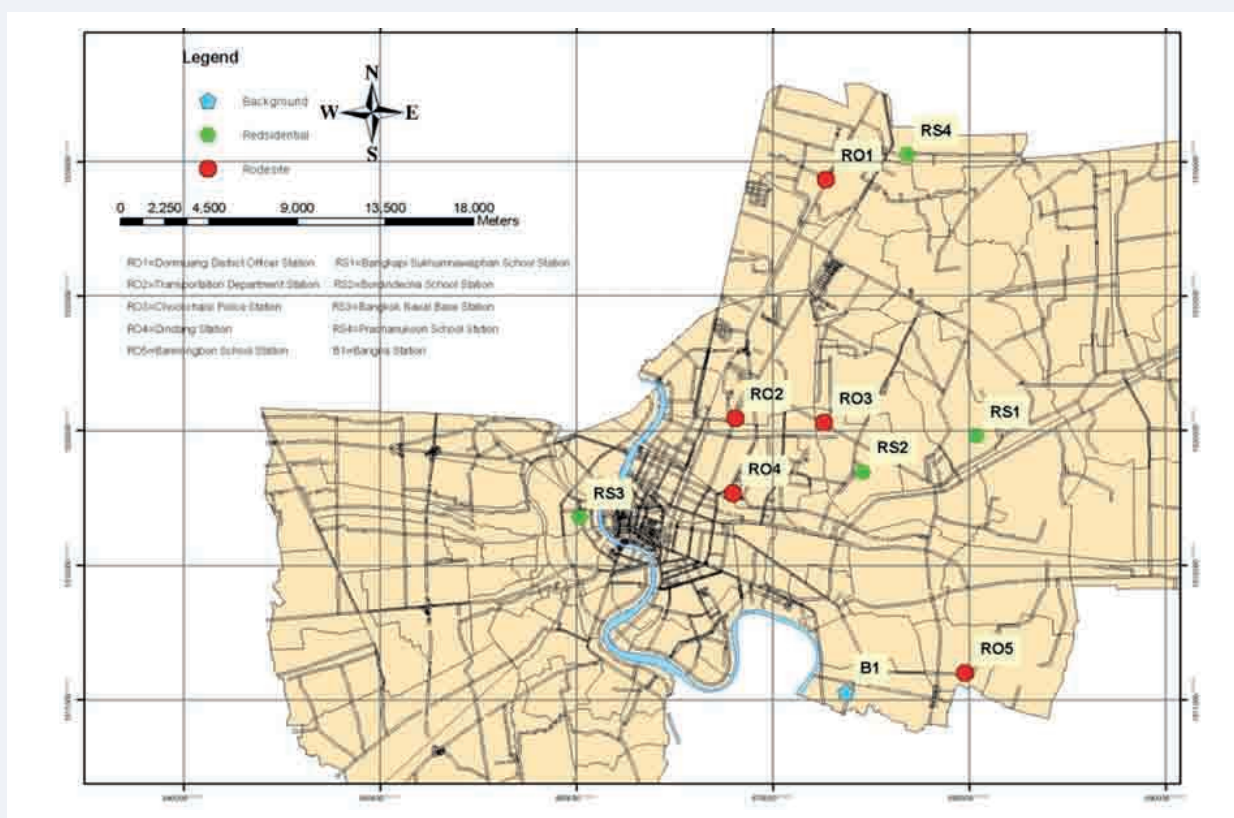


Figure1 Map of Bangkok showing the 10 sites

during sampling. Samples were collected for 24 hours at a flow rate of 100 ml/min. After sampling, the samples were extracted with 5 ml acetonitrile (HPLC grade, JT. Baker, UK). The extract was collected in a 5 ml volumetric flask (grade A Pyrex, Germany) and adjusted the final volume to 5 ml by acetonitrile (HPLC grade, J/T. Baker, UK). A 25 μ L aliquot was injected into the HPLC system (LC Solutions, Shimadzu, Japan) through an autosampler. The HPLC column was Discovery RP Amide C16 reverse column 250 cm, x 4.6 mm, 5 μ m packing (SUPELO, USA); the gradient mobile phase 55/45% ACN/Water. The mobile phase flow rate was 1.0 ml/minute; the detector was UV detector and the wavelength was 360nm. Carbonyl standard solution was purchased from

SUPELCO company which consisted 15 carbonyl compounds. A 5 point calibration curve was prepared for the analysis.

2.3 Quality assurance and quality control

For every analysis, all solvents used were tested for carbonyl impurities. Three blank DNPH active cartridges were also analyzed for every new lot of cartridge. Any new lot of cartridge containing carbonyl compounds above the detection limit will be discarded. For every sampling period at least 2 sampling areas should selected for duplicate sampling; 1 site for residential area, and 1site for roadside area. The percent difference for each duplicate sample were within 20% difference. Identification and quantification of carbonyl compounds were based on their retention times and peak areas.

The calibration curve used for quantification consists of 5 levels ranging from 0.005 $\mu\text{g}/\text{ml}$ to 1.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ and the $R^2 \geq 0.999$ for all the carbonyl compounds under study. Daily calibration was done to check the stability of the instrument by injecting the 3rd level of the calibration standard. Instrument Detection Limit (IDL) and Instrument Quantification Limit (IQL) were determined by injecting seven replicates of 0.01 $\mu\text{g}/\text{ml}$ mix carbonyl standard solution. The SD was calculated and 3SD was set as IDL and 10SD was set as IQL. The IDL under this study ranges from 0.01 $\mu\text{g}/\text{ml}$ to 0.05 $\mu\text{g}/\text{ml}$ and the IQL ranges from 0.03 $\mu\text{g}/\text{ml}$ to 0.10 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

3. Results and discussion

3.1 Spatial concentration of carbonyl compound in Bangkok ambient air

The carbonyl compounds found in Bangkok were formaldehyde, acetaldehyde, acetone, butyraldehyde, propionaldehyde, crotonaldehyde, benzaldehyde, isovaleraldehyde, valeraldehyde and hexanaldehyde. The most abundant carbonyl compound found in roadside and residential areas was formaldehyde, acetone and acetaldehyde. The ambient concentrations of formaldehyde at the roadside areas in Bangkok during July 2007 to April 2008 ranged from 5.14 to 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 11.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) while, the ambient concentrations of formaldehyde in residential areas during the same period ranged from 3.06 to 19.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 9.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The concentrations of acetaldehyde in roadside areas in Bangkok during July 2007 to April 2008 ranged from 1.59 to

7.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 3.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) while at the residential areas the concentration of acetaldehyde during the same period ranged from 1.07 to 8.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 3.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Formaldehyde concentration constituted about 35% of all the carbonyls, Acetone ranked the second which constituted about 30%, while acetaldehyde ranked the third which constituted about 11%, other carbonyls showed low concentrations.

At the roadside areas, formaldehyde and acetaldehyde showed high concentrations especially at Dindaeng and Chokchai 4 due to high traffic density in these areas. This would imply that the formation process of formaldehyde and acetaldehyde would come directly from vehicle emission as well as products of photochemical reactions. Therefore, in areas where high traffic density was observed such as Dindaeng and Chokchai 4, the concentrations of formaldehyde and acetaldehyde would be high. Relatively, at the residential areas, where traffic density was low it was expected that formaldehyde and acetaldehyde showed lower concentrations, however, there were possibilities that high concentration of aldehydes in these areas were caused by photochemical reactions. The concentration of carbonyl compounds in the roadside area is shown in Figure 2 and the concentrations of carbonyl compounds in the residential areas is shown in Figure 3.

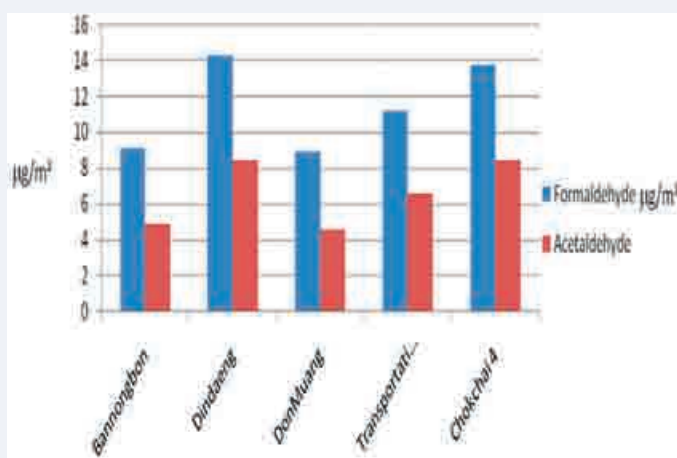


Figure 2 Concentration of carbonyl compounds in roadside areas in Bangkok.

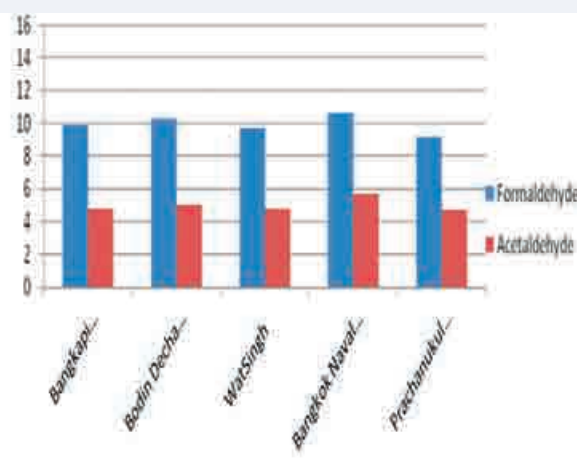


Figure 3 Concentration of carbonyl compounds in residential areas in Bangkok.

The concentration distribution showed that the highest frequency of formaldehyde and acetaldehyde were 9, and 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively which constituted about 21% and 25% respectively of all the aldehydes data, as shown in Figure 4 and Figure 5. In areas where traffic

density was high and the ambient temperature was high, formaldehyde concentration increased up to 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, which constituted about 7% and acetaldehyde concentration increased up to 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, which constituted about 5% of all the aldehydes data in Bangkok.

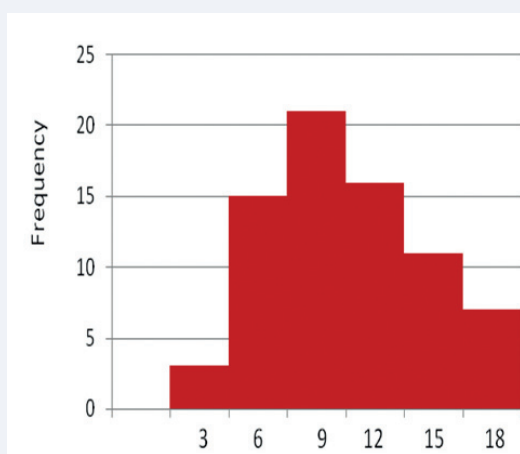


Figure 4 The concentration frequency of formaldehyde in Bangkok.

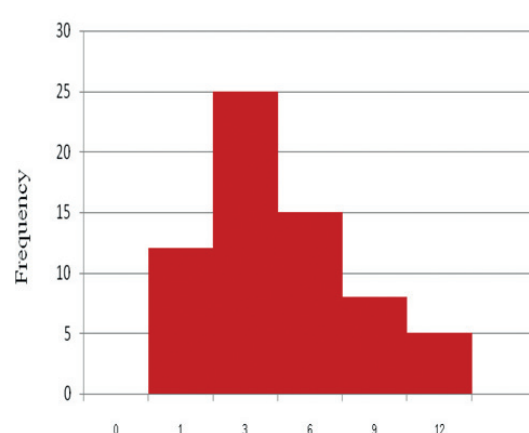


Figure 5 The concentration frequency of acetaldehyde in Bangkok.

3.2 Correlations of formaldehyde and acetaldehyde in roadside areas in Bangkok

The correlations between formaldehyde and acetaldehyde at the roadside areas were also measured by collecting ambient air samples at different time periods. Good correlations between formaldehyde and acetaldehyde were obtained especially during 17:00-05:00 as shown in Figure 6, which may explain that these two compounds were produced by vehicular emissions. It was also found that the concentration of formaldehyde and acetaldehyde were 2 times higher in the daytime time as shown in Figure 7. These findings coincides with Possanzini, M.,

et al., (1996) explanations that formaldehyde showed high concentrations in the daytime due to vehicular exhaust as well as the reaction rates by photochemical generation under high solar radiation, while during night time period there was no solar radiation and in turn least photochemical reactions making vehicular emissions the major source. Possanzini et al.1996, further explained that high correlations between most carbonyl compounds were found during 18:00-21:00 which was the time period with the lowest solar radiation that enhance photochemical reactions.

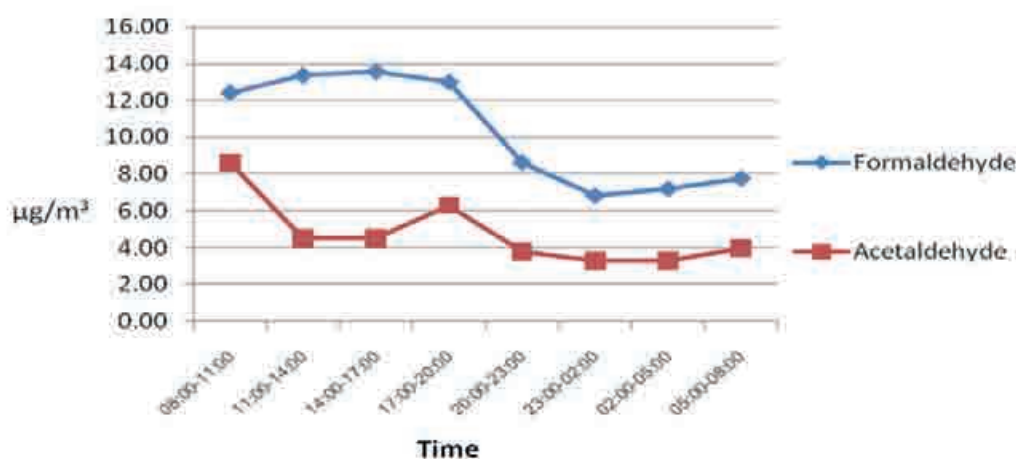


Figure 6 Correlations between formaldehyde and acetaldehyde

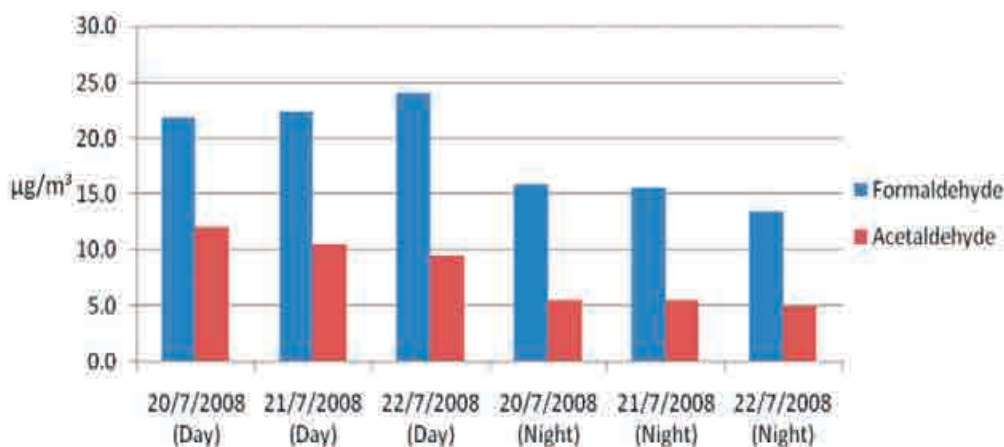


Figure 7 Diurnal concentration of formaldehyde and acetaldehyde in DonMuang

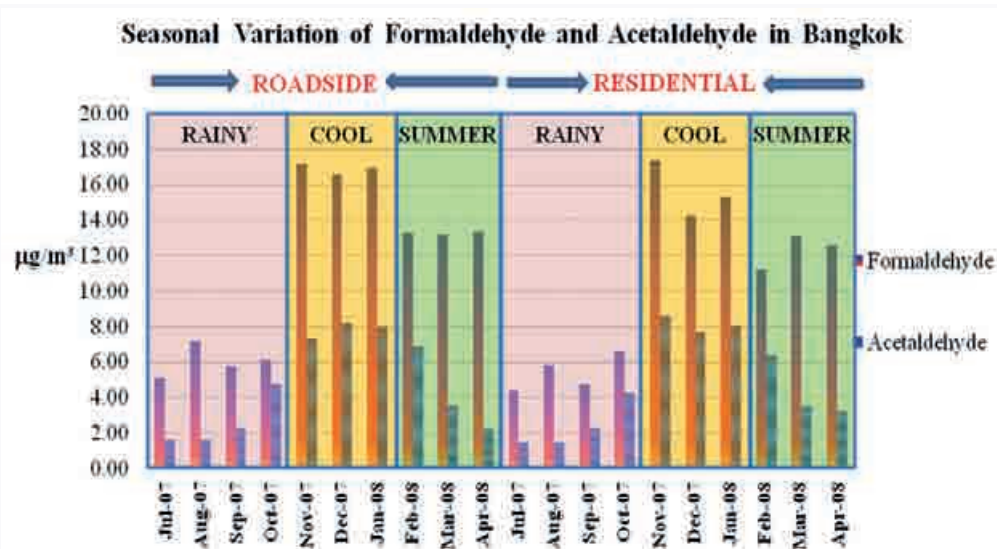


Figure 8 Seasonal variations of formaldehyde and acetaldehyde in Bangkok

3.3 Seasonal variations of carbonyl compounds in ambient air

Bangkok has a tropical monsoon climate under the Koppen climate classification system. Absolute maximum temperature is 40°C during summer March to June and absolute minimum temperature is 11°C during the cold season, November to February. Bangkok is said to have the highest average temperature of any city in the world. The rainy season begins in mid June and continue through to October. The average monthly rainfall in Bangkok during the rainy season is 399 mm.

Under this study, the concentration of formaldehyde and acetaldehyde were low during the rainy season (July–October) which is maybe due to rain washout. Some studies revealed that wet precipitation may give a little effect to the concentration of carbonyl compounds. However, in this study it was found that rain significantly decreased the concentration of carbonyl compounds in the ambient air in Bangkok. These findings implies that wet precipitation plays an important role in the removal of

atmospheric water soluble carbonyls. The concentration becomes almost 3 times higher during the cold season (November to February) due to absence of rain and the meteorological conditions are more stable which favors

photochemical reactions. As explained by (U.S. EPA, 1993), that under clear sky conditions, the residence time of formaldehyde and acetaldehyde is determined primarily by their reaction with OH radicals, with photolysis accounting for a negligible percent removal. The concentration slightly decrease during the summer season (March–June) which is maybe due to photochemical reactions or photolysis under high temperatures during the summer season. Factors influencing carbonyl compounds' atmospheric lifetime, such as time of day, sunlight intensity and temperature, also include those affecting the availability of hydroxyl radicals and nitrate radicals. Some studies conducted in temperate countries explained that the concentration of carbonyl compounds were higher during summer than winter, which is quite different from this study (tropical country) in which the concentration of carbonyl compounds were high during the cold season and decreased during the hot summer. The seasonal variations of formaldehyde and acetaldehyde in Bangkok is shown in Figure 8

3.4 Correlations of formaldehyde and acetaldehyde with CO and Ozone

The correlations among formaldehyde, acetaldehyde, ozone, and carbon monoxide was evaluated from the samples collected at Dindaeng since this site has a high traffic density. The results showed that good correlations between formaldehyde and ozone was observed, as shown in Figure 9. This may explain that formaldehyde was primarily produced by atmospheric photo-oxidation processes, of volatile organic compounds emitted from vehicles. Formaldehyde is also emitted from vehicular exhaust as shown in Figure 10, Acetaldehyde showed good correlations with carbon monoxide, as shown in Figure 11, which may explain that acetaldehyde was emitted from vehicular exhaust due to incomplete combustion process of ethanol blended fuels, since the fuel used in Thailand were mostly ethanol blended fuels.

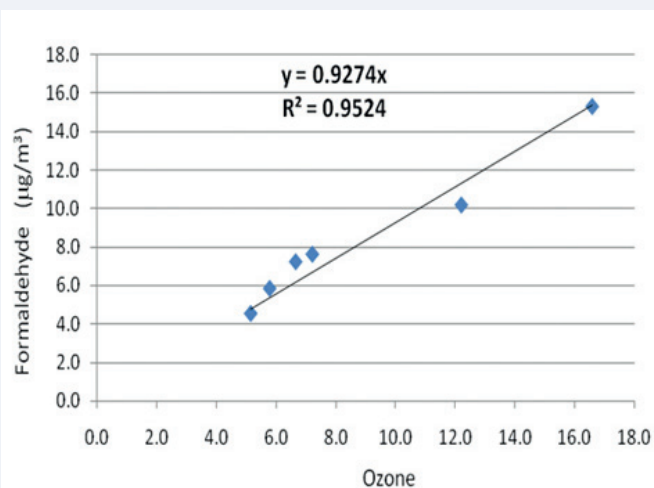


Figure 9 Correlation of Formaldehyde with O3 in Dindaeng

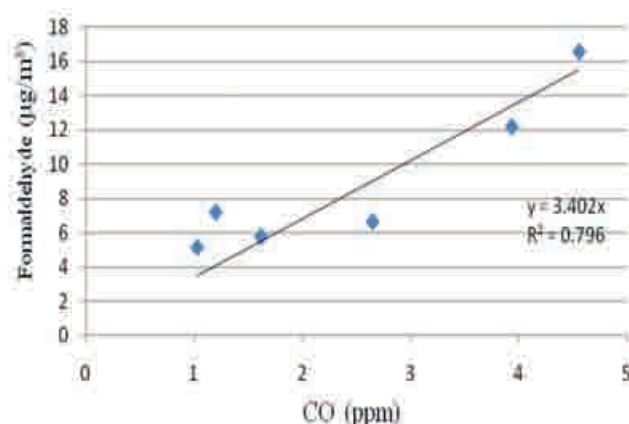


Figure 10 Correlation of Formaldehyde with CO in Dindaeng

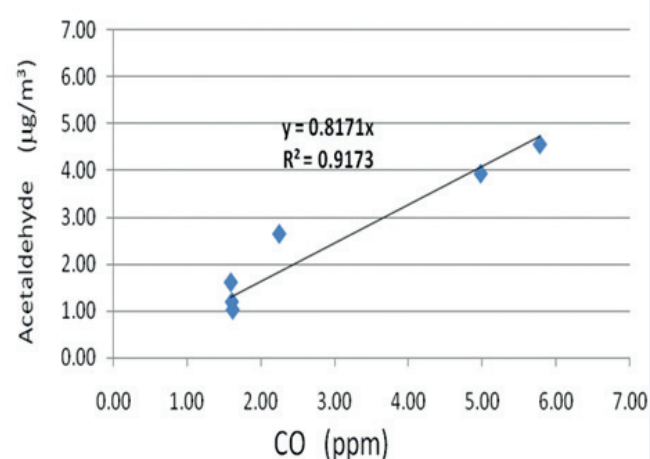


Figure 11 Correlation of Acetaldehyde with CO in Dindaeng

4. Conclusions

The concentrations of formaldehyde and acetaldehyde in Bangkok ambient vary according to season which explains the effects of temperature, humidity, wind, and precipitation. Wet precipitation significantly decreased the concentrations of carbonyl compounds in the ambient air in Bangkok. These finding implies that

wet precipitation plays an important role in the removal of atmospheric water soluble carbonyls in tropical countries where heavy rains occurs during the wet season. The concentrations of formaldehyde and acetaldehyde were high especially during cold season due to lower temperature and more stable wind velocity that allow minimum dispersion of pollutants. The concentration of these compounds during summertime slightly decreased maybe due to photolysis of these compounds under extreme temperatures. The concentrations of formaldehyde and acetaldehyde were 2 times higher in the daytime which may explain that photochemical formation may contribute to one half of the total concentration of these compounds in Bangkok's ambient air.

5. Recommendations for the improvement of air quality in Bangkok.

The government's policy to replace the conventional gasoline to gasohol will cause high concentration of carbonyl compounds especially formaldehyde and acetaldehyde. In order to improve the air quality in Bangkok, some strategy and mitigation measures should be emphasized such as:

5.1 Agenda Setting

Emphasis was given on health effects since air pollution has a direct impact on public health either acute or chronic effects. In Thailand, the major groups affected by air pollution are those people living in highly congested urban areas which constitutes a large portion of the population. Many researches revealed that drivers

of public use transportations, traffic policeman, sidewalk vendors and people living near main road and streets in urban areas in Thailand has been experiencing serious health impacts due to air pollution.

5.1.1 Cost and Benefits

Costs

Cost to develop technology in the development of alternative fuel.

Cost to adopt new technology for maintenance and inspection of in-use vehicles.

Cost for consultants and experts on biodiesel.

Cost to develop technology, intensive campaign and promotion on the use of alternative fuels.

Benefits

Air quality in Thailand will be improved. Decrease the number of respiratory illness in Thailand.

Vehicular accidents due to visibility problems will be reduced.

Attract more tourist to visit Thailand.

The government will save some budget that are used for curing sick people and enormous research project on air pollution monitoring.

5.2 Policy Formulation

In order to reduce vehicle emission that could impact the health of the people, we as policy makers propose the following policies. For in-use vehicles, which requires a system of

engineering approach that includes a rigorous Inspection/Maintenance program, proper catalyst or other effective device, optimized catalyst location and appropriate quality of fuel.

To ban the entry of polluting vehicles in certain areas.

To enforce manufacturing companies to manufacture additive's effectiveness corresponding to the vehicle types in which it will be used to avoid the introduction of new pollutants.

Age limits on public transport vehicles, other commercial vehicles, and motorcycles. And government should provide adequate incentives to encourage such phase-out programs.

Policy legislation

After the policy has been initially reviewed to check its relation with existing national policies, the policy makers will invite interested citizens to express their ideas and opinions to the proposed policy. This may take several weeks to get a complete information from the public. After all the ideas and opinions has been compiled, it will be again be reviewed by the policy makers to make some changes or improvements which are deemed necessary. Then the proposed policy is submitted to the congress for discussion and debate. Whatever changes or additional information the congress requires, the policy makers will take action after it is returned to the policy makers. After making the necessary corrections the proposed policy is again submitted to the congress for final checking before submitting to the King for approval and signing and finally countersigned

by the Prime Minister before its implementation.

5.3 Policy Implementation

Thailand has a large volume of in-use vehicles that are very old but still in use in both urban and rural areas. These vehicles are obviously identified as the major sources of pollution. In order to get an effective policy implementation the following guidelines are set.

5.3.1 Inspection and maintenance

(I/M)

1. Strict enforcement of inspection and maintenance every 6 months for vehicles that has been in-use for more than 10 years.
2. Strict enforcement of inspection and maintenance once a year for all vehicles that has been in use for 5-10 years.
3. All inspection and maintenance procedures concerned should be conducted by the government agency and no private companies should be involved.
4. Inspection and maintenance programs should include measurement of CO, HC, NO_x, PM, Formaldehyde and Acetaldehyde from the exhaust emission of the vehicles.
5. Vehicles that fail to meet the emission standard are not allowed to apply for vehicle annual registration until they meet the emission standards.
6. As vehicle technology advances more sophisticated more tests procedures are necessary.

5.3.2 New vehicle standards

New vehicle standards based on a type approval process tend to be the main force that stimulates the introduction of cleaner vehicle technologies and most effective method to reduce average emissions over time. With regard to new vehicle standards for motor vehicle, the following policies are recommended:

1. The government should adopt type approval standards for new vehicles.
2. The government must look beyond standards and should consider leapfrogging to emissions standards adopted by type approval standards for new vehicles.
3. Develop Standards to enhance environmentally friendly vehicles that reflects the lowest levels of technologically feasible should be adopted; vehicles meeting such standards should be encouraged through incentives.
4. The responsibility for issuing new vehicle emissions standards should rest with the national government.
5. Development of new vehicle emissions standards that are based on transparent processes, which promotes broad based participation in their development.

5.3.3 Alternative fuels

In addition to conventional gasoline and diesel fuels, many countries around the world have identified significant benefits associated with a shift to alternative fuels, especially CNG, LPG, gasohol and

biodiesel. Besides CNG (mainly composed of methane) and LPG (composed of propane or butane), alternative fuels include methanol, ethanol, hydrogen, electricity, vegetable oils (including bio-diesel), synthetic liquid fuels derived from coal, and various fuel blends such as gasohol.

Natural gas

Natural gas (85-99% methane) is clean burning, and cheap. Because natural gas is mostly methane, natural gas vehicles (NGVs) have much lower non-methane HC emissions than gasoline vehicles, but higher methane emissions. Since the NGV fuel system is sealed, there are no evaporative emissions and refuelling emissions are negligible. The use of Natural gas reduces both VOC and CO emissions.

Liquefied Petroleum Gas

Engine technology for LPG vehicles is very similar to that for NGVs. As a fuel for spark-ignition engines, it has many of the same advantages as natural gas, with the additional advantage of being easier to carry aboard the vehicle. The cost of conversion from gasoline to propane is considerably less than conversion to natural gas, due primarily to lower cost fuel tanks.

Methanol

Light-duty methanol vehicles have NO_x and CO emissions similar to gasoline vehicles. VOC emissions are roughly half those of gasoline vehicles, and

lower ozone reactivity of VOC results in lower ozone impacts. Emissions of formaldehyde (a primary combustion product of methanol) are higher than those from gasoline or other alternative-fuelled vehicles but can be controlled with a catalyst.

Ethanol

Ethanol is produced primarily by starch fermentation from grains (mostly corn) or sugar from sugar cane. It is most commonly used as an oxygenate in reformulated gasoline and in a gasoline blend called “gasohol”. These fuels can be burned in gasoline engines, but specialized engines are necessary to burn pure ethanol. In engines burning reformulated gasoline using ethanol, VOCs and CO are reduced but NO_x tends to increase slightly. Vehicles burning gasohol will emit slightly more GHG emissions than conventional gasoline-fuelled vehicles. The high cost of producing ethanol (compared to hydrocarbon fuels) remains the primary barrier to its widespread use.

5.3.4 Fuel quality standards

In setting fuel quality standards, the following general principles are set:

1. Implementing a successful systems approach to set fuel standards requires institutional mechanisms that include a variety of stakeholders from government, private sector and civil society, and allows for extensive consultation.

2. Environmental and public health concerns are the driving force behind improvements in fuel quality, thus the Ministry of Natural Resources and Environment should have a major role in setting fuel standards.

3. The government should develop a short and medium-term strategy that identifies standards to be adopted over the next several years, so as to allow fuel providers and the vehicle industries sufficient time to adopt.

4. In developing fuel standards, the government should attempt to work closely with neighboring countries and harmonize standards where possible. should not, however, be used as an excuse for delaying or watering down requirements, as harmonization does not mean that all countries must follow the same time schedule.

5. In order to implement stricter fuel standards and make associated costs more acceptable to consumers, the government should institute more and better awareness campaigns. Such campaigns must emphasize the public health consequences of not improving fuel quality.

6. Subsidies that favor fuels which produce high emissions will be eliminated; tax exemption which encourages the use of the cleanest fuels, will be adopted.

5.3.5 Promotion, awareness, education
Public attitudes influence politicians and increase political will to tackle problems. The health impacts of air pollution need to be better understood and communicated as a means of influencing public attitudes. NGOs and research institutes play valuable roles in highlighting issues, conducting independent analysis, and advocating possible solutions to policymakers and implementing agencies. An open media and supporting legislation which gives the public the “right to know” are important as well. In addition, the process of public hearings should be strengthened. Promotion, awareness, and education campaigns should be based on these general principles:

1. Integrated air quality and transport plans based on sound analysis and research are needed to provide better knowledge of the health impacts of emissions. These can enhance awareness and understanding, influence public attitudes and public support, and create the necessary political will to improve air quality.
2. Freedom of the mass media and the right of the public to relevant information should be enshrined in legislation. Fair and equitable procedures for public complaints should be instituted.

Policy Evaluation

A Public seminar will be organized by the government and to be participated by representatives from concerned government and private agencies, managers from different

petroleum industries, representatives from the different vehicle manufacturing industries, representatives from the different bus operators, representatives from NGOs, public transportation drivers, professors, teachers, and interested people to participate and discuss about possibility to implement this policy in Thailand.

A Questionnaire will be sent to selected provincial offices from each region in Thailand. The representative province should be the province that is seriously affected by air pollution problems from the vehicles. For example, in the north of Thailand the representative province should be Chiang Mai. In issuing the questionnaire to correspondents we set a definite due time for the correspondents to return the questionnaires, in order to have enough time to review the data collected.

6. References

- Cogliano, V. J., Grosse, Y., Baan, K. R., Straif, K., Secretan, M.B., El Ghissassi, F. 2005. **Meeting Report: Summary of IARC Monographs on Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxy-2-propanol.** Environ Health Perspect. 113 (9), 1205-1208.
- Finlayson-Pitts, B.J.; Pitts, J.N.Jr. 1986. **Atmospheric Chemistry: Fundamentals and experimental techniques.** John Wiley and Sons, New York.
- Grosjean, D., and Wright, B. 1983. **Carbonyls in urban fog, ice fog, cloud water, and rainwater.** Atmos. Environ. 17, 2093-2098.

- Grosjean, D., and Grosjean, E. 1996. **Atmospheric chemistry of 1-octene, 1-decene, and cyclohexene:gas phase carbonyl and peroxyacyl nitrate products.** *Envi. Sci. and Technol.*, 30, 1038-1047.
- Grosjean, E.; Grosjean, D.; Gunawardena, R.; Rasmussen, R.A. 1998, **Ambient concentrations of ethanol and Methyl tertbutyl ether in Porto Alegre, Brazil, March 1996-April 1997.** *Envi. Sci. and Technol.* 32, 736-741990.
- Hellen, H., Hakola, H., Reissell, A., Ruuskanen, T. M. 2004. **Carbonyl compounds in boreal forest air in Hyytiala, Southern Finland.** *Atmos. Chem.Phys.*,4: 1771-1780.
- Possanzini, M., Di Palo, V. 2002. **Sources and photodecomposition of formaldehyde and acetaldehyde in Rome ambient air.** *Atmos. Envi.*, 36: 3195-3201.
- Measurement of Toxic air Pollutants from gasohol fuelled cars. Executive Summary, Pollution Control Department, April 2008.



ผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำต่อสุขภาพประชาชนและอาคารสิ่งปลูกสร้าง (The Effect of Low Frequency Noise on Human Health and Building Structure)

ธนาพันธ์ สุกสาธิต วิรัช เอื้อทรงธรรม ณัฐพงศ์ จันทรสมบัติ เจษฎาพร รอดพิพัฒน์
มนตรี จันเล็ก ศิวฤทธิ์ โรจนสีมานนท์ และ พิชิต วงศ์ชนกนันท์
Thannaphan Suksaard, Wirach Auesongtham, Nattapong Chansombat, Jesdaporn Rod-
pipat, Montri Chanlek, Siwarit Rojanasemanont and Pichit Wongchanoknan

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำต่อสุขภาพประชาชนและอาคารสิ่งปลูกสร้างทำการศึกษาโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจาก 4 แหล่งกำเนิดได้แก่ เครื่องบิน รถไฟ งานมหรสป และเครื่องเสียงในรถยนต์ จากการศึกษาพบว่า หากค่าระดับเสียงความถี่ต่ำ (ช่วงความถี่ 10 ถึง 200 เฮิรตซ์) จากเครื่องบินที่ตรวจวัดได้ในแบบไม่ผ่านวงจรถ่วงน้ำหนัก (weighting F) มีค่าสูงมากกว่า 60 เดซิเบลขึ้นไปในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 200 เฮิรตซ์ จะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนที่ส่งผลต่อสุขภาพประชาชนที่อาศัยอยู่ภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงจากเครื่องบินตามมาตรฐาน ISO 2631-2 และระดับดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อตัวโครงสร้างของอาคารเมื่อเทียบกับมาตรฐาน DIN 4150 แต่ทั้งนี้เมื่อดูประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของตัวอาคารแบบต่างๆ จะพบว่า บ้านไม้มีค่า NLR (Noise level Reduction) เท่ากับ 10.2 เดซิเบลเอ บ้านปูนมีค่า NLR ประมาณ 21.8 เดซิเบลเอ อาคารที่ปรับปรุงโดยติดตั้งกระจก 1 ชั้นและฉนวนที่หลังคามีค่า NLR เท่ากับ 20.9 เดซิเบลเอ และอาคารที่ปรับปรุงโดยกระจก 2 ชั้นมีค่า NLR เท่ากับ 20.6 เดซิเบลเอ ซึ่งค่า NLR นี้มีค่าแตกต่างกันไม่มากนักยกเว้นบ้านไม้ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ที่อาศัยในบ้านไม้จะได้รับผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำมากกว่าในอาคารประเภทอื่น ในส่วนของเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากรถไฟนั้นพบว่าผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารบ้านไม้ริมทางรถไฟจะได้รับผลกระทบมากกว่าผู้ที่อยู่อาศัยในอาคารที่สร้างด้วยปูนเช่นเดียวกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเสียงความถี่ต่ำจากเครื่องบิน ส่วนเสียงความถี่ต่ำจากงานมหรสปที่มีต่อสุขภาพประชาชนนั้นพบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างขณะที่เข้าชมงานแล้ว 10 นาที เพิ่มขึ้นจากก่อนเข้าชมงาน มหรสปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผู้เข้าชมงานมหรสปต่างๆ มีโอกาสที่จะได้รับเสียงที่สูงเกินมาตรฐานในขณะที่ชมงาน ที่สำคัญคือเจ้าหน้าที่หรือนักแสดงที่ต้องควบคุมกำกับกับการฉายภาพยนตร์หรือเล่นดนตรีซึ่งต้องสัมผัสกับเสียงที่ดังทุกวัน จึงมีโอกาสนี้จะมีภาวะการสูญเสียการได้ยิน สำหรับเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากเครื่องเสียงในรถยนต์นั้น จากการศึกษาพบว่าจะมีผลกระทบของเสียงที่เกิดจาก subwoofer ที่อยู่ในตัวรถซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงความถี่ต่ำที่ประมาณ 63 เฮิรตซ์ เสียงดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบไปได้ไกลมากกว่า 64 เมตรจากตัวรถยนต์และอาจก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนของวัสดุที่ไม่ได้จับยึดอย่างแน่นหนา จึงควรมีการกำหนดและควบคุมการติดตั้งเครื่องเสียงในรถยนต์เพื่อเป็นการป้องกันเหตุที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญทั้งต่อตัวผู้ขับขี่เองและผู้ใช้เส้นทางสัญจรผ่านไปมาเพื่อจะได้ลดผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของประชาชนสืบต่อไป

คำสำคัญ : เสียงความถี่ต่ำ, เสียงเครื่องบิน, เสียงจากรถไฟ, เสียงจากงานมหรสป, เสียงจากเครื่องเสียงในรถยนต์, ผลกระทบของเสียงเครื่องบิน, ประสิทธิภาพการลดเสียงของอาคาร

Abstract

In the study of low frequency noise which effect to people's health in community and building structures, aircraft noise ,train noise, noise from temple fairs and audio in car were identified to be the sources of the low frequency noise. As the results, if noise level with F-weighting (linear) was more than 60 dB and low frequency noise whereas less than 200 Hz, it would introduce vibration effect to people's health in community according to ISO 2631-2 but this vibration will not affected the building structures according to DIN 4150. The Noise Level Reduction(NLR) in 4 types of building structures were 10.2 dBA in Wood building, 21.8 dBA in Cement building, 20.9 dBA in improved building of single layer of glass and 20.6 dBA in improved building of double layers of glass. NLR were not different among all types of building structures except wood building which had the lowest NLR. Therefore people who lived in the wood building would more suffer from low frequency noise. In case of low frequency noise from train, the people who lived in the wood house would expose to noise greater than the people in cement building. The study of low frequency noise from temple fairs shown that the average of heart rate of samples had been increased after 10 minutes in the fairs at 0.05 significance level. Thus, people who joined the temple fairs might exposed higher noise level than standard especially actors and audio controlled technician. In the case of low frequency from audio in cars, it was found that the main source was from subwoofer in the cars. The subwoofer generated the low frequency of 63 Hertz which could transport to the distance of 64 meters from the car and caused vibration. Therefore, audio in car should be controlled in order to protect the effect of low frequency noise for the driver and other people who lived nearby the roadside.

Keywords : Low Frequency Noise, Aircraft Noise, Train Noise, Noise from Temple Fairs, Noise from Audio in Cars, Effect of Aircraft Noise, Noise Level Reduction (NLR)

1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางเสียงในประเทศไทยนั้น เป็นปัญหาที่สำคัญและทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง โดยปัญหามลพิษทางเสียงส่วนใหญ่ มักมีสาเหตุหลักคือ เสียงจากการจราจร เสียงจาก สนามบิน เสียงจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยปกติระดับเสียงที่มนุษย์ได้ยินจะอยู่ในช่วง ความถี่ 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ และความถี่ที่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์จะถูกเรียกว่า Infrasound ส่วนความถี่ที่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ จะถูกเรียกว่า Ultrasound และความถี่ในช่วง 1 - 100 เฮิรตซ์นั้นเป็นช่วงที่เกี่ยวข้องกับความสั่นสะเทือน สำหรับเสียงความถี่ต่ำ นั้นตามนิยามหมายถึงเสียงในช่วงความถี่ 10 ถึง 200 เฮิรตซ์⁽¹⁾ โดยเสียงในช่วงดังกล่าวนี้มีองค์ประกอบของความสั่นสะเทือนร่วมด้วยและจะได้ยินเสียงในระดับที่ต่ำเนื่องจากหูของมนุษย์ไม่ตอบสนองเสียงในช่วงความถี่นี้ ตัวอย่างของเสียงที่มีองค์ประกอบของเสียงความถี่ต่ำ เช่น เสียงของเครื่องบินทำให้เกิดการสั่นของอาคารสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น ในการพิจารณาปัญหามลพิษทางเสียงส่วนใหญ่จะประเมินผลกระทบกับการได้ยินของมนุษย์โดยมีการสร้างวงจรวถ่วงน้ำหนัก (weighting) แบบ A ในเครื่องมือนำเสียงให้เหมือนกับการได้ยินของมนุษย์ เพื่อใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ที่มนุษย์มีการตอบสนองคือในช่วงความถี่ 20 - 20,000 เฮิรตซ์ จะเห็นจากมาตรฐานเสียงที่ออกมาบังคับใช้ส่วนใหญ่ จะใช้ในหน่วยเป็นเดซิเบลเอ (dBA) เสียงความถี่ต่ำ หูของมนุษย์ตอบสนองได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นวงจรวถ่วงน้ำหนัก แบบ A จึงมีการถ่วงน้ำหนักมากหรือหักลบออกมากจากเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งหากวัดระดับเสียงในวงจรวถ่วงน้ำหนักดังกล่าวจะได้ค่าน้อย เนื่องจากการตอบสนองของวงจรวถ่วงน้ำหนักนี้ เหมือนกับระบบการได้ยินของมนุษย์นั่นเอง เสียงความถี่ต่ำที่มนุษย์ไม่ค่อยได้ยินนี้ สามารถเคลื่อนที่

ได้เป็นระยะทางไกลและมีอำนาจการทะลุทะลวงสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเสียงความถี่สูงซึ่งจะสามารถสะท้อนได้ดี ซึ่งเราจะเรียกเสียงที่เกิดในช่วงความถี่ดังกล่าวว่า เสียงความถี่ต่ำ (low frequency noise)

เสียงความถี่ต่ำเป็นเสียงที่เกิดในช่วงความถี่ต่ำกว่า 200 เฮิรตซ์ลงมา ซึ่งมักพบในพื้นที่ที่มีเทคโนโลยีจำนวนมากและพื้นที่คนหนาแน่น โดยรถบรรทุก, รถบัส, เครื่องบิน, รถไฟ ล้วนเป็นต้นกำเนิดหลักของเสียงความถี่ต่ำทั้งสิ้น เสียงความถี่ต่ำนั้นสามารถทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและสามารถแพร่กระจายเข้าสู่โครงสร้างของที่อยู่อาศัยได้ นอกจากนี้เสียงความถี่ต่ำซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการได้ยินของมนุษย์แต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับฟัง เช่น เครียด ก้าวร้าว ความดันโลหิตสูง และในบางครั้งยังส่งผลกระทบต่อระบบการเต้นของหัวใจด้วย ปัจจุบันผู้ที่อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและอยู่ในแนวที่เครื่องบินบินขึ้นและลงได้ร้องเรียนเกี่ยวกับการแตกร้าวของอาคาร โดยส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่าเกิดขึ้นขณะที่เครื่องบินบินผ่าน ซึ่งยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนว่าเกิดจากสาเหตุใด นอกจากนี้ในงานมหกรรมต่างๆ มักจะนิยมแข่งขันกันเกี่ยวกับเครื่องเสียงโดยใช้ความถี่ต่ำเป็นเกณฑ์โดยถ้าเครื่องเสียงไหนสามารถทำเสียงเบสต่ำๆ ได้ดีถือว่าเครื่องเสียงดังกล่าวดี ประกอบกับค่านิยมของคนไทยในปัจจุบันที่นิยมติดเครื่องเสียงรถยนต์โดยเน้นที่ให้มีเสียงเบสต่ำๆ และเปิดแข่งขันกันในห้องนอนซึ่งเสียงดังกล่าวอาจตอบสนองในความรู้สึกด้านอารมณ์ของผู้ที่นิยมชมชอบแต่เป็นภัยใกล้ตัวที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพตนเองและผู้อื่นที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง

ดังนั้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้จัดทำการศึกษาผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำต่อสุขภาพประชาชนและอาคารสิ่งปลูกสร้างขึ้น เพื่อประเมินสถานการณ์ของผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำในประเทศไทย ตลอดจนหาแนวทางป้องกันแก้ไขผลกระทบดังกล่าว เพื่อความเป็นอยู่และสุขภาพที่ดีของประชาชนชาวไทยต่อไป

2. วิธีการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 วิธีการศึกษา

รูปแบบของการศึกษา ในการศึกษานี้แบ่งแหล่งกำเนิดเสียงความถี่ต่ำที่ใช้ในการศึกษาออกเป็น 4 ประเภท คือ เสียงจากเครื่องบิน เสียงจากรถไฟ เสียงจากงานมหรสปต่างๆ และเสียงจากเครื่องเสียงในรถยนต์ โดยได้กำหนดรูปแบบในการศึกษาแหล่งกำเนิดเสียงความถี่ต่ำแต่ละประเภทดังนี้

2.1.1 เสียงความถี่ต่ำจากเสียงเครื่องบิน ใช้รูปแบบการศึกษา 2 แบบ คือหนึ่งการศึกษาผลกระทบของเสียงตั้งแต่ความถี่ที่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 20,000 เฮิรตซ์ที่เคลื่อนที่จากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร โดยการติดตั้งไมโครโฟนทั้งภายในและภายนอกอาคารใช้ weighting A และ F การตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียงด้านในอาคารติดตั้งที่ระดับความสูง 1.2 เมตร โดยติดตั้งห่างจากบริเวณหน้าต่างไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร สำหรับด้านนอกอาคารติดตั้งไมโครโฟนที่ระดับความสูง 2 เมตร ห่างจากตัวกำแพงหรือสิ่งกีดขวางไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ Sound Exposure Level (SEL) และค่าระดับเสียง Sound Pressure Level (Lp) ในแต่ละความถี่เสียง ซึ่งค่าที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า Noise Level Reduction (NLR) และรูปแบบที่สองคือการศึกษผลกระทบที่ส่งผ่านโครงสร้างของอาคารสิ่งปลูกสร้างขณะเครื่องบินบินผ่าน ศึกษาโดยติดตั้งเครื่องวัดความสั่นสะเทือนบริเวณอาคารทั้ง 3 แนวแกนได้แก่ แกน x y และ z นอกจากนี้ยังวัดเสียงจากภายนอกอาคารไปพร้อมกันอีกหนึ่งจุดด้วย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัด คือ ค่าระดับเสียงสูงสุด (L_{max}) และค่าระดับความสั่นสะเทือนในหน่วยของความเร็ว หน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที(mm/s)

2.1.2 เสียงความถี่ต่ำจากรถไฟ ใช้รูปแบบการศึกษา 2 แบบ คือ การศึกษาการลดทอนของเสียงความถี่ต่ำเทียบกับระยะทาง พารามิเตอร์ที่

ใช้ในการศึกษาได้แก่ ค่าระดับความดันเสียง(sound pressure level) ในแต่ละความถี่เสียงและค่าระดับเสียงสูงสุด(L_{max}) และรูปแบบที่ 2 การศึกษาการลดลงของเสียงความถี่ต่ำที่เคลื่อนที่จากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร โดยการติดตั้งไมโครโฟนทั้งภายในและภายนอกอาคารใช้ weighting A และ F การตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียงด้านในอาคารติดตั้งที่ระดับความสูง 1.2 เมตร โดยติดตั้งห่างจากบริเวณหน้าต่างไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร สำหรับด้านนอกอาคารติดตั้งไมโครโฟนที่ระดับความสูง 2 เมตร ห่างจากตัวกำแพงหรือสิ่งกีดขวางไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ ค่าระดับเสียง Sound Pressure Level ในแต่ละความถี่เสียง รวมทั้งค่าระดับเสียงสูงสุด (L_{max}) จากเหตุการณ์เสียงรถไฟในแต่ละขบวน

2.1.3 เสียงความถี่ต่ำจากงานมหรสป รูปแบบที่ใช้ในการศึกษาคือการตรวจวัดระดับเสียงในบริเวณที่มีการแสดงในงานมหรสป เช่น ภาพยนตร์กลางแจ้ง วงแสดงดนตรีตามงานวัดต่างๆ โดยติดตั้งไมโครโฟนที่ระดับความสูง 1.2 เมตรบริเวณด้านหน้าการแสดงและเก็บตัวอย่างปริมาณเสียงที่ผู้เข้าชมได้รับโดยติดตั้งเครื่องวัดปริมาณเสียง (noise dosimeter) ที่ผู้สัมผัสเสียงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมทั้งวัดอัตราการเต้นของหัวใจ 2 ช่วงเวลา คือ ก่อนเข้าสัมผัสเสียง สัมผัสเสียงแล้ว 10 นาที พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาคือ Noise Dose(%) ค่าระดับเสียงเฉลี่ยที่ได้รับ(Time Weighted Average Noise Level, TWA) และค่าระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่เสียง

2.1.4 เสียงความถี่ต่ำจากเครื่องเสียงในรถยนต์ ศึกษาผลกระทบจากการเปิดเครื่องเสียงที่ติดในรถยนต์ขนาดกำลังขับต่างๆ โดยติดตั้งไมโครโฟนรับเสียงที่ระยะต่างๆ จากแหล่งกำเนิดโดยระยะทางแต่ละจุดตรวจวัดจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ได้แก่ ที่ 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 เมตร ตามลำดับ วัดระดับเสียงที่เกิดขึ้นพร้อมกันทุกจุดตรวจวัด พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ค่าระดับความดันเสียง (Sound

Pressure Level) ที่ความถี่เสียงต่างๆ ในวงจรรถยนต์
หนักแบบ F C และ A

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลผลการผลการศึกษาต่อไปนี้

2.2.1 การวิเคราะห์ค่าระดับพลังงานของเสียงจากแหล่งกำเนิด (Sound Exposure Level, SEL) ค่าระดับพลังงานของเสียงจากแหล่งกำเนิด (Sound Exposure Level, SEL) เป็นค่ารวมพลังงานเสียงที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์หนึ่ง ๆ ในหน่วยเวลา 1 วินาที มีสมการการคำนวณดังนี้

$$SEL = 10 \log \sum_{i=0}^n 10^{0.1 L_n} \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ n คือช่วงเวลาในหน่วย 1 วินาที และ L_n ค่าระดับเสียงในแต่ละวินาที

โดยปกติ ค่า SEL ที่หาได้จากเหตุการณ์เสียงต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ในการประเมินความระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในเชิงเปรียบเทียบกันได้

2.2.2 การวิเคราะห์ค่า Noise Level Reduction (NLR) เป็นพารามิเตอร์ด้านเสียงตัวหนึ่งที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพของอาคารที่ได้รับผลกระทบจากเสียงของเครื่องบิน NLR เป็นค่าผลต่างระหว่างระดับเสียงภายในและภายนอกอาคาร โดยใช้ค่าการตรวจวัดระดับพลังงานของเสียงภายนอก (SEL_{out}) และค่าการตรวจวัดระดับพลังงานของเสียงภายใน (SEL_{in}) ดังสมการต่อไปนี้ ⁽²⁾

$$NLR = SEL_{out} - SEL_{in} \quad \dots\dots\dots(2)$$

2.2.3 การวิเคราะห์ค่าระดับเสียงสูงสุด (Maximun Noise Level) เป็นค่าระดับเสียงสูงสุด ณ เวลาใดเวลาหนึ่งของช่วงการตรวจวัด ค่าระดับเสียงสูงสุดจะสามารถอธิบายเหตุการณ์เสียงในด้านเดียว ไม่สามารถอธิบายถึงระดับเสียงที่ได้รับ

ทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดเสียงในความเป็นจริง เสียงจากสองเหตุการณ์มีระดับเสียงสูงสุดเท่ากันแต่อาจจะแตกต่างกันที่ระดับเสียงที่ได้รับก็ได้ เช่นเหตุการณ์หนึ่งเกิดในระยะเวลาน้อยสั้น ส่วนอีกเหตุการณ์หนึ่งเกิดในระยะเวลายาวนานกว่า เป็นต้น

2.2.4 ปริมาณเสียงที่ได้รับ (Noise Dose, D) เป็นค่าสัดส่วนของเวลาที่สัมผัสเสียงกับเวลาอ้างอิงที่อนุญาตให้สัมผัสได้ โดยคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากค่า D มีค่าเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ จะหมายถึงปริมาณเสียงที่ได้รับมีค่าเกินกว่าที่กำหนด D มีสมการการคำนวณดังนี้

$$D = 100 \times \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ C_n คือระยะเวลาที่สัมผัสกับเสียง
 T_n คือเวลาอ้างอิงที่อนุญาตให้สัมผัสกับเสียงได้
 $T = \frac{8}{2^{(L-90)/5}}$

2.2.5 ค่าระดับเสียงเฉลี่ยที่ได้รับ (Time Weighted Average Noise Level, TWA) เป็นค่าระดับเสียงที่ได้รับตลอดระยะเวลาที่สัมผัสกับเสียงหน่วยเป็นเดซิเบลเอ โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$TWA = 16.61 \times \log \left(\frac{D}{100} \right) + 90 \quad \dots\dots\dots(4)$$

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.1 เครื่องตรวจวัดระดับเสียงและความสั่นสะเทือนยี่ห้อ 01dB รุ่น Harmonie จำนวน 2 เครื่อง

3.2 เครื่องตรวจวัดระดับเสียงยี่ห้อ 01dB รุ่น Blue SOLO จำนวน 2 เครื่อง

3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ยี่ห้อ Compaq รุ่น 2133 จำนวน 2 เครื่อง

3.4 หัววัดความสั่นสะเทือนพร้อมสายสัญญาณ 30 เมตร จำนวน 6 ชุด

3.5 เครื่องกำเนิดแรงสั่นสะเทือนมาตรฐานจำนวน 1 เครื่อง

3.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงมาตรฐาน
จำนวน 1 เครื่อง

3.7 สายสัญญาณวัดเสียงยาว 30 เมตร
จำนวน 2 ชุด

3.8 สายสัญญาณวัดเสียงยาว 10 เมตร
จำนวน 2 ชุด

3.9 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและ
ความดันโลหิต ยี่ห้อ OMRON รุ่น HEM-712C
จำนวน 3 เครื่อง

3.10 เครื่องวัดปริมาณเสียง ยี่ห้อ QUEST
รุ่น DLX-1 จำนวน 3 เครื่อง

3.11 ขาตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียง จำนวน
4 ชุด

3.12 เทปวัดระยะทาง จำนวน 1 อัน

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 เสียงความถี่ต่ำจากเครื่องบิน

การศึกษาค่าระดับเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากเครื่องบินใช้รูปแบบการศึกษา 2 รูปแบบ คือ การศึกษาระดับเสียงที่เคลื่อนที่จากภายนอกอาคารสู่ภายในอาคารและ การศึกษาระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดจากเสียงความถี่ต่ำผ่านโครงสร้างของอาคาร กรณีการศึกษาระดับเสียงความถี่ต่ำที่แพร่กระจายจากตัวเครื่องบินผ่านอากาศมายังตัวโครงสร้างอาคารและเข้าไปในอาคาร นั้นเลือกอาคารแบบต่างๆ บริเวณโดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยแบ่งประเภทอาคาร เป็น อาคารที่ก่อสร้างด้วยไม้ อาคารที่ก่อสร้างด้วยปูน อาคารที่ก่อสร้างด้วยปูนที่ได้รับการปรับปรุงโดยการฉีดยาที่หลังคาและติดกระจกธรรมดาหนา 6 มม. และอาคารปูนที่ได้รับการปรับปรุงโดยการติดกระจก 2 ชั้น พบว่า ในกรณีที่อาคารที่สร้างด้วยไม้ ซึ่งถูกออกแบบให้มีลักษณะที่โปร่งประกอบด้วยฝ้ายบ้านที่มีขนาดบาง จึงทำให้เสียงรบกวนจากเสียงเครื่องบินสามารถทะลุผ่านได้ง่าย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าการลดลง

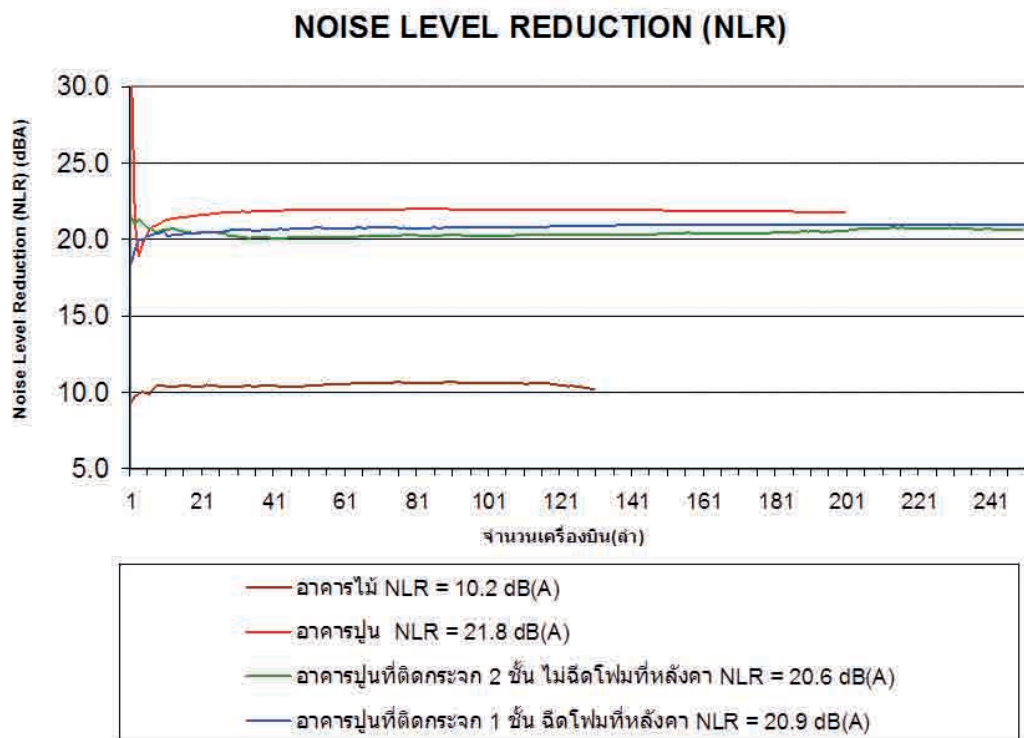
ของเสียง(Noise level Reduction, NLR)สำหรับบ้านที่ก่อสร้างด้วยไม้และอยู่ในแนวเส้นเสียง (Noise Exposure Forecast, NEF) 30-35 มีค่าเท่ากับ 10.2 เดซิเบลเอ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.64 สำหรับอาคารที่ 2 เป็นบ้านปูน 2 ชั้นก่อสร้างด้วยอิฐบล็อกฉาบปูน อยู่ในแนวเส้นเสียง NEF 35-40 บ้านที่สร้างด้วยปูนจะมีความหนาของผนังมากกว่าบ้านไม้ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีอย่างหนึ่งในการป้องกันเสียงรบกวนประกอบกับช่องว่างหรือรอยต่อของผนังมีน้อยกว่าบ้านไม้จึงทำให้เสียงทะลุผ่านได้น้อยกว่า พบว่ามีค่า NLR เท่ากับ 21.8 เดซิเบลเอ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.22 อาคารที่ 3 เป็นอาคารปูนที่ได้รับการปรับปรุงและอยู่ในแนวเส้นเสียง NEF 35-40 ลักษณะของการปรับปรุงนั้นเป็นการติดตั้งกระจก 1 ชั้นแทนของเดิมหนา 6 มิลลิเมตร และฉีดยาที่หลังคาหนา 2 นิ้ว จากการศึกษาพบว่ามีค่า NLR เท่ากับ 20.9 เดซิเบลเอ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.81 และอาคารที่ 4 เป็นอาคารในแนวเส้นเสียง NEF มากกว่า 40 ปรับปรุงโดยการติดกระจก 2 ชั้น มี NLR เท่ากับ 20.6 เดซิเบลเอ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.81 ซึ่งไม่แตกต่างจากอาคารปูนที่ยังไม่ได้ปรับปรุงหรือปรับปรุงโดยติดกระจก 1 ชั้น และฉีดยาที่หลังคา ดังแสดงในภาพที่ 1 จากข้อกำหนดการใช้ที่ดินบริเวณโดยรอบท่าอากาศยานของ FAA⁽³⁾ ค่า NLR ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงอาคารในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงนั้นระบุไว้ว่า ในพื้นที่แนวเส้นเสียง NEF มากกว่า 40 ไม่ควรมีที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ไวต่อความรู้สึกด้านเสียง ที่อยู่อาศัยในบริเวณพื้นที่ NEF อยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 ควรมีค่า NLR เท่ากับ 25 ดังนั้น จากตัวอย่างอาคารที่ทำการศึกษายังคงไม่มีอาคารใดที่มีคุณสมบัติตามที่ FAA กำหนด

กรณีที่สองการศึกษาผลกระทบที่ส่งผ่านโครงสร้างของอาคารสิ่งปลูกสร้างขณะเครื่องบินผ่าน ศึกษาโดยติดตั้งเครื่องวัดความสั่นสะเทือนบริเวณอาคารทั้ง 3 แนวแกนได้แก่ แกน x y และ z

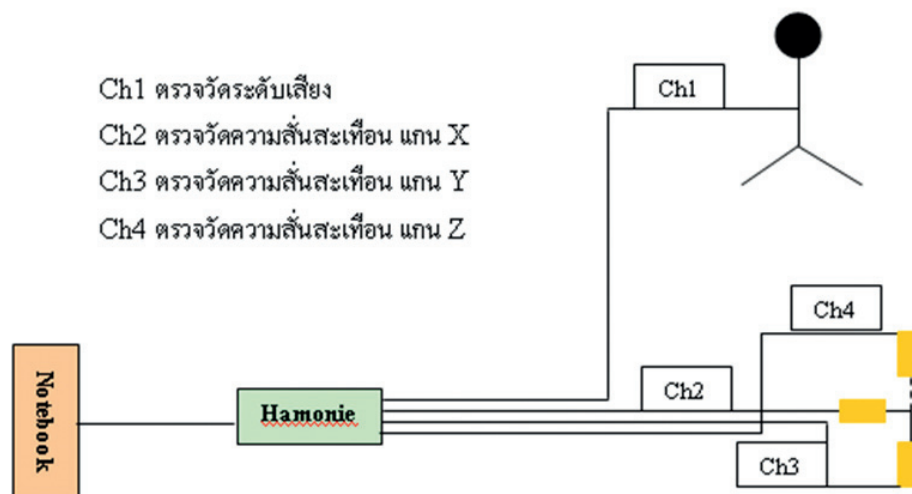
นอกจากนี้ยังวัดเสียงจากภายนอกอาคารไปพร้อมกัน อีกหนึ่งจุดด้วย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัด คือ ค่าระดับเสียงสูงสุด (L_{max}) และค่าระดับความสั่นสะเทือนในหน่วยของความถี่ หน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที(mm/s) ลักษณะของการติดตั้งเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนและเสียงดังแสดงในภาพที่ 2 จากผลการตรวจวัดระดับเสียงและความสั่นสะเทือนดังกล่าวนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ DIN

4150-3⁽⁴⁾ เพื่อศึกษาผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเสียงของเครื่องบินต่อตัวโครงสร้างของอาคารบ้านเรือน และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 2631-2⁽⁵⁾ ความสั่นสะเทือนที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน

การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ คือ บ้านที่อยู่ในแนวเส้นเสียง NEF มากกว่า 40 NEF 35 ถึง 40 และ NEF 35 ถึง 30 ซึ่งผลการศึกษาสรุป



ภาพที่ 1 แสดงค่าการลดลงของเสียง(Noise Level Reduction)ของอาคารประเภทต่างๆ



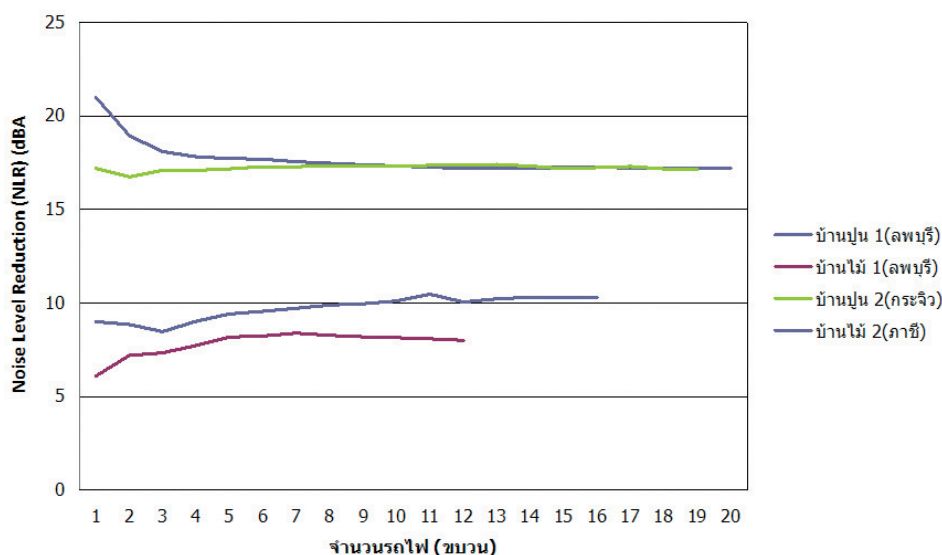
ภาพที่ 2 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียงและความสั่นสะเทือน

ได้ดังนี้ ในพื้นที่ NEF มากกว่า 40 ทั้งสิ้น พบว่าค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาคตามแนวแกน X Y และ Z แยกตามความถี่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00700-1.33352 mm/s, 0.00579-1.42889mm/s และ 0.00933-2.91743 mm/s ตามลำดับ โดยระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ 1 เฮิรตซ์ ในพื้นที่ NEF 35 ถึง 40 พบว่าค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาคตามแนวแกน X Y และ Z แยกตามความถี่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.04580-0.14900 mm/s, 0.04100-0.16900 mm/s และ 0.09290-0.6200 mm/s ตามลำดับ โดยระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ 1-3 เฮิรตซ์ และในพื้นที่ NEF 30 ถึง 35 พบว่าค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาคตามแนวแกน X Y และ Z แยกตามความถี่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0348-0.6620 mm/s, 0.0259-0.260 mm/s และ 0.0280-0.7160 mm/s ตามลำดับ โดยระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ 1 เฮิรตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน DIN 4150-3 พบว่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องบินขณะบินขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าระดับความสั่นสะเทือนดังกล่าวไม่อยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างจนทำให้เกิดความเสียหายได้ เมื่อนำระดับความสั่นสะเทือนดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 2631-2 ซึ่ง

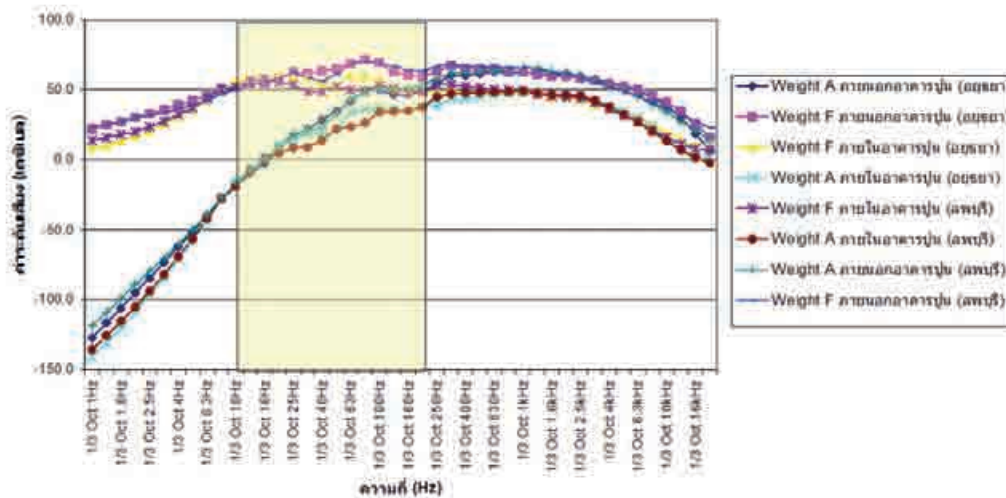
เป็นการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน พบว่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องบินนั้นอยู่ในระดับที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนเช่นการรบกวนจากการถูกปลุกให้ตื่นในเวลาพักผ่อนนอนหลับ

4.2 เสียงความถี่ต่ำจากรถไฟ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการลดเสียงจากรถไฟของอาคาร 2 ประเภทคืออาคารที่สร้างด้วยปูนและอาคารที่สร้างด้วยไม้ โดยติดตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียงภายในและภายนอกอาคารเพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพการลดลงของเสียง (Noise Level Reduction,NLR) จากค่าผลต่างของระดับพลังงานเสียง (SEL) ของเสียงรถไฟภายในและภายนอกอาคาร พบว่า อาคารที่สร้างด้วยไม้จากการทดสอบในบ้าน 2 แห่งนั้นมีประสิทธิภาพในการลดเสียง (NLR) มีค่าเท่ากับ 8.0 และ 10.3 เดซิเบลเอ และอาคารที่สร้างด้วยปูนมีค่าประสิทธิภาพการลดเสียง (NLR) เท่ากับ 17.2 และ 17.1 เดซิเบลเอ ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพการลดลงของอาคารจากเสียงของเครื่องบิน โดยพบว่าอาคารที่สร้างด้วยไม้มีประสิทธิภาพในการลดเสียงได้น้อยกว่าอาคารที่สร้างด้วยปูน



ภาพที่ 3 ค่าประสิทธิภาพการลดลงของเสียง(NLR) ของรถไฟภายในและภายนอกอาคาร

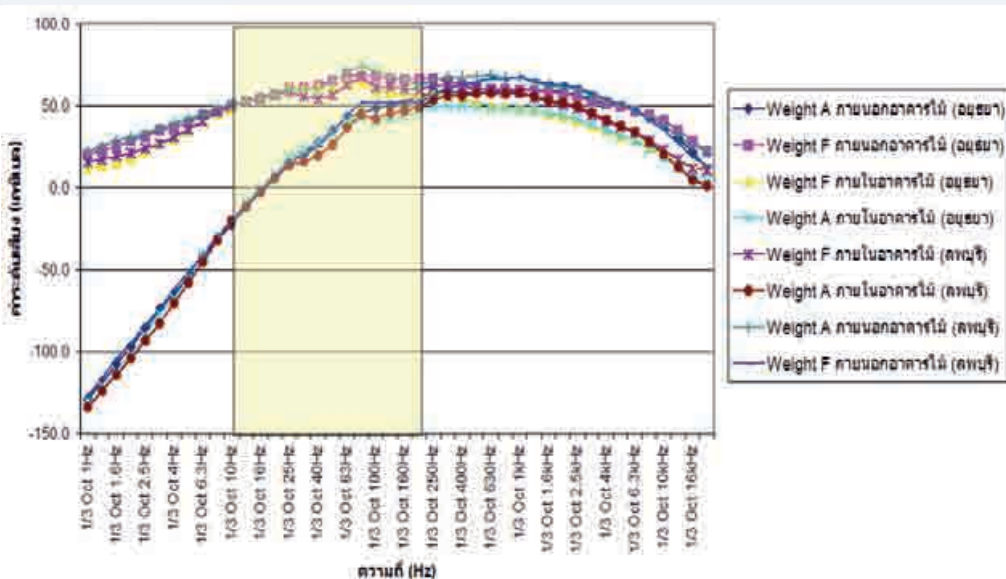


ภาพที่ 4 ความถี่ของเสียงของรถไฟโดยเฉลี่ยทั้งภายในและภายนอกอาคารที่สร้างด้วยปูนตั้งแต่ 1-20 กิโลเฮิร์ตซ์

สำหรับการศึกษาความถี่ต่ำของเสียงรถไฟภายในและภายนอกอาคารในช่วง 10 ถึง 200 เฮิร์ตซ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความถี่ที่มีระดับเสียงสูงสุด คือ 100 เฮิร์ตซ์ ที่ผ่านเข้าไปในอาคารที่สร้างด้วยปูนทั้ง 2 แห่งพบว่า ภายนอกอาคารมีค่าระดับเสียงในวงจรถ่วงน้ำหนัก F มีค่า 68.7 และ 69.4 เดซิเบล สำหรับในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A มีค่าเท่ากับ 50.1 และ 50.4 เดซิเบลเอ เมื่อเดินทางเข้าไปภายในอาคารพบว่า มีค่าระดับเสียงที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ลดลงเหลือ 53.3 และ 57.1 เดซิเบลในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ F และ เหลือ 34.1 และ 37.7 เดซิเบลเอในวงจรถ่วง

น้ำหนักแบบ A ดังแสดงในภาพที่ 4

ส่วนอาคารที่สร้างด้วยไม้มีค่าระดับเสียงสูงสุดที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ที่ผ่านเข้าไปในอาคารที่สร้างด้วยไม้ทั้ง 2 แห่งพบว่า ภายนอกอาคารมีค่าระดับเสียงในวงจรถ่วงน้ำหนัก F มีค่า 71.2 และ 68.1 เดซิเบล สำหรับในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A มีค่าเท่ากับ 51.9 และ 48.8 เดซิเบลเอ เมื่อเดินทางเข้าไปภายในอาคารพบว่า มีค่าระดับเสียงที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ลดลงเหลือ 61.4 และ 59.3 เดซิเบลในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ F และ เหลือ 42.2 และ 41.0 เดซิเบลเอในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความถี่ของเสียงของรถไฟโดยเฉลี่ยทั้งภายในและภายนอกอาคารที่สร้างด้วยไม้ตั้งแต่ 1-20 กิโลเฮิร์ตซ์

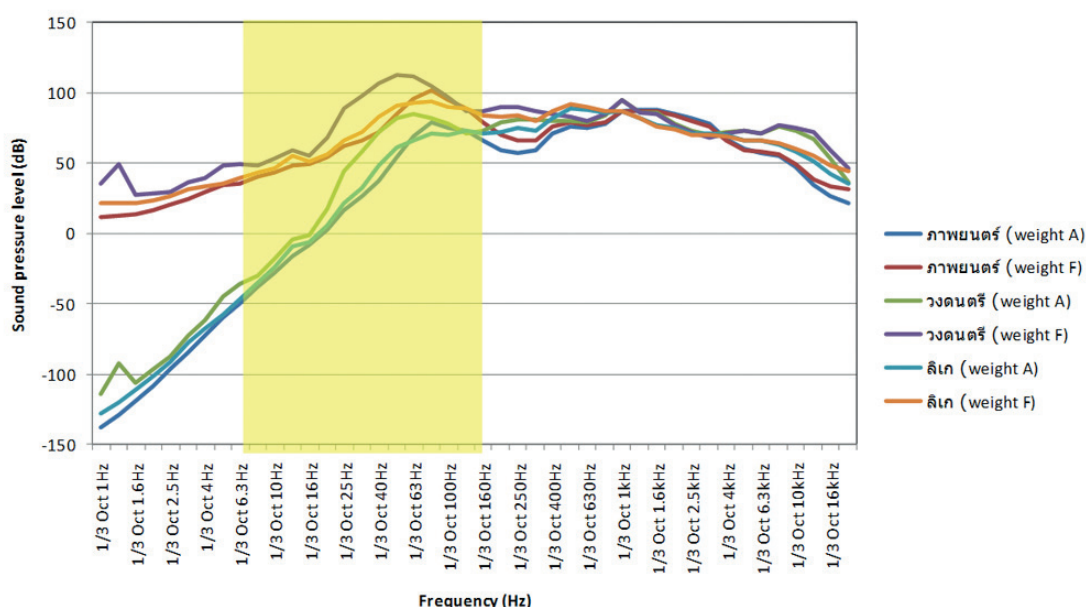
4.3 ล้ยงควมถ้ต่ำจกงานมหรสพ

ในการล้ษณาน้ได้ล้ษณาค้ระด้บล้ยงจกงานมหรสพประภทต่างจ้ ที่ม้การจ้ดแสดงในงานวัดล้จ้ได้แ่ การฉายภพยนตร้กลางแ่จ้ วงดนตรี และล้เก เป็นต้น โดยตรวจ้วัดระด้บล้ยงเป็นระยเวลา 1 ช้โมง พบว้ค่าระด้บล้ยง Leq 1 ช้โมงของการแสดงภพยนตร้กลางแ่จ้ วงดนตรี และล้เกม้ค่าเท่ากับ 93.7 98.6 และ 94.2 เดลเบลเอ ตามล้าด้บด้งแสดงในตารางที่ 1 ล้สำหรับค่าระด้บล้ยงสูงสุดน้ัน ม้ค่าเท่ากับ 113.6 เดลเบลเอจกการแสดงดนตรี แต่เมือฟ้จการณาล้ยงควมถ้ต่ำล้จ้อยู่ในช้วง 10-200 เอร้ตซ์ จะพบว้ ล้ยงของการฉายภพยนตร้กลาง

แ่จ้จะมีค่าระด้บล้ยงสูงสุดที่ควมถ้ 80 เอร้ตซ์ ม้ค่า 101.5 เดลเบล ในวงจ้รถ้วงน้้าหนัก F และ 78.8 เดลเบลเอ ในวงจ้รถ้วงน้้าหนัก A ล้สำหรับล้ยงควมถ้ต่ำจกวงดนตรีน้ันพบว้ค่าระด้บล้ยงสูงสุดอยู่ที่ควมถ้ 63 เอร้ตซ์ โดยมีค่าระด้บล้ยงเท่ากับ 111.2 เดลเบล ในวงจ้รถ้วงน้้าหนัก F และ 84.8 เดลเบลเอ ในวงจ้รถ้วงน้้าหนัก A ล้ส่วนล้ยงที่เกิดจกการล้่นล้เกน้ันพบว้ล้ยงควมถ้ต่ำม้ค่าระด้บล้ยงสูงสุดอยู่ที่ควมถ้ 80 เอร้ตซ์ โดยมีค่าระด้บล้ยงเท่ากับ 94.0 เดลเบล ในวงจ้รถ้วงน้้าหนัก F และ 71.4 เดลเบลเอ ในวงจ้รถ้วงน้้าหนัก A ด้งแสดงในภพที่ 6

ตารางที่ 1 ค่าระด้บล้ยงของก้จกรรมในงานมหรสพ

ประภทแหล่จ้ กำเนดล้ยง	ระยเวลา (ชม.)	Leq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L90 (dBA)
ภพยนตร้กลางแ่จ้	1	93.7	63.2	112.6	75.6
วงดนตรี	1	98.6	73.3	113.6	86.7
ล้เก	1	94.2	67.2	109.1	80.1



ภพที่ 6 ควมถ้ของล้ยงจกงานมหรสพต่างจ้ แยกตามควมถ้ล้ยง

จากการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจของผู้เข้าชมงานมหรสพระหว่างก่อนเข้าชมและหลังเข้าชมแล้ว 10 นาที โดยการตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างทั้งเพศชายและหญิง อายุระหว่าง 15-73 ปี จำนวน 56 คน ซึ่งก่อนเข้าร่วมงานกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจเท่ากับ 83.27 ครั้งต่อนาที เมื่อเข้าชมงานแล้ว 10 นาทีมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจเท่ากับ 86.23 ครั้งต่อนาที ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้ดังกล่าวมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Paired samples T-Test พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างขณะที่เข้าชมงานแล้ว 10 นาที เพิ่มขึ้นจากก่อนเข้าร่วมงานมหรสพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.3 การศึกษาปริมาณเสียงของผู้เข้าชมงานมหรสพที่ได้รับ

ผลการศึกษาปริมาณเสียงที่ผู้เข้าชมงานมหรสพได้รับขณะเข้าชมโดยเก็บตัวอย่าง 2 แบบคือ แบบที่หนึ่ง ติดตั้งเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมกับผู้ชมที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงที่แน่นอน จำนวน 3 คน ในแต่ละประเภทของการแสดง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงขณะเข้าชมงาน พบว่า ในเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณเสียงที่กลุ่มตัวอย่างได้รับ (Noise Dose) ในกิจกรรมงานแสดงแต่ละประเภทจะอยู่ในช่วง 14.8-78.9 เดซิเบลเอ และมีค่าระดับเสียงที่ได้รับ (time weighted average noise level) อยู่ในช่วง 76.2-88.3 เดซิเบลเอ ยกเว้นผู้เข้าชมภาพยนตร์กลางแจ้งที่มีการทดสอบเครื่องเสียงร่วมด้วยนั้นจะได้รับปริมาณเสียงในช่วง 73.5-108.5 เดซิเบลเอ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน OSHA ที่กำหนด (ไม่เกิน 100 เดซิเบลเอ) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าปริมาณเสียงที่ผู้เข้าชมงานมหรสพได้รับในเวลา 1 ชั่วโมง

ประเภทงานแสดง	ตัวอย่างที่	TWA:	Dose:
ภาพยนตร์กลางแจ้ง 1	1	76.3 dB	14.9 %
	2	76.2 dB	14.8 %
	3	76.3 dB	15.0 %
ภาพยนตร์กลางแจ้ง 2 มีการทดสอบเครื่องเสียงร่วมด้วย	1	89.8 dB	97.7 %
	2	90.6 dB	108.5 %
	3	87.8 dB	73.5 %
ภาพยนตร์กลางแจ้ง 3	1	76.3 dB	14.9 %
	2	77.8 dB	18.3 %
	3	76.4 dB	15.1 %
วงดนตรี	1	88.3 dB	78.9 %
	2	86.3 dB	60.2 %
	3	84.4 dB	45.9 %
ลิเก	1	83.5 dB	40.7 %
	2	82.5 dB	35.4 %
	3	83.8 dB	42.1 %

สำหรับแบบที่สองคือการเก็บตัวอย่างแบบเจาะจงโดยให้กลุ่มตัวอย่างนั่งประจำที่โดยมีระยะห่างจากลำโพงด้านหน้าจอภาพยนตร์ที่แน่นอนคือ ระยะ 10 20 และ 30 เมตร ตามลำดับโดยติดตั้งเครื่องวัดปริมาณเสียงไว้กับกลุ่มตัวอย่างและตรวจวัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ที่ระยะ 10 เมตร จะได้รับเสียง TWA เท่ากับ 93.4 เดซิเบลเอ คิดเป็น Dose เท่ากับ 160.1 เปอร์เซนต์ ที่ระยะ 20 เมตร จะได้รับเสียง TWA เท่ากับ 86.3 เดซิเบลเอ คิดเป็น Dose เท่ากับ 60.2 เปอร์เซนต์ และ ที่ระยะ 30 เมตร จะได้รับเสียง TWA เท่ากับ 82.8 เดซิเบลเอ คิดเป็น Dose เท่ากับ 36.9 เปอร์เซนต์

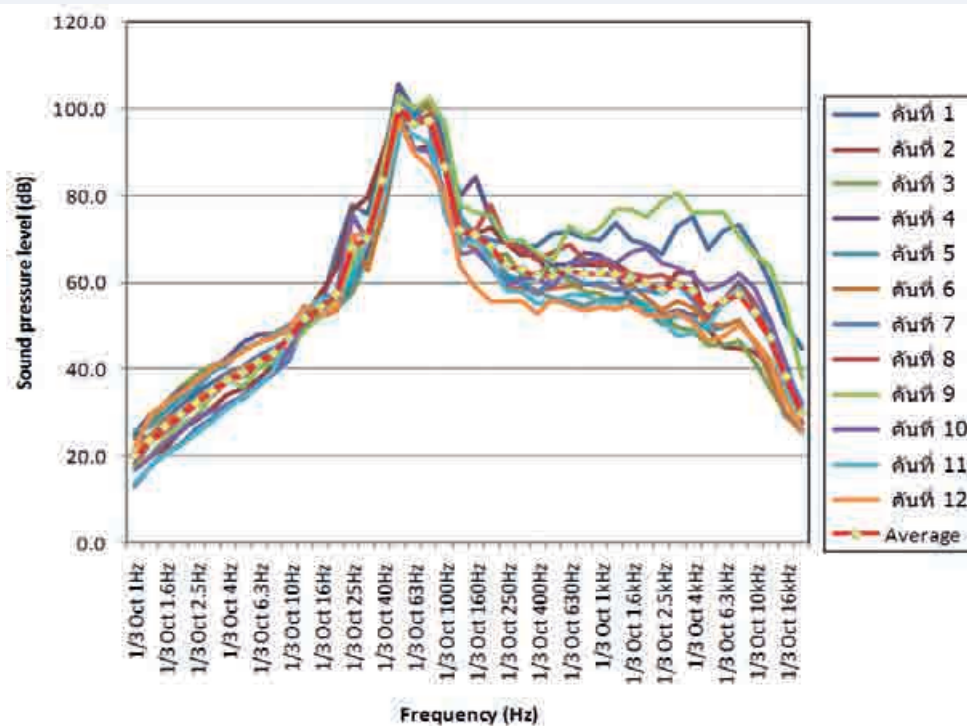
4.4 เสียงความถี่ต่ำที่เกิดจากเครื่องเสียงในรถยนต์

ปัจจุบันการติดเครื่องเสียงในรถยนต์มีค่านิยมที่ชอบที่เครื่องเสียงที่มีแรงขับสูงๆ และมีเสียงเบสต่ำๆ ซึ่งส่งผลก่อให้เกิดแหล่งกำเนิดของเสียง

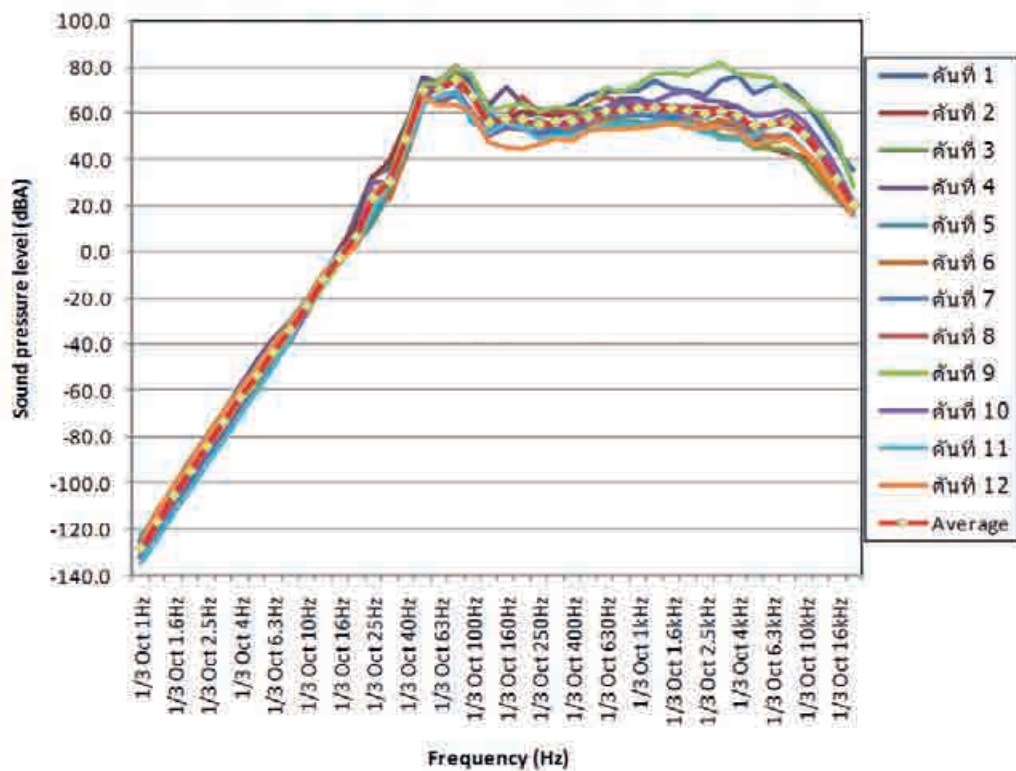
ความถี่ต่ำและส่งผลกระทบโดยตรงต่อทั้งผู้ขับเองและผู้สัญจรใช้เส้นทางผ่านไปมา โดยทุกวันนี้ค่านิยมดังกล่าวได้กลายเป็นแฟชั่นในหมู่วัยรุ่นไทยที่นิยมปรับแต่งเครื่องเสียงในรถยนต์ของตนเองโดยติดตั้งลำโพงพร้อม subwoofer เพิ่มเติมเข้าไปในตัวรถยนต์ จนเกิดการก่อให้เกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญสำหรับรถที่เปิดเพลงเสียงดังที่วิ่งอยู่บนท้องถนน ทั้งนี้โดยปกติ subwoofer จะกำเนิดเสียงส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ 63 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นเสียงเบสต่ำ และก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนร่วมด้วยกับวัตถุที่ไม่มีการจับยึดที่แน่นหนาจากการศึกษาเครื่องเสียงของรถยนต์ที่มีการปรับแต่งจำนวน 12 คัน และตรวจวัดเสียงที่เกิดจากการเปิดเพลงที่ระยะต่างๆ จากตัวรถยนต์ พบว่า ที่ระยะ 2 เมตร ในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ F เสียงที่มีความถี่ในช่วง 50 -80 เฮิร์ตซ์มีค่าระดับเสียงสูงเมื่อเทียบกับเสียงที่มีความถี่ในช่วงอื่นโดยมีค่าระดับเสียงในช่วง 96.5-100.2 เดซิเบล ดังแสดงในภาพที่ 7 และในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A มีค่าระดับเสียงสูงสุดในช่วงความถี่ 50-80 เฮิร์ตซ์เช่นกันโดยมีค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 69.6-74.3 เดซิเบลเอ ดังแสดงในภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าเสียงที่เกิดขึ้นนี้เป็นเสียงที่มีสาเหตุหลักมา

จาก subwoofer ที่ติดตั้งในรถยนต์นั่นเอง

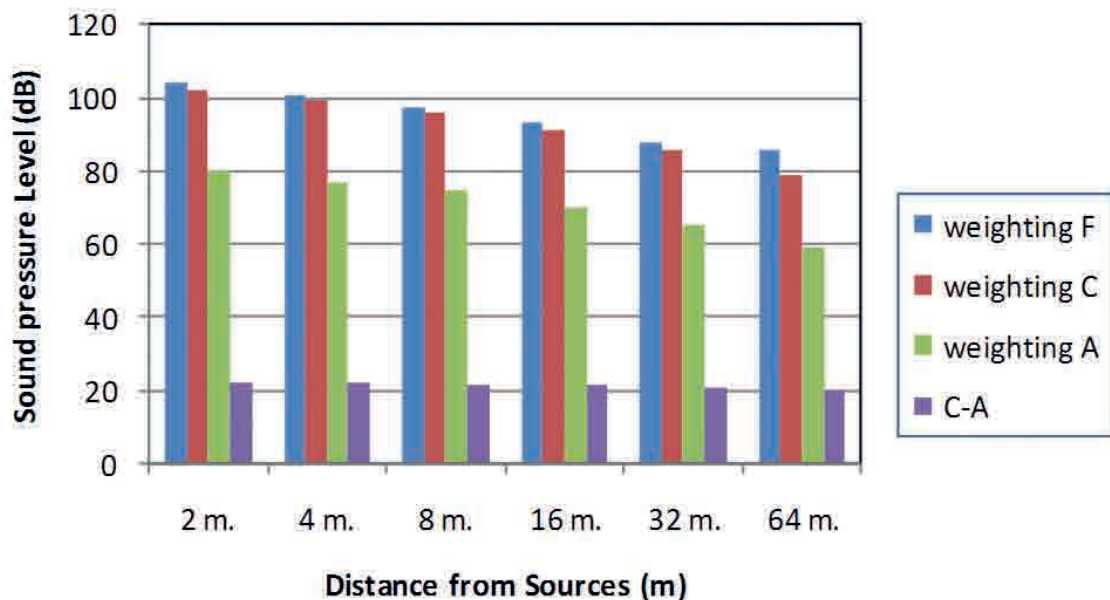
เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดระดับเสียงที่ระยะทางต่างๆ ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของระยะทางที่ทำการตรวจวัดไว้เดิมในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ F , C และ A เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของเสียงเทียบกับระยะทาง นั้น พบว่า ค่าระดับเสียงที่ระยะทาง 2 4 8 16 32 และ 64 เมตรจากตัวรถยนต์ที่ตรวจวัดในแบบวงจรถ่วงน้ำหนัก A มีความแตกต่างจากค่าที่ตรวจวัดในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ C อยู่ในช่วง 20.1-22.3 เดซิเบล ดังแสดงในภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าในบริเวณดังกล่าวมีปัญหาในเรื่องของเสียงความถี่ต่ำ ซึ่ง Department of Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) ได้กำหนดแนวทางการตรวจสอบผลกระทบของเสียงความถี่ต่ำเบื้องต้นว่าหากค่าระดับเสียงที่วัดได้ในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A มีค่ามากกว่า ในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ C 20 เดซิเบลแสดงว่าพื้นที่นั้นมีปัญหาเรื่องเสียงรบกวนจากความถี่ต่ำ⁽⁶⁾ ดังนั้นแม้จะอยู่ห่างจากตัวรถยนต์ถึง 64 เมตรแต่ก็ยังคงได้รับผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากเครื่องเสียงในรถยนต์อยู่ดี



ภาพที่ 7 ค่าความถี่เสียงที่เกิดจากเครื่องเสียงในรถยนต์ที่ระยะ 2 เมตรในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ F



ภาพที่ 8 ค่าความถี่เสียงที่เกิดจากเครื่องเสียงในรถยนต์ที่ระยะ 2 เมตรในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ A



ภาพที่ 9 ค่าระดับเสียงจากการตรวจวัดเครื่องเสียงในรถยนต์ที่ระยะทางต่างๆ ในวงจรถ่วงน้ำหนักแบบ F C และ A

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลกระทบของเสียงความถี่ต่ำต่อสุขภาพประชาชนและสิ่งปลูกสร้างในกรณีเสียงจากเครื่องบินนั้น ในกรณีของเสียงความถี่ต่ำจากเครื่องบินที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่อยู่อาศัยในอาคารบ้านเรือน โดยเสียงความถี่ต่ำนั้นถึงแม้ว่ามนุษย์ไม่สามารถได้ยินเนื่องจากการตอบสนองของหูต่อการได้ยินอยู่ในช่วงความถี่ 20 ถึง 20000 เฮิรตซ์ แต่เสียงความถี่ต่ำดังกล่าวมาในรูปแบบของความสั่นสะเทือนซึ่งก่อให้เกิดอาการสั่นของตัวโครงสร้างเช่นกระจกสั่นหรือหลังคาสั่น ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการแตกร้าวของอาคารตามมาตรฐาน DIN 4150-3 แต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนเพราะเกินเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-2 ซึ่งในกรณีที่ศึกษานี้พบว่าหากค่าระดับเสียงความถี่ต่ำจากเครื่องบินที่ตรวจวัดได้ในแบบไม่ผ่านวงจรถ่วงน้ำหนัก (weighting F) มีค่าสูงมากกว่า 60 เดซิเบลขึ้นไป ก็จะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนที่อาศัยอยู่ภายในอาคารที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงจากเครื่องบิน ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงอาคารเพื่อให้สามารถลดเสียงความถี่ต่ำให้ได้มากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพของการลดเสียงของตัวอาคารจะพบว่า บ้านไม้มีประสิทธิภาพในการกั้นและลดเสียงน้อยกว่าบ้านปูน เนื่องจากลักษณะการก่อสร้างที่โปร่งและบริเวณผนังซึ่งเป็นฝาไม้ยังมรูที่ให้เสียงสามารถผ่านทะลุไปได้ง่ายเมื่อเทียบกับบ้านที่สร้างด้วยปูน และการติดตั้งกระจก 2 ชั้นที่ระหว่างชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 เป็นสุญญากาศ ก็จะสามารถช่วยลดเสียงรบกวนอันเนื่องมาจากเสียงความถี่ต่ำได้ดีเมื่อเทียบกับการติดกระจกเพียงชั้นเดียว จากการประเมินประสิทธิภาพการลดลงของเสียงภายในและภายนอกอาคารของอาคารตัวอย่างทั้ง 2 หลังอาจสรุปได้ว่ายังไม่เพียงพอต่อการลดผลกระทบด้านเสียงตามข้อเสนอแนะของ FAA โดยค่า NLR ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงอาคารในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับ

ผลกระทบด้านเสียงนั้นระบุไว้ว่า ในพื้นที่แนวเส้นเสียง NEF มากกว่า 40 ไม่ควรมีที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ไวต่อความรู้สึกด้านเสียง ที่อยู่อาศัยในบริเวณพื้นที่ NEF อยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 ควรมีค่า NLR เท่ากับ 25 โดยปกติอาคารทุกประเภทจะมีคุณสมบัติในการลดระดับเสียงอยู่แล้ว ซึ่งจากการศึกษาสรุปได้ว่าบ้านไม้ชั้นเดียวจะมีการลดลงของเสียง (NLR) ประมาณ 10 เดซิเบลเอ ในขณะที่บ้านที่ก่อสร้างด้วยปูน จะมีค่าการลดลงของเสียงประมาณ 21 เดซิเบลเอ เนื่องจากการเลือกตัวอย่างบ้านที่ได้รับการปรับปรุงมีน้อยเนื่องจากอยู่ในระหว่างจ่ายค่าชดเชยเพื่อนำไปปรับปรุงอาคารในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรจะศึกษาเพิ่มเติมสำหรับบ้านที่ปรับปรุงโดยการติดกระจกสองชั้นและฉนวนที่หลังคาด้วยเพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดเสียงว่าสามารถนำมาใช้ในการลดเสียงจากเครื่องบินให้กับชุมชนได้หรือไม่ สำหรับการปรับปรุงอาคารนั้นเนื่องจากลักษณะของอากาศของประเทศไทยเป็นลักษณะร้อนชื้น แต่การลดเสียงที่ดีที่สุดคือการปิดช่องหรือรอยต่อต่างๆ ให้สนิทแนบ ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบปรับและระบายอากาศภายในอาคารเพื่อให้ประชาชนสามารถอาศัยอยู่ได้ในส่วนของเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากรถไฟนั้นพบว่าผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารบ้านไม้ริมทางรถไฟจะได้รับผลกระทบมากกว่าผู้ที่อยู่อาศัยในอาคารที่สร้างด้วยปูนเช่นเดียวกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเสียงความถี่ต่ำจากเครื่องบิน ส่วนเสียงความถี่ต่ำจากงานมหรสพที่มีต่อสุขภาพประชาชนนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างขณะที่เข้าชมงานแล้ว 10 นาที เพิ่มขึ้นจากก่อนเข้าร่วมงานมหรสพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผู้เข้าชมงานมหรสพต่างๆ มีโอกาสที่จะได้รับเสียงที่สูงเกินมาตรฐานในขณะที่ชมงาน และที่สำคัญคือเจ้าหน้าที่หรือนักแสดงที่ต้องควบคุมกำกับกับการฉายภาพยนตร์หรือเล่นดนตรีซึ่งต้องสัมผัสกับเสียงที่ดังทุกวัน จึงมีโอกาสมิอาจมีภาวะการสูญเสียการได้ยิน และสำหรับเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากเครื่องเสียงในรถยนต์นั้น

จะมีผลกระทบจากเสียงของ subwoofer ที่อยู่ในตัวรถซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่ความถี่ประมาณ 63 เฮิรตซ์ ซึ่งเสียงดังกล่าวกว่าจะส่งผลกระทบไปได้ไกลมากกว่า 64 เมตรจากตัวรถยนต์และอาจก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนของวัสดุที่ไม่ได้ยึดแน่น จึงควรมีการกำหนดและควบคุมการติดตั้งเครื่องเสียงในรถยนต์เพื่อเป็นการป้องกันเหตุที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญทั้งต่อตัวผู้ขับขี่เองและผู้ใช้เส้นทางสัญจรผ่านไประมาเพื่อจะได้ลดผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของประชาชนสืบต่อไป สำหรับข้อเสนอแนะในการศึกษาเห็นควรดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ควรมีการศึกษาผลกระทบของเสียงความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านซึ่งรวมเครื่องปั้มน้ำ แอร์ พัดลม เป็นต้น
2. ในการตรวจวัดเสียงจากแหล่งที่เป็นต้นกำเนิดของเสียงความถี่ต่ำควรใช้วงจรถ่วงน้ำหนักแบบ C ร่วมด้วยเพื่อจะได้ใช้เป็นแนวทางในการประเมินผลกระทบจากเสียงความถี่ต่ำ
3. กรณีเสียงความถี่ต่ำจากเครื่องบินนั้นในกรณีของบ้านที่สร้างด้วยไม้ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดเสียงจากเครื่องบินต่ำ หากอยู่ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียง (NEF > 30) นั้น ควรพิจารณาขดเคียวด้วยการเจรจาขอซื้อมากกว่าจะใช้วิธีการปรับปรุงเนื่องจากสภาพของบ้านไม้ไม่สามารถปรับปรุงให้สามารถลดเสียงที่เกิดขึ้นจากเครื่องบินได้จริง
4. ควรมีการกำหนดมาตรการควบคุมการติดตั้งเครื่องเสียงในรถยนต์รวมทั้งการเปิดเพลงดังๆ ในที่สาธารณะ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของบริษัทท่าอากาศยานไทย จำกัด(มหาชน) บริษัทวิทยุการบิน

แห่งประเทศไทย จำกัด ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์สถานที่และข้อมูลสำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ท้ายสุดนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยฉบับนี้จะมีคุณประโยชน์ต่อการแก้ไข ปัญหามลพิษทางเสียง ที่มีสาเหตุจากเสียงความถี่ต่ำ ทั้งนี้เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชนต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

1. Geoff 2003, A Review of Published Research on Low Frequency Noise and Its Effects. [online] available from : <http://www.wind-watch.org/documents/review-of-published-research-on-low-frequency-noise-and-its-effects/>
2. Introduction to Acoustics and Aircraft Noise Terminology 2009. [Online] available from : www.noise-mitigation-symposium.com/.../Background%20Noise_Bajdek.ppt
3. Federal Aviation Administration 1999. Report on Land Use Compatibility and Airports. Federal Aviation Administration USA.
4. DIN 4150-3:1999 Structural vibration - Effects of vibration on structures
5. ISO2631-2:2003 Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration
6. Department of Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), 2001 Low Frequency Noise Technical Research Support for DEFRA Noise Programme [Online] available from : <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/158512/0042973.pdf>



งานวิจัยด้านสารอันตราย



- สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในนาข้าวพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย
(Pesticide Residue in Paddy Field of Central Thailand)



สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในนาข้าวพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย (Pesticide Residue in Paddy Fields of Central Thailand)

วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ ชวนพิศ บุญย้อย วิภาณ แก้วประสม

สุธีรา พุ่มพวง และ เรียม ยินดี

V. Patarasiriwong, C. Boonyoy, V. Kaewprsom, S. Pumpuang and R. Yindee

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในน้ำและดินจากนาข้าว 14 แห่ง ในพื้นที่ 3 จังหวัด คือ ชัยนาท สุพรรณบุรี และ นครปฐม ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวหลักในเขตภาคกลางของประเทศไทย ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์-กันยายน 2550 พบว่าในตัวอย่างน้ำมีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช 3 ชนิด ได้แก่ endosulfan, fenobucarb และ isoprocarb โดยมีความเข้มข้น 0.1-0.64, 10 และ น้อยกว่า 20-110 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างดินพบการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช 10 ชนิด ได้แก่ endosulfan, fenobucarb, isoprocarb, chlorpyrifos, deltamethrin, permethrin, cypermethrin, carbofuran, carbendazim และ glyphosate ที่ความเข้มข้น 0.01-0.07, น้อยกว่า 0.02-0.04, น้อยกว่า 0.02-0.09, น้อยกว่า 0.03-0.07, 0.01-0.19, 0.01-6.73, 0.01-0.03, 0.02, น้อยกว่า 0.005-0.02 และ 0.01-0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบในดินนั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547)

คำสำคัญ: นาข้าว, สารกำจัดศัตรูพืช, residue, endosulfan, chlorpyrifos, deltamethrin, permethrin, cypermethrin, carbofuran, carbendazim, glyphosate

Abstract

Soil and water samples were collected from 14 paddy fields in 3 provinces located in central part of Thailand, namely, Chainat, Suphanburi and Nakhonpathom, the main rice production areas, during February–September, 2007, in order to analyze pesticide residue. Three pesticides found in water samples were endosulfan, fenobucarb and isoprocarb with concentration of 0.1-0.64, 10 and less than 20-110 $\mu\text{g/l}$, respectively. Ten pesticides found in soil sample were endosulfan, fenobucarb, isoprocarb, chlorpyrifos, deltamethrin, permethrin, cypermethrin, carbofuran, carbendazim and glyphosate in the range of 0.01-0.07, <0.02-0.04, <0.02-0.09, <0.03-0.07, 0.01-0.19, 0.01-6.73, 0.01-0.03, 0.02, <0.005-0.02 and 0.01-0.21 mg/kg , respectively. Pesticide concentrations found in soil sample were not exceed the Thailand's soil quality standard for habitat and agriculture (2004).

Keywords: paddy field, pesticide, residue, endosulfan, chlorpyrifos, deltamethrin, permethrin, cypermethrin, carbofuran, carbendazim, glyphosate

1. บทนำ

ในประเทศไทยภาคการเกษตรเป็นภาคที่มีสัดส่วนโดยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2546 ในจำนวนนี้ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศ ทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออกต่างประเทศ พื้นที่เพาะปลูกข้าวมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมด โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวหลักอยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ^[1]

ประเทศไทยมีแนวโน้มการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา จากข้อมูลการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชพบว่าในปี พ.ศ. 2548-2550 มีการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชในประเทศไทยรวม 73,965,711.10, 94,034,513.63, 113,886,941.39 และ 108,032,215.84 กิโลกรัมต่อปีตามลำดับ^[2] การนำสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมากเหล่านี้ไปใช้ในการรักษาและเพิ่มผลผลิต อาจก่อให้เกิดการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในดินเพาะปลูก ซึ่งจะถูกชะล้างโดยน้ำลงสู่พื้นดินชั้นล่างและซึมผ่านชั้นดินลงสู่ลำน้ำใต้ดิน หรือถูกชะล้างจากน้ำผิวดินลงสู่แม่น้ำ รวมทั้งอาจถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารเข้าสู่สิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้ ส่วนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในน้ำก็จะถูกระบายออกจากพื้นที่การเกษตรลงสู่คลองเชื่อมต่อและแม่น้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำได้

รัฐบาลไทยมุ่งส่งเสริมการเกษตรอินทรีย์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 โดยเน้นการผลิตที่ไม่ใช้สารเคมีหรือใช้ในระดับที่ปลอดภัย เนื่องจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชบางชนิดยังไม่มีสารชีวภาพมาทดแทนได้ รูปแบบของสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในการเกษตรจึง

เปลี่ยนแปลงไป โดยเน้นการใช้สารที่มีฤทธิ์ตกค้างสั้น ย่อยสลายได้ง่ายโดยธรรมชาติ และใช้เท่าที่จำเป็น^[3] นอกจากนั้นรัฐบาลยังใช้มาตรการทางกฎหมายในการประกาศห้ามใช้ หรือการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชที่พบว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม^[4]

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงทำการศึกษานิตและปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่นาข้าวภาคกลาง เพื่อให้ทราบสถานการณ์ปัจจุบันของการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม และเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการศึกษาแนวทางในการจัดการการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชต่อไป

2. วิธีการศึกษา

ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำจากนาข้าว 14 แห่ง ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์-กันยายน 2550 เดือนละ 1 ครั้ง ในพื้นที่ 3 จังหวัด คือ ชัยนาท สุพรรณบุรี และ นครปฐม ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวหลักในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศ และมีการทำนาเกือบตลอดทั้งปี (ตารางที่ 1) โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างในพื้นที่นาข้าวตามแนวเส้นแบ่งกลางแปลงทั้งแนวตั้งและแนวนอน นำมาคลุกเคล้ารวมกัน เก็บตัวอย่างน้ำ 4 ลิตร ใส่ขวดแก้วสีชา และเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 1 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติก ทำการเก็บรักษาตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดไว้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยส่งไปวิเคราะห์ยัง บริษัท ห้องปฏิบัติการกลางตรวจสอบผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร จำกัด สาขา กรุงเทพฯ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยอ้างอิงจากวิธีการของ USEPA ดังมีรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รายละเอียดพื้นที่ศึกษา		
จังหวัด	รายละเอียด	รหัสเกษตรกร
ชัยนาท	หมู่ 13 ต.แพรกศรีราชา อ.สรรคบุรี	ชน_สค_01 ชน_สค_02
	หมู่ 7 ต.วังไก่อเถื่อน อ.หันคา	ชน_หค_01 ชน_หค_02
สุพรรณบุรี	หมู่ 3 ต.ดอนโพธิ์ทอง อ.เมือง	สพ_ม_01 สพ_ม_02
	หมู่ 6 ต.มดแดง อ.ศรีประจันต์	สพ_ศป_01 สพ_ศป_02
	หมู่ 4 ต.กระเสียว อ.สามชุก	สพ_สช_01
	หมู่ 9 ต.กระเสียว อ.สามชุก	สพ_สช_02
นครปฐม	หมู่ 9 ต.ดอนพุทรา อ.ดอนตูม	นฐ_ดต_ 01 นฐ_ดต_ 02
	หมู่ 4 ต.บางเลน อ.บางเลน	นฐ_บล_ 01
	หมู่ 14 ต.บางระกำ อ.บางเลน	นฐ_บล_ 02

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในน้ำและดินจากนาข้าว 14 แห่ง ในพื้นที่ 3 จังหวัด คือ ชัยนาท สุพรรณบุรี และนครปฐม ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์-กันยายน 2550 แสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่ามีสารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกประกาศเป็นวัตถุอันตรายห้ามใช้ในประเทศไทย คือ endosulfan ตกค้างอยู่ในตัวอย่างน้ำระหว่าง 0.1-0.64 ไมโครกรัม/ล. และตัวอย่างดินระหว่าง 0.01-0.07 มก./กก. สารที่มีการตกค้างทั้งในน้ำและดินอีก 2 ชนิด คือ fenobucarb ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม/ล. ในน้ำ และ น้อยกว่า 0.02-0.04 มก./กก. ในดิน และ isoprocarb ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 20-110 ไมโครกรัม/ล. ในน้ำ และ น้อยกว่า

0.02 - 0.09 มก./กก. ในดิน สำหรับสารกำจัดศัตรูพืชที่พบในตัวอย่างดินโดยไม่พบในตัวอย่างน้ำ ได้แก่ chlorpyrifos (ความเข้มข้น น้อยกว่า 0.03-0.07 มก./กก.) deltamethrin (ความเข้มข้น 0.01-0.19 มก./กก.) permethrin (ความเข้มข้น 0.01-6.73 มก./กก.) cypermethrin (ความเข้มข้น 0.01-0.03 มก./กก.) carbofuran (ความเข้มข้น 0.02 มก./กก.) carbendazim (ความเข้มข้น น้อยกว่า 0.005-0.02 มก./กก.) และ glyphosate (ความเข้มข้น 0.01-0.21 มก./กก.) โดยสารที่พบบ่อยที่สุด คือ ได้แก่ permethrin carbendazim และ glyphosate ซึ่งพบในตัวอย่างดิน 14 12 และ 11 แห่ง จากพื้นที่เก็บตัวอย่าง 14 แห่ง ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารที่

ตารางที่ 2 ชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชที่ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างดินและน้ำ

กลุ่ม	จำนวน (ชนิด)	สารกำจัดศัตรูพืช	วิธีวิเคราะห์*
Organochlorines	10	BHC, heptachlor & hept. epoxide, aldrin & dieldrin, dicofol, DDT, chlordane, endosulfan, endrin	In house method based on EPA Method 508 by GC/-ECD
Organophosphates	22	DDVP, methamidophos, mevinphos, omethoate, diazinon, dicrotophos, monocrotophos, dimethoate, pimiphos-methyl, pimiphos-ethyl, chlorpyrifos, parathion-methyl, parathion-ethyl, malathion, fenitrothion, prothiofos, methidathion, profenofos, ethion, triazophos, EPN, azinphos-ethyl	In house method based on EPA Method 507 by GC/FPD
Carbamates	9	carbendazim**, oxamyl, methomyl, aldicarb, carbofuran, carbaryl, isoprocarb, fenobucarb, methiocarb	In house method based on EPA Method 507 by LC/MS
Pyrethroids	7	deltamethrin, bifenthrin, permethrin, lambda-cyhalothrin, cypermethrin, cyuthrin, fenvalerate	In house method based on EPA Method 508 by GC/ μ -ECD
Herbicides	2	2,4-D**	In house method based on Journal of Analytica Chimica Acta 626 (2008) p.10-20 by LC-MS/MS
		Glyphosate**	In house method based on Journal of Chromatography A, 886 (2000), p.207-216 by HPLC/Post-column derivatizer

* วิธีการวิเคราะห์โดยบริษัท ห้องปฏิบัติการกลางตรวจสอบผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร จำกัด

(http://www.centallabthai.com)

** หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำ



ภาพที่ 1 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ตรวจพบในตัวอย่างดินมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) (ตารางที่ 5)

แม้ว่าประเทศไทยจะมีกฎหมายประกาศห้ามใช้สารกำจัดศัตรูพืชบางชนิดแล้วก็ตาม แต่ยังพบว่าการตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น endosulfan เป็นสารที่ถูกห้ามใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547^[4] เนื่องจากมีความเป็นพิษต่อปลาสูง แต่สามารถตรวจพบ endosulfan ทั้งในน้ำและดินจากนาข้าว

จากการสำรวจพบว่าเกษตรกรบางรายยังคงมีการใช้สารดังกล่าว เนื่องจากเป็นสารที่จัดหาและได้มาก่อนการประกาศห้ามใช้ และนอกจาก endosulfan แล้ว ในการศึกษาี้ยังสำรวจพบว่าเกษตรกรบางรายมีการใช้สาร monocrotophos ซึ่งเป็นสารที่ถูกห้ามใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543^[4] เนื่องจากมีพิษเฉียบพลันสูง และพบพิษตกค้างในผลผลิตการเกษตรในปริมาณสูงเกินค่าปลอดภัย อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบการตกค้างของสาร monocrotophos ในตัวอย่าง

ตารางที่ 3 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบในน้ำจากนาข้าวในจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี และ นครปฐม จากการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงกันยายน 2550 (ไมโครกรัม/ล.)^{1/}

จังหวัด	รหัสตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	Organochlorine	Carbamates	
			endosulfan	fenobucarb	isoprocarb
สุพรรณบุรี	สป_สช_01	7	nd ^{2/}	0.01 (1) ^{3/}	nd
	สป_สป_01	7	0.33 (1)	nd	nd
	สป_ม_02	6	nd	nd	0.11 (1)
นครปฐม	นฐ_บล_01	6	0.1-0.64 (2)	nd	nd
	นฐ_ดต_01	6	nd	nd	<0.02 (1)
	LOD ^{4/}		0.1	5	5

^{1/} แสดงเฉพาะสารเคมีที่ตรวจพบเท่านั้น

^{3/} ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ

^{2/} nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (not detected)

^{4/} LOD = Limit of Detection

ตารางที่ 4 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบในน้ำจากนาข้าวในจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี และนครปฐม จากการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กันยายน 2550 (ไมโครกรัม/ล.)^{1/}

จังหวัด	รหัสตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	Organochlorine	Organophosphate	Pyrethroids			Carbamates				Herbicide	
			endosulfan	chlorpyrifos	deltamethrin	permethrin	cypermethrin	fenobucarb	isoprocarb	carbofuran	carbendazim	glyphosate	
ชัยนาท	ชน_หค_01	7	nd ^{2/}	<0.03 (1) ^{3/}	0.04 (1)	1.16 (1)	nd	<0.02 (1)	nd	nd	nd	0.02 (1)	
	ชน_หค_02	7	nd	<0.03 (1)	0.01 (1)	0.41 (1)	nd	<0.02 (1)	nd	<0.02-0.06 (3)	nd	0.03-0.09 (2)	
	ชน_สค_01	7	nd	<0.03-0.01 (3)	nd	0.25 (1)	0.02 (1)	nd	<0.02-0.03 (3)	nd	<0.005-0.007 (6)	0.01-0.21 (4)	
	ชน_สค_02	6	nd	<0.03-0.07 (5)	nd	0.14 (1)	nd	0.04 (1)	nd	<0.005 (1)	0.02 (2)	0.01-0.17 (4)	
สุพรรณบุรี	สพ_สข_01	7	nd	0.03 (1)	0.16 (1)	5.24 (1)	0.01 (1)	<0.02 (1)	nd	nd	nd	nd	
	สพ_สข_02	8	nd	nd	nd	0.1-0.14 (2)	nd	nd	<0.02 (1)	nd	<0.005-0.02 (4)	0.01 (1)	
	สพ_ศป_01	8	nd	nd	nd	0.17 (1)	nd	nd	<0.02 (1)	nd	<0.005 (7)	0.01-0.05 (2)	
	สพ_ศป_02	8	nd	nd	0.03 (1)	0.71 (1)	nd	<0.02 (1)	nd	0.02 (1)	<0.005-0.02 (5)	nd	
	สพ_ม_01	6	0.02-0.07 (5)	nd	nd	0.02-0.18 (2)	nd	nd	<0.02-0.02 (2)	nd	<0.005 (1)	0.01-0.07 (2)	
	สพ_ม_02	6	0.02-0.06 (4)	nd	nd	0.33 (1)	nd	nd	0.02 (1)	nd	0.005(1)	0.02 (1)	
นครปฐม	นฐ_บล_01	7	0.01-0.02 (2)	nd	0.19 (1)	0.01-6.73 (2)	0.02 (1)	nd	nd	<0.005-0.02 (7)	nd	nd	
	นฐ_บล_02	6	nd	nd	0.01 (1)	0.45 (1)	nd	nd	0.02 (2)	nd	<0.005-0.006 (5)	0.02 (2)	
	นฐ_ดต_01	8	nd	nd	0.02 (1)	0.59 (1)	0.03 (1)	nd	<0.02-0.09 (3)	nd	0.007-0.02 (7)	0.01-0.04 (2)	
	นฐ_ดต_02	7	0.01 (1)	0.02 (1)	0.01 (1)	0.04-0.41 (2)	nd	nd	nd	<0.005-0.009 (7)	0.05 (1)	0.01	
	LOD ^{4/}				0.01							0.003	

^{1/} แสดงเฉพาะสารเคมีที่ตรวจพบเท่านั้น

^{2/} nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (not detected)

^{3/} ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ

^{4/} LOD = Limit of Detection

ตารางที่ 5 ค่ามาตรฐานสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย
และเกษตรกรรม

สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
1) อะทราซีน (Atrazine)	ต้องไม่เกิน 22
2) คลอเดน (Chlordane)	ต้องไม่เกิน 16
3) 2,4-ดี (2,4-D)	ต้องไม่เกิน 690
4) ดีดีที (DDT)	ต้องไม่เกิน 17
5) ดิลดริน (Dieldrin)	ต้องไม่เกิน 0.3
6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	ต้องไม่เกิน 1.1
7) เฮปตาคลอร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide)	ต้องไม่เกิน 0.5
8) ลินเดน (Lindane)	ต้องไม่เกิน 4.4
9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	ต้องไม่เกิน 30

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)^[5]



ภาพที่ 2 ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในนาข้าว



ภาพที่ 3 สาร Endosulfan และ Monocrotophos ที่ยังพบการใช้ในเกษตรกรบางราย

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในน้ำและดินจากนาข้าว 14 แห่ง ในพื้นที่ 3 จังหวัด คือ ชัยนาท สุพรรณบุรี และนครปฐม ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-กันยายน 2550 พบว่าสารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบในดินนามีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) อย่างไรก็ตามพบสารตกค้างบางชนิดเป็นสารที่ถูกห้ามใช้ในประเทศไทยแล้วหลายปี รวมทั้งจากการสำรวจพบว่าบางชนิดยังมีการซื้อขายอยู่ในท้องตลาด ซึ่งเห็นว่าภาครัฐควรมีมาตรการที่เข้มงวดในเรื่องการนำสารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกห้ามใช้มาใช้ในการเกษตร เกษตรกรควรจะได้รับทราบข้อมูลความปลอดภัยเกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องครบถ้วน และควรมีความตระหนักในเรื่องผลกระทบของการใช้สารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวที่จะมีต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคมเนื่องจากหากผลิตผลมีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช จะไม่สามารถส่งเป็นสินค้าออกไปต่างประเทศได้

5. เอกสารอ้างอิง

1. Food and Drug Administration of the Royal Thai Government. 2005. Thailand Chemicals Management Profile 2005.
2. กรมวิชาการเกษตร. 2553ก. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตราย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://as.doa.go.th/ard/stat2.php?cat=2>. (วันที่ค้นข้อมูล: 11 มกราคม 2553).
3. กรมวิชาการเกษตร. 2553ข. การผลิตพืชอินทรีย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://it.doa.go.th/organic/index.html> (วันที่ค้นข้อมูล: 11 มกราคม 2553).
4. ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2553. พระราชบัญญัติวัตถุอันตรายและประกาศที่เกี่ยวข้อง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.chemtrack.org/Law-Chem.asp>. (วันที่ค้นข้อมูล: 30 มกราคม 2553).
5. กรมควบคุมมลพิษ. 2553. มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html#s1 (วันที่ค้นข้อมูล: 11 มกราคม 2553)

งานวิจัยด้านน้ำและขยะ



- โครงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป
(Project on Efficiency Verification Testing of Wastewater Treatment Tank)
- การบำบัดน้ำชะขยะด้วยเทคนิคกำแพงดินประดิษฐ์
(Permeable Reactive Barrier for Leachate Treatment)



โครงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป

(Project on Efficiency Verification Testing of Wastewater Treatment Tank)

สุดา อธิสุภรณ์รัตน์ ชวาลา เสี่ยงล้ำ ไกรสร วงศรีลา อุนพงษ์ ปุณโณทก
 วริศรา สุนทรวัฒน์พงศ์ ปณจา ไยทาวร มีศักดิ์ มิลินทวิสมัย และ บุญชอบ สุธมนัสวงศ์
 Suda Ittisupornrat, chawala Sienglum, Krison Wongsila, Anupong Poonnotok,
 Varisara Sunthornwatthanaphong, Panja Yaithavorn, Mesak Milintawisamai and
 Boonchob Suthamanuswong

บทคัดย่อ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ร่วมกับ คณะกรรมการของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบไร้อากาศ ขนาด 1600 ลิตร ซึ่งเหมาะสำหรับครัวเรือนที่มีผู้อยู่อาศัยจำนวน 5 คน จากบริษัทผู้ผลิตถังบำบัดน้ำเสียที่เข้าร่วมทดสอบ จำนวน 9 ราย เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป โดยใช้น้ำเสียและสถานที่ทดสอบ บริเวณทัศนสถานวัยหนุ่มกลาง อ.อัญบุรี จ.ปทุมธานี การดำเนินการทดสอบ แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (start up) การทดสอบในสภาวะปกติ และการทดสอบในสภาวะผิดปกติ โดยในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ และการทดสอบในสภาวะปกติ ได้กำหนดการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในอัตราคงที่ คือ 1 ลูกบาศก์เมตร/วัน ($\pm 10\%$) ซึ่งใช้เวลาในแต่ละช่วงประมาณ 3 เดือน และการทดสอบในสภาวะผิดปกติ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 6 เดือน โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะด้วยกัน คือ การทดสอบน้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ 2 เท่า {2 ลูกบาศก์เมตร/วัน ($\pm 10\%$)} น้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่าปกติ 2 เท่า {0.5 ลูกบาศก์เมตร/วัน ($\pm 10\%$)} และไม่มีน้ำเสียเข้าระบบ การเดินระบบในสภาวะผิดปกติ แต่ละระยะนั้น จะทำการทดสอบตามสภาวะที่กล่าวข้างต้น เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน แล้วจึงทำการเดินระบบในสภาวะปกติ {1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ($\pm 10\%$)} เพื่อดูผลการฟื้นตัวของระบบ

ผลการทดสอบ พบว่า ช่วงเริ่มต้นเดินระบบใช้เวลาถึง 6 เดือน เนื่องจาก ต้องทำการปรับอัตราการจ่ายน้ำเสียเข้าระบบให้คงที่ โดยอยู่ในช่วง 1 ลูกบาศก์เมตร/วัน ($\pm 10\%$) ส่วนการทดสอบในแต่ละสภาวะ เมื่อพิจารณาถึงค่าสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีจากน้ำเสียเข้าระบบที่มากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ผลการทดสอบในสภาวะปกติ มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 72-77 โดยค่าบีโอดีหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยของแต่ละถังอยู่ในช่วง 52-53 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดสอบในสภาวะผิดปกติ โดยการป้อนน้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ 2 เท่า น้อยกว่าปกติ 2 เท่า และเมื่อไม่มีน้ำเข้าระบบ พบว่า แต่ละสภาวะไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี โดยเฉลี่ยสำหรับการทดสอบสภาวะผิดปกติทั้ง 3 ระยะ อยู่ในช่วงร้อยละ 61-73 โดยค่าบีโอดีหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 42-74 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการทดสอบ แสดงว่า ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปมีศักยภาพในการรองรับสภาวะผิดปกติได้ดี เมื่อเกิดสภาวะผิดปกติภายในระยะเวลาไม่เกิน 5 วัน

คำสำคัญ: ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป, ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย, มาตรฐานถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป

Abstract

Environmental Research and Training Center in cooperation with Industrial Standardization committee have conducted treatment efficiency verification project of 1,600 liters household wastewater treatment tanks. The tanks received sewage from Young Correction Offender Prison at Thanyaburi District, Pathumthani Province at the rate equivalent to sewage of a house where 5 persons living in. There are 9 tank manufacturers joining the project. The result of the verification will be used to support a standardization program for commercial wastewater treatment tanks of the Office of Industrial Standard of Thailand. Operation procedure was divided into 3 phases of test: start up, normal and stress test. For start up and normal test, the tested tanks were charged with wastewater at a constant flow rate of 1 m³/day ($\pm 10\%$) for a period of 3 months of each phase. For stress test period of 6 months, three types of wastewater charge rate: double, half and no-charge were conducted. Each mode was run at 5 consecutive days and return to normal flow mode. In each phase, BOD and nutrient removal efficiency of the tanks were monitored.

The result showed that for influent having BOD more than 100 mg/L, average percentage BOD removal efficiency of normal test was in the range of 72-77 and generate BOD effluent in the range of 52-53 mg/L. In the stress tests, average percentage BOD removal efficiency was in the range of 61-73 and generates BOD effluent in the range of 42-74 mg/L respectively. The obtained data indicates that there is no effect on removal efficiency of the tanks by the stress test. It implies that commercial wastewater treatment tanks can tolerate stress conditions simulated in this study.

Keywords: wastewater treatment tank, removal efficiency of wastewater, wastewater treatment tank standard

1. บทนำ

การบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนของบ้านที่สร้างขึ้นใหม่ และบ้านที่สร้างมาแต่เดิมจำนวนมาก โดยเฉพาะที่ตั้งอยู่ในเขตเมือง มักบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (primary treatment) เองโดยการใช้ถังบำบัดน้ำเสียที่มีจำหน่ายอย่างแพร่หลายในท้องตลาด ซึ่งเป็นระบบที่ทำการติดตั้งได้ง่าย เมื่อติดตั้งแล้วก็ไม่ต้องมีผู้ดูแลรักษาระบบ ถึงแม้ว่า โรงงานผู้ผลิตบางรายจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของถังที่ผลิตโดยโรงงานของตนเอง แต่การทดสอบไม่ได้มีมาตรฐานกลางของเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบ ดังนั้น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบในการออกมาตรฐานให้กับระบบถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป จึงได้ร่วมมือกับศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จัดทำโครงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปขึ้น โดยให้ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานเพื่อทำงานวิจัยทดสอบ (Testing organization) และคณะกรรมการวิชาการพิจารณามาตรฐานถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปเป็นผู้ควบคุม กำกับการทดสอบ และพิจารณาข้อมูลที่ได้ เพื่อนำเสนอข้อมูลในการนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปต่อไป

โครงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปนี้ นอกจากจะมีประโยชน์ในการออกมาตรฐานให้กับถังบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปเพื่อผู้บริโภคจะสามารถเลือกใช้ถังบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพดีแล้ว ยังจะกระตุ้นให้ผู้ผลิตถังบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปเกิดการแข่งขันกัน เพื่อพัฒนาถังบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปของตนเองให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป ซึ่งก็จะเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่จะสามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่กำลังเสื่อมโทรมลงของแหล่งน้ำลงได้

2. วิธีการศึกษา

2.1 บริษัทผู้ผลิตที่เข้าร่วมโครงการ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป โดยมีผู้ผลิตถังบำบัดน้ำเสียจากเอกชนเข้าร่วมโครงการ การทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบไร้อากาศ ขนาด 1,600 ลิตร สำหรับครัวเรือนที่มีผู้อยู่อาศัย 5 คน จำนวน 9 บริษัท ซึ่งถังบำบัดน้ำเสียที่เข้าร่วมโครงการได้ถูกกำหนดรหัสถึงเป็น A-I

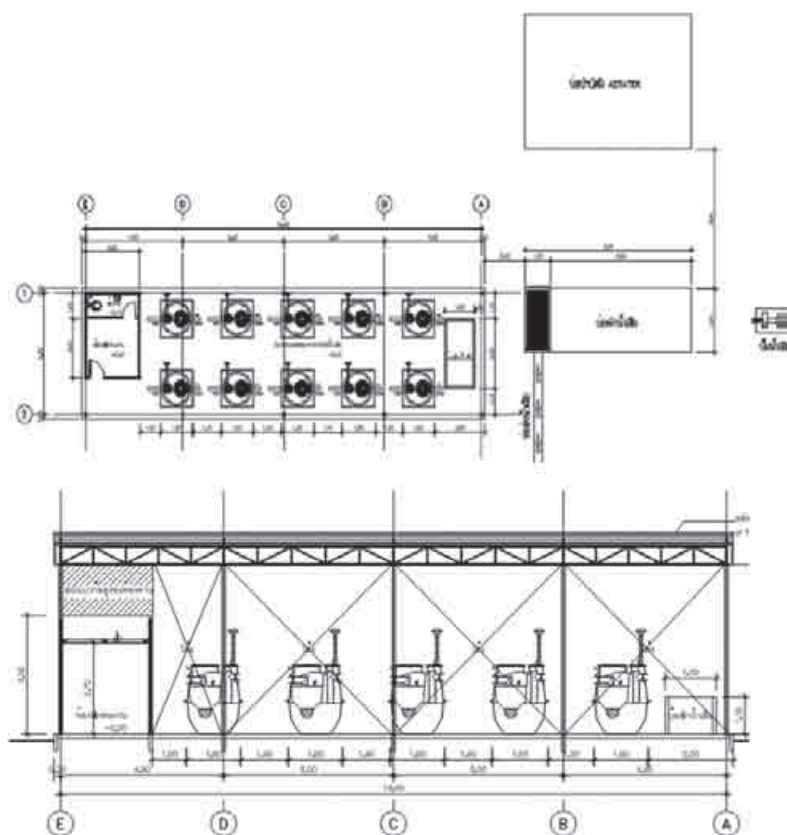
2.2 ลักษณะการทำงานของพื้นที่ทดสอบ

พื้นที่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียของทัตสสถานวิทยามุขกลาง ตำบลคลองหก อำเภอดุสิต จังหวัดปทุมธานี ที่มีน้ำเสียจากเรือนจำ ได้ถูกใช้เป็นตัวแทนน้ำเสียจากชุมชนและเป็นสถานที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ดังภาพที่ 1

โรงเรือนทดสอบสามารถทำการทดสอบถังบำบัดน้ำเสียได้คราวละ 10 หน่วย แถวละ 5 หน่วย ทำการควบคุมปริมาณน้ำเสียเข้าระบบด้วยปั้มน้ำ 4 ตัว โดย 2 ตัวแรก จะทำงานสลับกันโดยการปั้มน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของทางเรือนจำเข้ามาที่บ่อพักน้ำเสียของโรงเรือนทดสอบ ควบคุมการทำงานโดยใช้ลูกกลอยเป็นตัวกำหนดการปั้มน้ำแบบอัตโนมัติ ส่วนปั้มน้ำอีก 2 ตัวอยู่ที่ บ่อพักน้ำเสียของโรงเรือนทดสอบ ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยการตั้งเวลา (Timer) การจ่ายน้ำเสียเข้าระบบ น้ำเสียที่เข้าระบบจะไหลผ่านเวย์ร์ทำให้ลักษณะสมบัติและปริมาตรน้ำใกล้เคียงกัน

2.3 สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสีย

ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปเป็นการบำบัดทางชีวภาพ แบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งภายในถังมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ ส่วนของถังเกราะทำหน้าที่ตกตะกอนสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย และส่วนของถังกรองซึ่งมีตัวกลาง(media) บรรจุ



ภาพที่ 1 พื้นที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ด้านบนและด้านข้าง

อยู่ในถัง ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ ดังนั้นในระยะแรก ควรมีการปรับสภาพการเริ่มต้นเดินระบบ (start up) เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพคงที่ ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ ซึ่งการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการทดสอบในสภาวะปกติ (normal test) และการทดสอบในสภาวะผิดปกติ (stress test) (ปรับปรุงจาก Newton, 2001) ซึ่งการทดสอบในสภาวะปกติ เหมือนกับการเริ่มต้นเดินระบบ คือการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในอัตรา 1,000 ลิตร/ชั่วโมง ($\pm 10\%$) หรือมีน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 900 – 1,100 ลิตร/วัน ส่วนการทดสอบในสภาวะผิดปกติ แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

1. สภาวะที่น้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ
ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบโดยมีปริมาตรน้ำเสียมากกว่า 2 เท่าของการเดินระบบปกติ คือ มีน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 1,800 – 2,200 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) เป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน ด้วยการตั้ง

เวลาเพิ่มขึ้นจากการเดินระบบปกติ วันละ 12 ชั่วโมง เป็น 24 ชั่วโมง ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบเท่าเดิม หลังจาก 5 วันแล้ว จึงเดินระบบในสภาวะปกติ และวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อดูการฟื้นตัวของระบบภายใน 2 เดือน

2. สภาวะที่น้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่าปกติ
ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบโดยมีปริมาตรน้ำเสียน้อยกว่า 2 เท่าของการเดินระบบปกติ คือมีน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 450-550 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) เป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน ด้วยการตั้งเวลาลดลงจากการเดินระบบปกติวันละ 12 ชั่วโมง เป็น 6 ชั่วโมง ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบเท่าเดิม หลังจาก 5 วันแล้ว จึงเดินระบบในสภาวะปกติ และวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อดูการฟื้นตัวของระบบภายใน 2 เดือน

3. สภาวะที่ไม่มีน้ำเสียเข้าระบบ
ทำการหยุดเดินระบบ เป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน หลังจาก 5 วันแล้ว จึงเดินระบบในสภาวะ

ปกติ และวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อดูการฟื้นตัวของระบบภายใน 2 เดือน

ซึ่งสภาวะน้ำเสียที่เข้าระบบสำหรับใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียชุมชน ควรมีค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 100-450 มิลลิกรัม/ลิตร, ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด อยู่ในช่วง 150-500 มิลลิกรัม/ลิตร, ทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 25-70 มิลลิกรัม/ลิตร, ฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 3-20 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6-9

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีมาตรฐานของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. 1998. Prepare and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ บีโอดี, ซีโอดี, สารแขวนลอย, สารละลายได้ทั้งหมด, ตะกอนหนัก, ทีเคเอ็น, ซัลไฟด์, ไบโอมและน้ำมัน, และฟอสฟอรัส ทั้งหมด

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 การตั้งเวลาการจ่ายน้ำเข้าระบบ

ในช่วงแรกของเดือนพฤษภาคม - กันยายน 2551 ที่ทำการป้อนน้ำเสีย 24 ชั่วโมง/วัน ได้มีปัญหาในการปรับน้ำเข้าระบบให้อยู่ในช่วงปริมาณที่กำหนด จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนการตั้งเวลาการจ่ายน้ำเข้าระบบเป็น 12 ชั่วโมง/วัน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และเพื่อสะดวกในการปฏิบัติงานในการทดสอบแต่ละสภาวะอย่างต่อเนื่อง โดยจะทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบด้วยการตั้งเวลา ที่เปิด 12.5 นาที และ ปิดที่ 17.5 นาที ทำให้ระบบจะทำการป้อนน้ำเสียเข้าถังบำบัดน้ำเสีย 2 ครั้ง/ชั่วโมง ซึ่งอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าถังบำบัดอยู่ในช่วง 75-91 ลิตร/ชั่วโมง โดยการเดินระบบ 12 ชั่วโมง/วัน สำหรับการเริ่มต้น

เดินระบบ และการเดินระบบในสภาวะปกติ ส่วนการเดินระบบในสภาวะที่น้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ 2 เท่า จะทำการตั้งเวลาการจ่ายน้ำเข้าระบบเป็น 24 ชั่วโมง ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเท่าเดิม เช่นเดียวกัน เมื่อทำการทดสอบระบบในสภาวะที่น้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่าปกติ 2 เท่า จะทำการตั้งเวลาการจ่ายน้ำเข้าระบบ เป็น 6 ชั่วโมงแทน ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเท่าเดิม ดังตารางที่ 1

สำหรับการเริ่มต้นเดินระบบและการทดสอบในสภาวะปกติ ส่วนใหญ่การป้อนน้ำเข้าระบบเฉลี่ยแต่ละเดือนจะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังตารางที่ 2 ส่วนการทดสอบในสภาวะผิดปกติทั้งน้ำเสียเข้าระบบมากกว่าและน้อยกว่าปกติ 2 เท่า สามารถแสดงผลปริมาณน้ำได้ดังตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในช่วงการทดสอบน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า 2 เท่า จากการเดินระบบปกติ ซึ่งควรอยู่ในช่วง 1,800 – 2,200 ลิตร/วัน ($2,000 \pm 10\%$) พบว่าเกือบจะทุกถังสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ยกเว้นถังรหัส H ที่ปริมาณน้ำเข้าระบบ วันที่ 1, 2 และ 5 เลยจากช่วงที่กำหนด จึงทำการปรับลดปริมาณน้ำเสียเข้าระบบลงในวันที่ 3 เพื่อให้ค่าเฉลี่ยทั้ง 5 วัน อยู่ในช่วงที่กำหนด ส่วนช่วงการทดสอบน้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่า 2 เท่า จากการเดินระบบปกติ ซึ่งควรอยู่ในช่วง 450 – 550 ลิตร/วัน ($500 \pm 10\%$) พบว่าเกือบจะทุกถังสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ยกเว้นถังรหัส C ที่ปริมาณน้ำเข้าระบบวันที่ 3 เลยจากช่วงที่กำหนด แต่ค่าเฉลี่ยทั้ง 5 วัน ของทุกถังสามารถควบคุมให้อยู่ช่วงที่กำหนด

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ได้ทำการเก็บวิเคราะห์คุณภาพน้ำแบบ composite ทุกชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่สามารถนำค่าสารอินทรีย์ในรูปของ บีโอดีมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียได้ จำนวน 16 ครั้ง ได้แก่

ตารางที่ 1 ผลการตั้งเวลาการจ่ายน้ำเข้าระบบ

เดือน	การตั้งเวลา (นาท)		ต่อวัน (ชั่วโมง)	ช่วงการกำหนดอัตราให้น้ำเข้าถังบำบัด (ลิตรต่อชั่วโมง)
	เปิด	ปิด		
ช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ และช่วงการทดสอบระบบในสภาวะปกติ				
พฤษภาคม – มิถุนายน 2551	6	30	24	38-45
กรกฎาคม - กันยายน 2551	17.5	15	24	38-45
ตุลาคม 2551 - มกราคม 2552	12.5	17.5	12	75-91
ช่วงการทดสอบน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า 2 เท่า จากการเดินระบบปกติ (2-6 กุมภาพันธ์ 2552)				
5 วันติดต่อกัน	12.5	17.5	24	75-91
กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2552	12.5	17.5	12	75-91
ช่วงการทดสอบน้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่า 2 เท่า จากการเดินระบบปกติ (30 มีนาคม-3 เมษายน 2552)				
5 วันติดต่อกัน	12.5	17.5	6	75-91
เมษายน - พฤษภาคม 2552	12.5	17.5	12	75-91
การทดสอบในช่วงไม่มีน้ำเสียเข้าระบบ (31 พฤษภาคม-4 มิถุนายน 2552)				
5 วันติดต่อกัน	0	0	0	0
มิถุนายน - กรกฎาคม 2552	12.5	17.5	12	75-91

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยการป้อนน้ำเสียเข้าระบบตลอดช่วงการทดสอบระบบ

	รหัสถังบำบัดน้ำเสีย/ปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยเข้าระบบ (ลิตร/วัน)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ค่าเฉลี่ย	985	985	1051	1082	1041	1014	991	1040	1048
S.D.	74	103	89	124	118	91	69	115	105

ตารางที่ 3 ผลการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วงการทดสอบในสภาวะผิดปกติ

วันที่	รหัสถังบำบัดน้ำเสีย/ปริมาตรน้ำเสียเฉลี่ยเข้าระบบ (ลิตร/วัน)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ช่วงการทดสอบน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า 2 เท่า จากการเดินระบบปกติ (2-6 กุมภาพันธ์ 2552)									
1	1921	2032	2053	2169	2010	2096	2029	2720	1856
2	1893	2014	1973	2104	1993	1939	1998	2315	1925
3	1913	2018	2005	2046	2083	1915	1999	1105	1990
4	1927	1995	2000	2037	1995	1834	1999	2152	2006
5	1946	2003	2005	2009	2012	2027	2003	2229	1993
ค่าเฉลี่ย	1920	2012	2007	2073	2019	1962	2006	2104	1954

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วงการทดสอบในสภาวะผิดปกติ

วันที่	รหัสถังบำบัดน้ำเสีย/ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยเข้าระบบ (ลิตร/วัน)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ช่วงการทดสอบน้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่า 2 เท่า จากการเดินระบบปกติ (30 มีนาคม – 3 เมษายน 2552)									
1	504	525	504	490	559	519	514	514	536
2	538	502	543	538	510	511	504	497	498
3	468	484	596	445	497	475	512	531	507
4	546	500	453	521	490	505	497	510	507
5	501	494	511	465	499	547	424	527	513
ค่าเฉลี่ย	511	501	521	492	511	511	490	516	512

- ช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ
 - ครั้งที่ 1: วันที่ 3 มิถุนายน 2551
 - ครั้งที่ 2: วันที่ 16 สิงหาคม 2551
 - ครั้งที่ 3: วันที่ 8 ตุลาคม 2551
 - ช่วงการทดสอบในสภาวะปกติ
 - ครั้งที่ 4: วันที่ 21 พฤศจิกายน 2551
 - ครั้งที่ 5: วันที่ 16 ธันวาคม 2551
 - ครั้งที่ 6: วันที่ 6 มกราคม 2552
 - ครั้งที่ 7: วันที่ 22 มกราคม 2552
 - ช่วงการทดสอบในสภาวะน้ำเสียเข้าระบบมากกว่า 2 เท่าของการเดินระบบปกติ
 - ครั้งที่ 8: วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2552
 - ครั้งที่ 9: วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2552
 - ครั้งที่ 10: วันที่ 9 มีนาคม 2552
 - ครั้งที่ 11: วันที่ 29 มีนาคม 2552
 - ช่วงการทดสอบในสภาวะน้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่า 2 เท่าของการเดินระบบปกติ
 - ครั้งที่ 12: วันที่ 4 เมษายน 2552
 - ครั้งที่ 13: วันที่ 21 เมษายน 2552
 - ช่วงการทดสอบในสภาวะไม่มีน้ำเสียเข้าระบบ
 - ครั้งที่ 14: วันที่ 5 มิถุนายน 2552
 - ครั้งที่ 15: วันที่ 18 มิถุนายน 2552
 - ครั้งที่ 16: วันที่ 9 กรกฎาคม 2552
- แต่ละพารามิเตอร์วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานตามประกาศ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยที่ผลการวิเคราะห์ร้อยละ

ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีในแต่ละครั้งสามารถแสดงได้ดังตาราง 4 และประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ทีเคเอ็น สารแขวนลอย สารละลายได้ทั้งหมด ไนโตรเจนและน้ำมัน และซีลไฟต์ ของค่าเฉลี่ยทั้ง 9 ถัง ที่ได้จากน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ โดยพิจารณาจากค่าบีโอดีเข้าระบบมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตรของการทดสอบทุกสภาวะพบว่า ค่าบีโอดีเข้าและออกจากระบบ เฉลี่ยเป็น 150 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยเป็น 66 และ 62 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าสารแขวนลอยเฉลี่ยเป็น 105 และ 32 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าสารละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเป็น 577 และ 517 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าไนโตรเจนและน้ำมันเฉลี่ยเป็น 9.8 และ 5.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยเป็น 6.9 และ 5.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าซีลไฟต์เฉลี่ยเป็น 1.7 และ 8.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าถังบำบัดน้ำเสียมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีได้ดี รองลงมาได้แก่ สารแขวนลอย ไนโตรเจนและน้ำมัน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ทีเคเอ็น และสารละลายได้ทั้งหมด ตามลำดับ ในขณะที่ ค่าซีลไฟต์ ระบบไม่สามารถทำการบำบัดได้ ซึ่งน้ำเสียออกจากระบบจะแสดงค่าซีลไฟต์เพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

ตารางที่ 4 ร้อยละประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีในสภาวะต่างๆ ของการทดสอบ																
สภาวะการทดสอบ	start up system			สภาวะปกติ				น้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ (2 เท่า)					น้ำเสียเข้าระบบ น้อยกว่าปกติ (2 เท่า)		หยุดระบบ	
	397	122	96	186	232	65	59	58	74	115	44	81	76	137		
บีโอดีเข้าระบบ (มก./ล)																
บีโอดีเฉลี่ยออกจากระบบ (มก./ล)	188	44	36	53	52	31	26	41	32	45	25	36	30	44	56	74
รหัสถัง/ครั้งที่	3-มิ.ย.- 51	16- ส.ค.-51	8-ต.ค.- 51	21- พ.ย.-51	16-ธ.ค.- 51	6-ม.ค.- 52	22- ม.ค.-52	7-ก.พ.- 52	24- ก.พ.-52	9-มี.ค.- 52	29- มี.ค.-52	4-เม.ย.- 52	21- เม.ย.-52	5-มิ.ย.- 52	18-มิ.ย.- 52	9-ก.ค.- 52
A	55	57	71	67	78	28	51	28	49	58	43	54	45	66	62	61
B	47	64	71	76	78	49	58	29	62	58	39	52	72	69	71	62
C	54	64	60	66	67	58	63	29	62	56	30	46	62	68	64	-
D	49	52	59	75	80	52	58	29	61	53	39	52	59	64	58	63
E	52	83	57	65	82	62	68	41	58	75	34	57	51	69	66	64
F	50	67	56	76	80	49	41	22	61	56	57	67	66	66	45	56
G	55	70	61	67	78	48	61	31	51	67	55	64	58	69	58	61
H	58	58	60	76	80	63	59	19	61	64	41	56	66	72	56	57
I	52	58	66	75	72	65	47	28	51	59	43	51	67	70	73	63
ค่าเฉลี่ยร้อยละการ บำบัด	53	64	63	72	77	56	56	28	57	61	42	55	61	68	61	61

หมายเหตุ : ถังรหัส C ในช่วงการทดสอบหยุดระบบ วันที่ 9 ก.ค. 52 ไม่สามารถหาค่าบีโอดีได้ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ไม่ผ่านเกณฑ์ การควบคุมคุณภาพ จึงไม่แสดงค่าร้อยละการบำบัด

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิตที่เข้าร่วมดำเนินการ ทั้ง 9 ถัง โดยเริ่มดำเนินการทดสอบระบบตั้งแต่ 1 พฤษภาคม 2551 จากการเริ่มต้นเดินระบบ ทดสอบในสภาวะปกติ ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 1,000 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) หรือ 900 – 1,100 ลิตร/วัน และทดสอบในสภาวะผิดปกติ ได้แก่ การทดสอบน้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ 2 เท่า ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 2,000 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) หรือ 1,800 – 2,200 ลิตร/วัน การทดสอบน้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่าปกติ 2 เท่า ที่อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 500 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) หรือ 450 – 550 ลิตร/วัน และการทดสอบที่ไม่มีน้ำเสียเข้าระบบ เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน หลังจากนั้นจึงป้อนน้ำเสียเข้าระบบในสภาวะปกติ และดูการฟื้นตัวของระบบ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าบีโอดีที่เข้าระบบมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ พบว่าผลการทดสอบในสภาวะปกติ มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 72-77 โดยค่าบีโอดีหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยของแต่ละถังอยู่ในช่วง 52-53 มิลลิกรัม/ลิตร และผลการทดสอบในสภาวะผิดปกติ โดยการป้อนน้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ 2 เท่า น้อยกว่าปกติ 2 เท่า และเมื่อไม่มีน้ำเข้าระบบ พบว่า แต่ละสภาวะไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีโดยเฉลี่ยสำหรับการทดสอบสภาวะผิดปกติทั้ง 3 ระยะ อยู่ในช่วงร้อยละ 61-73 โดยค่าบีโอดีหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 42-74 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นเมื่อนำผลการทดสอบในสภาวะปกติ และสภาวะผิดปกติ ทั้ง 3 แบบมาพิจารณา สามารถสรุปได้ว่า ระบบสามารถทำการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีได้ อยู่ในช่วงร้อยละ 61-77 โดยมีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียออกจากระบบอยู่ในช่วง 42-74 มิลลิกรัม/ลิตร

จากผลการศึกษาที่ได้ คณะกรรมการที่ 717 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้สรุปแผนการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบไร้อากาศ ขนาด 1,600 ลิตร ได้ตั้งตารางที่ 5 เพื่อนำไปใช้เป็นข้อแนะนำ หรือเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ซึ่งถึงแม้ว่าการทดสอบในสภาวะผิดปกติ จะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ ในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีก็ตาม แต่ก็ควรทำการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดในทุกสภาวะของการทดสอบ ส่วนพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ค่าบีโอดี ทีเคเอ็น สารแขวนลอย สารละลายได้ทั้งหมด ฟอสฟอรัส ทั้งหมด ตะกอนหนัก ไขมันและน้ำมัน และซิลิไฟด์ ซึ่งจะทำให้การเก็บตัวอย่างน้ำทุก 2 สัปดาห์ ด้วยวิธีมาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ที่ค่าบีโอดีน้ำเสียเข้าระบบควรมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าร้อยละการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีควรมากกว่า 61 และค่าบีโอดีของน้ำเสียออกจากระบบควรไม่เกิน 74 มิลลิกรัม/ลิตร

สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ทีเคเอ็น สารละลายได้ทั้งหมด และซิลิไฟด์ ที่ระบบไม่สามารถทำการบำบัดหรือบำบัดได้เพียงเล็กน้อยนั้น เนื่องจากคุณลักษณะการทำงานของระบบที่ไม่เอื้อต่อการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าว หรือปัจจัยด้านอื่นๆ ก็ตาม ควรที่จะมีพัฒนาการบำบัดระบบอื่นๆ ที่มีศักยภาพในการลดพารามิเตอร์ดังกล่าวเพิ่มเติมขึ้น เพื่อให้ระบบหรือถังบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ ควรที่จะมีการกำหนดเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบอื่นๆ ที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปประเภทอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 5 แผนการปรับปรุงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป

การทดสอบ	ระยะเวลาในการฟื้นตัวของระบบ	ลักษณะการดำเนินงาน	การเก็บตัวอย่าง
เริ่มต้นเดินระบบ	3 เดือน	ป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 1,000 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$)	ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง
สภาวะปกติ	ไม่เกิน 3 เดือน	ป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 1,000 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$)	ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง
สภาวะผิดปกติ			
น้ำเสียเข้าระบบมากกว่าปกติ 2 เท่า	ไม่เกิน 2 เดือน	ป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 2,000 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) 5 วันติดต่อกัน และเดินระบบในสภาวะปกติ	ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง
น้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่าปกติ 2 เท่า	ไม่เกิน 2 เดือน	ป้อนน้ำเสียเข้าระบบในช่วง 500 ลิตร/วัน ($\pm 10\%$) 5 วันติดต่อกัน และเดินระบบในสภาวะปกติ	ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง
ไม่มีน้ำเสียเข้าระบบ	ไม่เกิน 2 เดือน	หยุดระบบ 5 วันติดต่อกัน และเดินระบบในสภาวะปกติ	ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทผู้ผลิตถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่ได้ให้ความอนุเคราะห์นำถังมาทดสอบ และให้ความสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ขอขอบคุณข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จากคณะกรรมการวิชาการคณะที่ 717 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม รวมทั้งทัศนสถานวัยหนุ่มกลาง ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ก่อสร้างโรงเรือนทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป

6. เอกสารอ้างอิง

- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th Edition. Maryland Composition Company, USA.
- Newton, M. 2001. **Test plan for The Massachusetts Septic System Test Center for Verification testing of Waterloo Biofilter Nutrient Reduction Technology**. Westport Water Resources, USA.



การบำบัดน้ำชะขยะด้วยเทคนิคกำแพงดินประติษฐ์ (Permeable Reactive Barrier for Leachate Treatment)

วาสิกา เศวตโยธิน สุดา อิทธิสุนทรณรัตน์ ชวลา เสี่ยงล้ำ ไกรสร วงศ์ริลา
วริศรา สุนทรวัฒนพงศ์ อุนพอง ปุณโกนก มีศักดิ์ มิลินทวิสัย
และบุญชอบ สุธมนัสวong

Variga Sawattayothin, Suda Ittisupornrat, Chawala Sienglum, Krison Wongsila,
Varisara Sunthornwatthanaphong, Anupong Punnotok, Mesak Milintawisamai
and Boonchob Suthamanuswong

บทคัดย่อ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการศึกษาวิจัย เรื่อง การบำบัดน้ำชะขยะด้วยเทคนิคกำแพงดินประติษฐ์ (Permeable Reactive Barrier: PRB) ร่วมกับศูนย์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมแห่งเมืองไซตามะ (Center for Environmental Science in Saitama: CESS) ประเทศ ญี่ปุ่น ซึ่งออกแบบและจัดสร้างระบบบำบัดน้ำชะขยะสาธิตในพื้นที่ศึกษาบริเวณหลุมฝังกลบขยะของเทศบาล เมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี

คุณลักษณะของน้ำชะขยะที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการมีค่าซีโอดี 3,627 - 4,160 mg/l และ TKN 1,882-1,887 mg/l การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของดิน ในการบำบัดน้ำชะขยะ โดยใช้การทดสอบแบบ Syringe พบว่าดินแดงซึ่งเป็นชุดดินปากช่อง มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดสาร อินทรีย์ในรูป COD จึงมีความเหมาะสมที่ใช้เป็นวัสดุ PRB แต่อัตราการซึมผ่านน้ำต่ำ จึงต้องมีการผสมดินแดง กับวัสดุ PRB อื่นๆ เช่น ทรายและผงเหล็กเพื่อเพิ่มอัตราการซึมผ่านน้ำ

ระบบบำบัดน้ำชะขยะสาธิตที่ใช้ในการวิจัยมี 2 แบบ ได้แก่ ระบบ PRB สาธิตแบบ Tank และแบบ Trench โดยระบบ PRB แบบ Tank เป็นระบบที่มีการไหลแบบแนวตั้ง มีอัตราการไหล 200 ลิตร/วัน ส่วน ระบบ PRB แบบ Trench เป็นระบบที่มีการไหลแบบแนวนอน มีอัตราการไหล 375 ลิตร/วัน ระบบ PRB แบบ Tank มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุม คิดเป็น ร้อยละ 89 และร้อยละ 84 ตามลำดับ ระบบ PRB สามารถทำการบำบัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำชะขยะ ได้ดี รวมทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส มีค่าเป็นร้อยละ 61 และ 88 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบควบคุมคิดเป็น ร้อยละ 34 และ 47 ตามลำดับเท่านั้น ส่วนการบำบัดสารแขวนลอยในระบบ PRB เมื่อเทียบกับระบบควบคุม เป็น ร้อยละ 71 และร้อยละ 39 นอกจากนี้ระบบสามารถลดความเป็นต่างของน้ำชะขยะให้เป็นกลางมากขึ้น แต่ระบบ PRB ไม่สามารถบำบัดคลอไรด์ ไฮเดียม โพแตสเซียมและแมกนีเซียมได้ ระบบ PRB แบบ Trench มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 42 และระบบควบคุมมีค่าร้อยละ 21 ตามลำดับ และระบบ PRB ไม่สามารถบำบัดคลอไรด์ได้ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยของระบบ PRB เป็นร้อยละ 71 และระบบควบคุมเป็นร้อยละ 74 ทั้งนี้ความเข้มข้นของน้ำชะขยะก่อนเข้าระบบจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

คำสำคัญ: กำแพงดินประติษฐ์ น้ำชะขยะ

Abstract

Environmental Research and Training Center (ERTC), Department of Environmental Quality Promotion (DEQP) has conducted a research entitled Permeable Reactive Barrier (PRB) for leachate treatment by cooperating with Center for Environmental Science in Saitama (CESS), Japan. The PRB systems constructed at Saraburi Municipality landfill site is the treatment system composing of 2 model systems: tank and trench system. Tank system, a vertical flow type and trench system, an horizontal flow type were fed with leachate at flow rate of 200 and 375 L/day respectively.

In order to select a suitable soil used in the experiment, 11 local soil types were tested for removal efficiency of COD by using syringe test with leachate having concentration of COD and TKN in the range of 3,627 – 4,160 mg/l and 1,882-1,887 mg/l respectively. Red soil of Pakchong sery shows highest removal efficiency of COD and TKN but has low hydraulic conductivity (K). Increment of K was done by mixing the soil with sand and iron slag. The improved soil was used as PRB material in pilot systems.

Results of removal efficiencies for BOD of the tank system that is 89 % while of the control is 84 %. Moreover, the system can remove nutrients like nitrogen, phosphorus and suspended solid at efficiencies of 61 %, 88 % and 71 % respectively whereas of the control are 34, 47 %, and 39 % respectively. Moreover, the PRB and control improve alkalinity of leachate from high to neutral level.

Results of the trench system shows that efficiencies of BOD and suspended solid removal are 42 % and 71 % whereas the control are 21 % and 74 % respectively. However the system cannot remove ions like chloride, magnesium and potassium.

Keywords: Permeable Reactive Barrier (PRB), leachate treatment

1. บทนำ

การเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยจากแหล่งต่างๆ ยังมีปัญหาด้านประสิทธิภาพการเก็บรวบรวม นอกจากนั้นการจัดขยะมูลฝอยขององค์กรส่วนท้องถิ่นในเขตเมืองใหญ่ยังนิยมใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งทำให้มีปัญหาด้านการจัดการน้ำชะขยะตามมา ปัญหาของการไหลซึมของน้ำชะขยะออกไปนอกบริเวณฝังกลบซึ่งจะทำให้สารมลพิษชนิดต่างๆ จากน้ำชะขยะ เช่น อินทรีย์สาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เชื้อโรค แพร่ออกไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยง่าย จากผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจากน้ำชะขยะของหลุมฝังกลบเทศบาลแห่งหนึ่ง นอกจากจะพบอินทรีย์สารในรูปของบีโอดีแล้ว ยังพบสารพิษชนิดต่างๆ อีกมากมาย เช่น ชัลไฟด์ แอมโมเนีย และสารประกอบที่ยังไม่ทราบองค์ประกอบของสารเหล่านั้นแน่ชัด ดังนั้นการบำบัดสารมลพิษในน้ำชะขยะก่อนที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันการแพร่ของสารพิษเหล่านั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

การบำบัดน้ำชะขยะอาจทำได้หลายวิธี ซึ่งโดยทั่วไปหน่วยงานท้องถิ่นมักใช้ระบบบ่อฝัง หรือ บ่อเติมอากาศ ซึ่งต้องใช้พื้นที่และงบประมาณในการลงทุนก่อสร้างระบบค่อนข้างมาก นอกจากนี้ยังต้องอาศัยผู้ชำนาญในการควบคุมและดูแลรักษาระบบ ดังนั้นศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี กำแพงดินประดิษฐ์ (Permeable reactive barrier) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการทดลองมาแล้วว่าสามารถทำการบำบัดน้ำชะขยะที่มีการปนเปื้อนของสารมลพิษได้เป็นอย่างดีมาใช้กับพื้นที่หลุมฝังกลบขยะที่มีปัญหาน้ำชะขยะของประเทศไทย ซึ่งคาดว่าจะสามารถควบคุมน้ำเสียที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ และจะเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งใน

การบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ดูแลรักษาง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อนำไปบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นๆ ได้

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยแบ่งออกเป็น 7 ส่วนดังนี้

2.1 การสำรวจตัวอย่างดินที่เหมาะสมในการทดลอง

ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่จังหวัดสระบุรีและพื้นที่ใกล้เคียง โดยได้รับความร่วมมือจากประเทศญี่ปุ่นได้ส่งผู้เชี่ยวชาญมาร่วมออกพื้นที่ ซึ่งได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 11 ตัวอย่าง นำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินแต่ละชนิด และหาประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังพิจารณาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและคุณสมบัติทางเคมีของดิน

2.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นสามารถเลือกตัวอย่างดินได้จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ดินดำ ดินเหนือน้ำตาล และดินแดง ดังนั้นจึงนำดินทั้ง 3 ชนิด มาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน



ภาพที่ 1 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำด้วยเครื่อง Permeameter 4 fold type DIK - 4011

โดยใช้อุปกรณ์ชื่อว่า Permeameter 4 fold type DIK - 4011 ดังแสดงในภาพที่ 1

2.3 การทดสอบค่าการดูดซับสารอินทรีย์ โดยใช้ Syringe test

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะ โดยใช้ Syringe ขนาด 50 มิลลิลิตร ใส่ดินแดง ดินดำ และดินเหลืองน้ำตาล ซึ่งเป็นดินที่เก็บจากจังหวัดสระบุรีและอำเภอบางเขน จังหวัดนครราชสีมา และผ่านตะแกรงกรองขนาด 200 ไมครอน ลงในแต่ละ Syringe โดยดินแต่ละชนิดผสมผงเหล็กในอัตราส่วนร้อยละ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ เติมน้ำชะขยะที่มีความเข้มข้นของค่า COD 285 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการเจือจางน้ำชะขยะ 10 เท่า โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง ครั้งแรกใช้ปริมาณน้ำชะขยะ 20 มิลลิลิตร และครั้งที่ 2 ใช้ปริมาณน้ำชะขยะ 40 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำออกเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และหาความเหมาะสมของอัตราส่วนการใช้ผงเหล็กในระบบ

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์โดยใช้ Box type

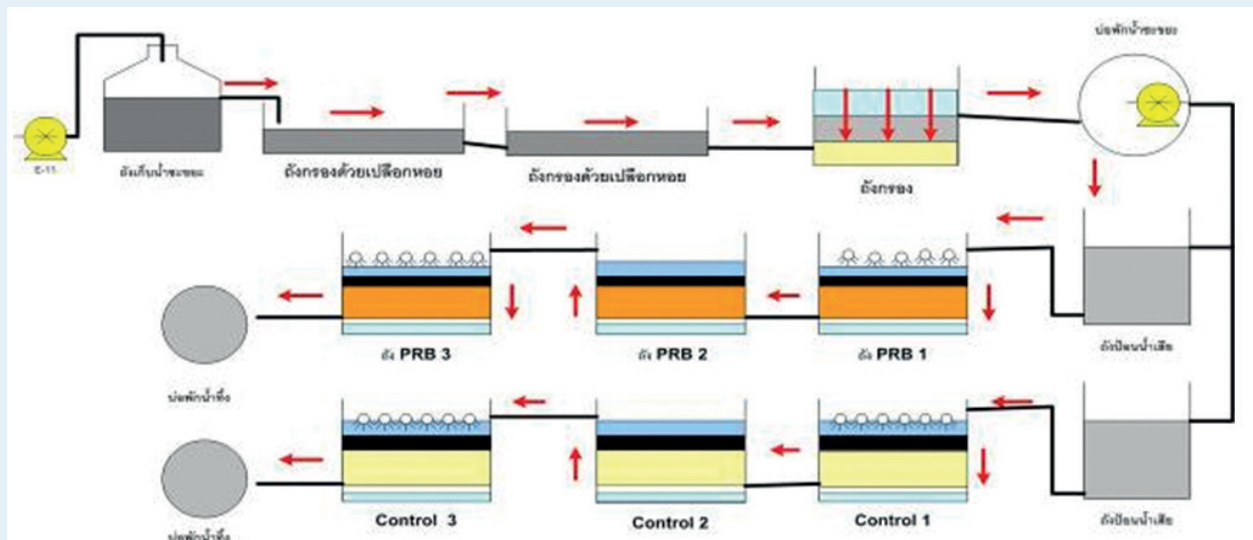
ทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดสารมลพิษในน้ำชะขยะของดินและส่วนผสมของดินชนิดต่างๆ ที่จะนำมาเป็นกำแพงดินประดิษฐ์ในห้องปฏิบัติการ โดยทดลองแบบ box type เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำชะขยะต้นแบบ โดยออกแบบระบบบำบัดแบบกำแพงดินประดิษฐ์ ให้มีการไหลใต้พื้นผิว (Subsurface-flow) ประกอบไปด้วย ชั้นหินขนาดเล็ก ชั้นดินแดงในท้องถื่นผสมทรายและผงเหล็กเป็นองค์ประกอบของวัสดุสำหรับทำกำแพงดินประดิษฐ์ ลักษณะของการต่อระบบแบบ box type มีรายละเอียดดังนี้ ระบบจะเริ่มด้วยการบำบัดแบบมีอากาศซึ่งจะมีท่อระบายอากาศกระจายอยู่ระหว่างชั้นของตัวกลาง จำนวน 2 ชุดต่อกัน น้ำชะขยะที่ทดสอบจะมีการไหลจากบนลงล่าง อากาศสามารถแทรกซึมผ่านชั้นตัวกลาง และท่อระบายอากาศลงสู่ด้านล่างของระบบได้ง่าย แล้วตามด้วยชุดการบำบัด

แบบไร้อากาศ จำนวน 2 ชุด ซึ่งน้ำจะมีลักษณะการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนทำให้ชั้นตัวกลางจะอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลา

ทำการจัดเตรียมชุดทดสอบโดยใช้กล่องพลาสติกขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 35 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตรโดยแบ่งเป็นกล่องแบบไร้อากาศ 2 กล่องและแบบมีอากาศ 2 กล่องต่อเชื่อมด้วยท่อพลาสติกขนาด 3/4 นิ้ว เพื่อใช้ในการส่งน้ำเข้าระบบที่ออกแบบไว้ ภายในกล่องประกอบด้วยชั้นหินขนาดเล็กหนา 0.5 เซนติเมตร ชั้นที่ 2 เป็นชั้นดินแดงผสมทรายและผงเหล็กในอัตราส่วนดินแดง 25 % ทราย 75 % และผงเหล็ก 5 % ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุในกล่องพลาสติกเป็นชั้นหนา 10 เซนติเมตร เติมน้ำด้วยน้ำชะขยะที่เจือจาง 10 เท่า เข้าไปในระบบตามที่ได้ออกแบบไว้และทำการเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบบำบัด เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบระบบบำบัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.5 ระบบบำบัดน้ำชะขยะแบบ Tank ในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะ

ทำระบบสาธิตการบำบัดน้ำชะขยะด้วยกำแพงดินประดิษฐ์ขนาดสาธิต (pilot scale) ในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะเทศบาลเมืองสระบุรี และทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยได้ดำเนินการก่อสร้างระบบตามแบบที่แสดงในภาพที่ 2 ใช้ถังพลาสติกขนาด 1000 ลิตร เชื่อมต่อระบบโดยใช้ท่อพลาสติกขนาด 3/4 นิ้ว สูบน้ำเข้าระบบอย่างต่อเนื่องที่อัตรา 200 ลิตรต่อวัน เข้าระบบบำบัดโดยผ่านส่วนกรองที่ใส่เปลือกหอยแครง ส่วนที่ 2 น้ำจะถูกส่งเข้าถังพักแล้วกระจายน้ำเข้าระบบโดยอาศัยหลักการของกาลักน้ำเพื่อส่งน้ำเข้าไปยัง ถังทดลองที่แบ่งเป็นชุดทดสอบเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ชุด PRB และชุดควบคุม (control) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงระบบการบำบัดน้ำชะขยะแบบ Tank โดยใช้กำแพงดินประดิษฐ์

2.5.1 ชุดทดสอบ PRB

การทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าดินแดงหรือชุดดินปากช่องมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ ในรูปของซีโอไซด์ได้ดี จึงนำดินแดงมาผสมกับทรายแม่น้ำในอัตราส่วนดินแดง 25% ทราย 70% และเติมผงเหล็ก ในอัตราส่วน 5% เพื่อให้เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร โดยการทำปฏิกิริยากับ ผงเหล็กภายในระบบและดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำชะขยะได้ดียิ่งขึ้นมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในชุดทดสอบ PRB ซึ่งแต่ละชั้นมีองค์ประกอบ โดยชั้นที่ 1-4 เป็นการผสมวัสดุตัวกลางจากด้านบนลงด้านล่าง ตามลำดับ ดังนี้ ชั้นที่ 1 ชั้นบนปิดด้วยเปลือกหอยแครงบด ความหนา 10 เซนติเมตร ชั้นที่ 2 ใช้ถ่านบด ความหนา 10 เซนติเมตร ชั้นที่ 3 ชั้นดินแดง ผสมทราย และผงเหล็กตามอัตราส่วนข้างต้น ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะขยะ ความหนา 60 เซนติเมตร ชั้นที่ 4 ชั้นล่างเป็นเปลือกหอยแครงและทรายเทเป็นชั้นสลับกัน ชั้นละ 15 เซนติเมตร ชุดทดสอบ PRB ประกอบด้วย 3 ถัง โดยถังที่ 1 มีลักษณะการไหลของน้ำจากด้านบนลงด้านล่าง ทำให้อากาศสามารถแทรกซึมและกระจายลงสู่ตัวกลางด้านล่างได้ จึง

จัดเป็นระบบแบบมีอากาศ ถังที่ 2 มีลักษณะการไหลของน้ำจากด้านล่างขึ้นด้านบน ทำให้ชั้นตัวกลางอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงจัดเป็นระบบแบบไร้อากาศ ถังที่ 3 มีลักษณะการไหลของน้ำเหมือนกับถังที่ 1 เป็นระบบแบบมีอากาศ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2

2.5.2 ชุดควบคุม

ภายในประกอบด้วยวัสดุที่มีลักษณะเหมือนกับชุด PRB แตกต่างกันตรงที่ ชั้นที่เป็นดินสีแดงผสมทรายหยาบ และผงเหล็กตามอัตราส่วนของชุด PRB ถูกแทนที่ด้วยตัวกลางที่เป็นทรายหยาบเพียงอย่างเดียว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวกลางที่เป็นองค์ประกอบของ PRB และชุดควบคุม โดยออกแบบให้ระบบเป็น 3 ถัง และมีลักษณะการไหลของน้ำเช่นเดียวกันกับชุดทดสอบ PRB หลังจากนั้น น้ำที่ผ่านออกจากระบบทั้ง 2 แบบ คือ ชุดทดสอบ PRB และ ชุดควบคุม แล้วจะไหลออกจากระบบไปยังบ่อพักน้ำทิ้งของเทศบาลซึ่งเป็นระบบบ่อฝังต่อไป

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะของระบบแบบ Trench ในห้องปฏิบัติการ

ทำการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ความยาว

ของท่อ 200 เซนติเมตร โดยตัดครึ่งตามความยาวของท่อเพื่อให้สามารถใส่ตัวกลางได้ ตัวกลางที่ใช้แต่ละชนิดประกอบด้วย ช่องที่ 1 หินภูเขาไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร ช่องที่ 2 ตัวกลางเป็นแสงที่ได้จากการหลอมเหล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร ช่องที่ 3 ตัวกลางเป็นหินศิลาแลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร และช่องที่ 4 ตัวกลางเป็นองค์ประกอบผสมของดินแดง โดยมีส่วนผสมของดินแดง ทราช และผงเหล็กร้อยละ 25, 70 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งตัวกลางแต่ละชนิดกำหนดความยาวไว้ที่ 50 เซนติเมตร และกำหนดค่าการกักเก็บทางชลศาสตร์ 1 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำ 12 ลิตร/วัน เก็บตัวอย่างน้ำออกจากระบบเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะ ต่อเนื่องเป็นเวลา 20 วัน

2.7 ระบบบำบัดน้ำชะขยะสาธิตแบบ Trench ในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะ

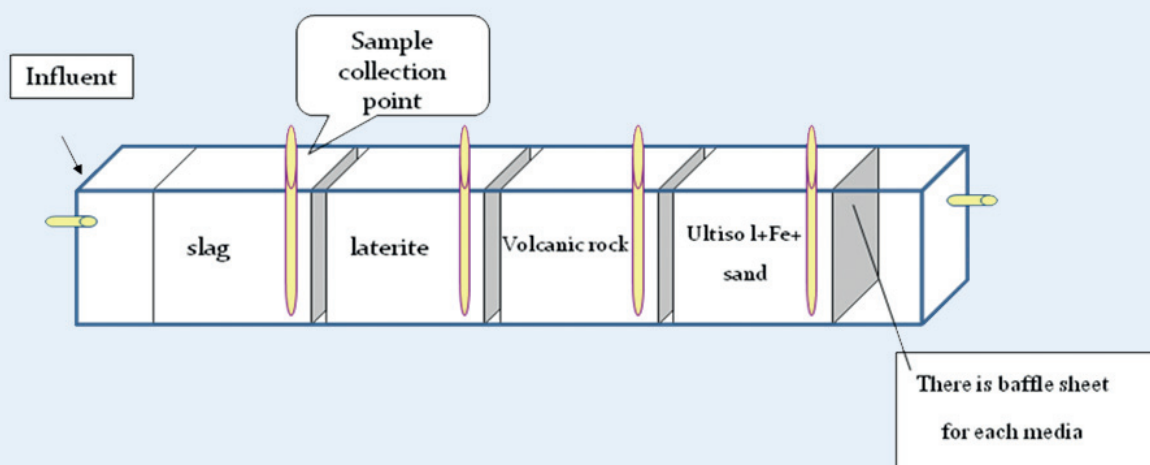
ก่อสร้างระบบโดยใช้ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการในการออกแบบ ทำการก่อสร้างด้วยคอนกรีต ขนาดของระบบกว้าง 0.5 ยาว 0.92 ลึก 0.5 เมตร ความลาดเอียง 1 % การทดลองบำบัดน้ำชะขยะด้วยระบบ Trench ประกอบด้วย 2 ระบบได้แก่ ระบบ PRB และระบบควบคุม

2.7.1 ระบบ PRB แบบ Trench

ประกอบด้วย 4 ช่อง แต่ละช่องมีองค์ประกอบเป็น หินภูเขาไฟ ตะกรันเหล็กไม่ หินศิลาแลง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร และดินแดง 25 % ผสมกับ ผงเหล็ก 5 % และทราย 70 % เป็นช่องสุดท้าย ตามลำดับ

2.7.2 ระบบควบคุม แบบ Trench

ประกอบด้วย 4 ช่อง แต่ละช่อง มีองค์ประกอบเป็น หินแกรนิต 1 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร หินแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร และทรายหยาบ 1 ช่อง เริ่มการทดลอง 26 ธันวาคม 2551 การไหลของน้ำเสียในระบบ Trench เป็นแบบการไหลใต้พื้นผิวแบบต่อเนื่อง (horizontal subsurface flow) ดังภาพที่ 3 มีอัตราการไหล 375 ลิตรต่อวันหรือ $0.37 \text{ m}^3/\text{วัน}$ ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำชะขยะ (HRT) 3 วัน เป็นระยะเวลา 5 เดือน เก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์ทุก 14 วัน จนครบ 7 ครั้ง และทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพการบำบัดสารปนเปื้อนต่างๆ ในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงแผนผังระบบการบำบัดน้ำชะขยะสาธิตแบบ Trench

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดสอบคุณลักษณะของน้ำชะขยะที่ใช้ในการทดลองมีค่า COD ระหว่าง 3,627-4,160 mg/l TKN 1,882-1,887 mg/l ซึ่งเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของดินในท้องถื่นในการบำบัด COD พบว่าดินสีแดง ซึ่งเป็นชุดดินปากช่อง มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการนำมาเป็นวัสดุ PRB เนื่องจากสามารถบำบัด COD ได้เป็นอย่างดี มีคุณสมบัติเป็นต่างมีองค์ประกอบของเหล็กสูง แต่เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพการซึมผ่านน้ำต่ำ จึงต้องมีการผสมดินแดงกับวัสดุอื่นคือ ทราย และผงเหล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซึมผ่านน้ำ ซึ่งได้นำผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการมาใช้ในการออกแบบระบบในพื้นที่สาธิตทั้งระบบ tank และ trench จึงขออธิบายสรุปรายละเอียดเฉพาะผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะ ที่ทำการทดสอบในพื้นที่สาธิต ดังนี้

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะด้วยกำแพงดินประดิษฐ์ขนาดสาธิตแบบ Tank ในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะเทศบาลเมืองสระบุรีพบว่า

- ค่า Oxidation reduction potential (ORP) ที่ได้จากระบบการบำบัดน้ำชะขยะด้วยระบบกำแพงดินประดิษฐ์แบบ Tank ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเป็นบวกแสดงถึงระบบมีสภาพเป็นระบบแบบมีอากาศ เนื่องมาจากระบบที่ดำเนินการถึงสุดท้ายเป็นระบบเปิดที่มีการบำบัดแบบระบบกรองที่ให้น้ำไหลจากด้านบนสู่ด้านล่าง จึงทำให้อากาศสามารถผ่านตัวกลางเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) คือ เมื่อค่า DO เพิ่มขึ้น ค่า ORP มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้น ด้วย

- ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่ได้จากการบำบัดน้ำชะขยะด้วยระบบเทคนิคกำแพงดินประดิษฐ์นั้น สามารถปรับความเป็นด่างให้อยู่ในสภาพเป็นกลางได้

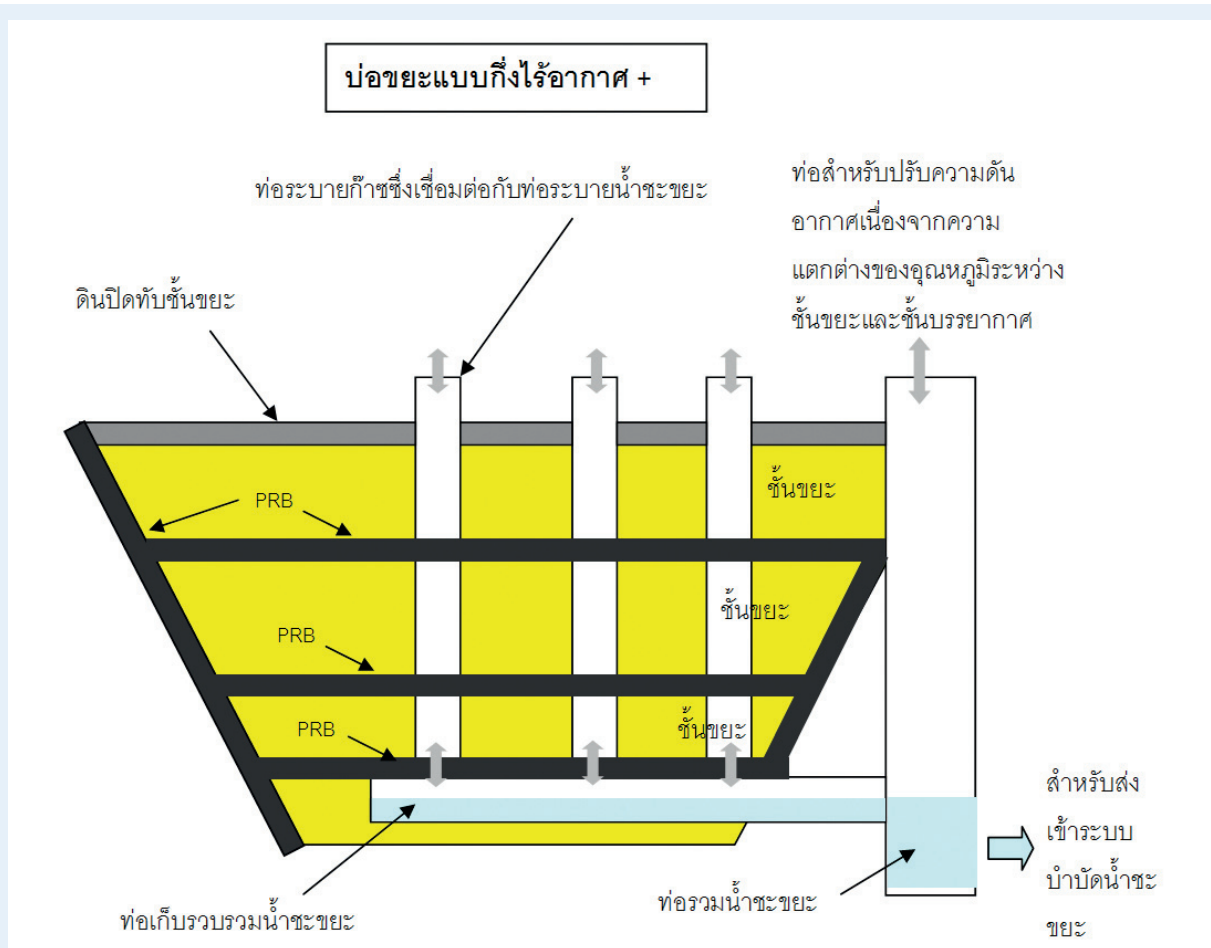
- สาร 1, 4-Dioxane ที่ผ่านระบบบำบัดน้ำ

ชะขยะด้วยเทคนิคกำแพงดินประดิษฐ์ มีความเข้มข้นลดลง จาก 3.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเป็น 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าระบบ PRB สามารถบำบัดได้เกือบร้อยละ 50 ของความเข้มข้นที่เข้าระบบ และมีประสิทธิภาพดีกว่าชุดควบคุม

- ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่าความเค็ม (Salinity) ในระบบ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากปริมาณ chloride ในน้ำชะขยะที่ออกจากระบบมีปริมาณมาก แสดงให้เห็นว่า ระบบ PRB ไม่สามารถบำบัดไอออนบางประเภท เช่น คลอไรด์ โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งควรจะใช้ระบบอื่น ในการบำบัดไอออนเหล่านี้ที่ปนเปื้อนในระบบ

- ระบบ PRB มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD ได้ดีกว่าระบบควบคุม คิดเป็นร้อยละ 89 และร้อยละ 84 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยในระบบ PRB ดีกว่าชุดควบคุมเป็น ร้อยละ 71 และร้อยละ 39 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนประเภทไนโตรเจน (Nitrogen) มีค่าร้อยละการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนของระบบ PRB และระบบควบคุม เป็นร้อยละ 61 และ 34 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบ PRB ดีกว่าระบบควบคุม ซึ่งมีค่าเป็นร้อยละ 88 และร้อยละ 47 ตามลำดับ

- ผลการวิเคราะห์วัสดุ PRB ในระบบแบบ Tank ด้วยเครื่อง X-ray fluorescent แสดงว่า ปริมาณเหล็กที่เป็นองค์ประกอบมีแนวโน้มลดลงหลังจากเดินระบบเป็นระยะเวลามากกว่า 1 ปี แต่ปริมาณองค์ประกอบที่เป็นคาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก องค์ประกอบของเหล็กที่อยู่ในวัสดุตัวกลางสามารถละลายออกมาเพื่อทำปฏิกิริยาในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำชะขยะ และวัสดุ PRB สามารถทำปฏิกิริยาในการจับตัวกับสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำชะขยะเพื่อลดการปนเปื้อนลงได้ ส่วนในตัวกลางที่เป็นเปลือกหอย



ภาพที่ 4 ลักษณะการนำวัสดุ PRB มาใช้เป็นชั้นปิดทับขยะและเป็นผนังกั้นน้ำชะขยะในหลุมฝังกลบขยะที่มา CESS

พบว่าองค์ประกอบของ ซิลิกอน(Si) อลูมิเนียม(Al) และ เหล็ก(Fe) ในระบบ PRB ต่ำกว่า ในระบบควบคุม อาจเนื่องมาจากการที่ระบบ PRB มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะขยะได้ดีกว่าระบบควบคุม ทำให้ปฏิกิริยาในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นในระบบมีอัตราที่สูงกว่า ทำให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้อย่างชัดเจน จากซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก ได้ถูกละลายออกจากวัสดุตัวกลางที่เป็นเปลือกหอยได้มากกว่าระบบควบคุม

3.2 ผลทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะด้วยกำแพงดินประดิษฐ์แบบ Trench ในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะเทศบาลเมืองสระบุรี พบว่า

- ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีและซีโอดี ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์

ประเภทบีโอดีได้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ PRB มีค่าร้อยละ 42 และระบบควบคุม มีค่าร้อยละ 21 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าระบบ PRB มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะขยะได้ดีกว่าระบบควบคุม ทั้งนี้ ความเข้มข้นก่อนเข้าระบบจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีโดยระบบ PRB มีค่าเท่ากับร้อยละ 13 และระบบควบคุมมีค่าร้อยละ 21 ตามลำดับ

- ระบบกำแพงดินประดิษฐ์ไม่สามารถบำบัดคลอไรด์ได้ เนื่องจากระบบนี้ไม่เหมาะสมกับการบำบัด คลอไรด์ในน้ำเสีย ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าทั้งระบบแบบ Tank และ Trench ไม่เหมาะสมในการบำบัดไอออนที่ปนเปื้อนในน้ำชะขยะ

- ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยในน้ำชะขยะที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ PRB มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 71 และระบบควบคุมร้อยละ 74 ตามลำดับ

- ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียม (NH_4^+) ในน้ำชะขยะก่อนเข้าระบบและหลังการบำบัดด้วยระบบ PRB พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก (NH_4^+) ในน้ำชะขยะก่อนเข้าระบบมีการบำบัดเบื้องต้นโดยระบบบ่อผึ่ง ทำให้ค่าแอมโมเนียเข้าระบบมีค่าน้อยจนไม่สามารถเห็นความแตกต่างของการลดค่าดังกล่าวได้อย่างชัดเจน

4. ข้อเสนอแนะ

วัสดุที่ใช้ทำระบบบำบัดน้ำชะขยะด้วยเทคนิคกำแพงดินประดิษฐ์ สามารถนำมาใช้เป็นชั้นปิดทับขยะและเป็นผนังกั้นน้ำชะขยะในหลุมฝังกลบขยะได้ดังภาพที่ 4 เนื่องจากวัสดุ PRB มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำชะขยะได้หลายประเภท ทั้งสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี และซีโอดี สารแขวนลอย และธาตุอาหารพืช พวกสารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้เป็นอย่างดี รวมทั้งสามารถที่จะรักษาสภาพของน้ำชะขยะให้อยู่ในสภาพเป็นกลางได้ด้วยศักยภาพขององค์ประกอบของวัสดุ PRB ที่ใช้ในการศึกษา ทั้งนี้ วัสดุ PRB สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ป้องกันมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำชะขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีราคาถูก ตัวอย่างเช่นการก่อสร้างระบบแบบ tank ตามภาพที่ 2 ราคา 120,000 บาท และการก่อสร้างระบบแบบ trench ตามภาพที่ 3 ราคา 30,000 บาท

วัสดุ PRB สามารถนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในวัสดุปิดทับหน้าชั้นหลุมฝังกลบขยะหรือเป็นกำแพงป้องกันน้ำชะขยะไหลล้นไปพื้นที่ใกล้เคียงแล้ว ยังสามารถนำวัสดุ PRB มาประยุกต์ใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับน้ำชะขยะในขั้นสุดท้าย หรือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั่วไป (tertiary treatment)

เนื่องจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ระบบ PRB นอกจากจะมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีแล้ว ยังมีความสามารถในการบำบัดธาตุอาหารพืชเช่น สารประกอบไนโตรเจน ในรูปของแอมโมเนียม ไนเตรท และไนไตรท์ รวมทั้งฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป ไม่ได้พิจารณาถึงการบำบัดธาตุอาหารพืชจนถึงระดับที่ไม่ก่อให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) หรือสาหร่ายสะพรั่ง ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีสีเขียวจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่มากเกินไป มีผลให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดการขาดแคลนออกซิเจน จนทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ดังนั้นระบบ PRB จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียที่มีธาตุอาหารพืชปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และควรมีการศึกษาถึงศักยภาพการบำบัดธาตุอาหารพืชจากน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปขยายผลในพื้นที่อื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่นจาก Center for Environmental Science in Saitama ประเทศญี่ปุ่นที่ให้ความอนุเคราะห์การตรวจวิเคราะห์สาร 1, 4-Dioxane โลหะหนักและองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในตัวกลางของระบบกำแพงดินประดิษฐ์ พร้อมทั้งข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการสรุปผลการศึกษา รวมถึงเทศบาลเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดสอบระบบกำแพงดินประดิษฐ์ และอำนวยความสะดวกในพื้นที่ด้วยดีตลอดมา

6. เอกสารอ้างอิง

- APHA, AWWA, WPCF. (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th Edition. Washington DC, U.S.A.
- Powell, R.M. and R.W. Puls. 1997. **Permeable Reactive Subsurface Barriers for the Interception and Remediation of Chlorinated hydrocarbon and Chromium (VI) Plumes in Ground Water**. U.S. EPA remedial Technology Fact Sheet. EPA/600/F-97/008
- Robertson, W.D. and Cherry, J.A. 1995. **In situ denitrification of septic nitrate using reactive porous media barriers; Field trails.** Ground Water 33(1): 99-111.
- USEPA. 1986. **Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation**. EPA/600/R-98/125
- Waybrant, K.R., Blowes, D.W. and Ptacek, C.J. 1995. **Selection of reactive mixtures for the prevention of acid mine drainage using in situ porous reactive walls**. Sudbury '95 Mining and Environment. CANMET. Ottawa, ON.

งานวิจัยด้านนิเวศเศรษฐกิจศาสตร์และสังคม



- การทดสอบปลูกพืชสวนครัวแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับเคมี
(Comparative Demonstration Plots of Organic and Chemical Horticulture)



การทดสอบปลูกพืชสวนครัวแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับเคมี (Comparative Demonstration Plots of Organic and Chemical Horticulture)

นิตยา นักระนาด มิลน์*

ธวัชพร สิงขรไธย** ขจรศักดิ์ หาญปราบ** ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์**

ไพโรจน์ อ่องคนา** สุรสิน ธรรมธส** ไพริน ชโลธร***

Nittaya Nugranad Milne*

Ratchaporn Singkarotai** Khajornsak Harnprab** Thammasak Rojwiroon**

Pairon Ongkhana** Surasin Thammathorn** Pairin Chalothorn***

บทคัดย่อ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยสวนวิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม ได้ทำการทดสอบปลูกพืชสวนครัวแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับเคมี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการส่งเสริม เผยแพร่ ผลงานวิจัยเกษตรอินทรีย์ที่ได้ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 สู่กลุ่มเป้าหมายเกษตรกร เพื่อผลักดันให้มีการลดการใช้สารเคมีในภาคเกษตรกรรม โดยทดสอบกับพืช 3 ชนิด ได้แก่ มะเขือยาว มะเขือเปราะ และพริกขี้หนู ในพื้นที่ ตำบลเจ็ดริ้ว อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร พบว่า มะเขือยาว และพริกขี้หนู ในแปลงเกษตรอินทรีย์มีน้ำหนักรวมของผลผลิตมากกว่าในแปลงเกษตรเคมีถึงร้อยละ 28 และ 61 ตามลำดับ ส่วนมะเขือเปราะในแปลงเกษตรเคมีให้ผลผลิตมากกว่าในแปลงเกษตรอินทรีย์ร้อยละ 40 จากการสังเกตทางกายภาพ พบว่า พืชผักในแปลงทดสอบแบบอินทรีย์มีความแข็งแรงกว่าในแปลงเคมี โดยมีขนาดผลผลิตเฉลี่ยใหญ่กว่า และความหนาของใบมากกว่าและลำต้นแข็งแรงกว่าในแปลงเคมี คณะผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยอย่างจริงจังเพื่อความยั่งยืนของการใช้พื้นที่เพาะปลูกและสุขภาพของประชาชน

คำสำคัญ: การทดสอบปลูกพืชสวนครัว สมุนไพรไล่แมลง ปุ๋ยอินทรีย์ เกษตรอินทรีย์



การหมักปุ๋ยอินทรีย์แบบกองบนดิน



การวัดการเจริญของพืช



การใส่ปุ๋ย

* นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ

** นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

*** เจ้าพนักงานธุรการ

Abstract

The project on organic farming has been carried out by the Ecological Economics and Social Research Sub-Division, Environmental Research and Training Centre, since 2005. As part of promotion and campaign for organic farming amongst the farmers, the comparative demonstration plots of organic and chemical horticulture were done at the Jedrew Sub-district, Ban Paew District, Samutsakorn Province. Three kinds of demonstrated vegetable plants, i.e., round eggplant (*Solanum aculeatissimum*), eggplant (*Solanum melongena*), and bird chili (*Capsicum frutescens*) were selected for this study as local seasonal vegetable species. It was found that the organic plots of eggplant and bird chili gave total weight of produce, 28 and 61 percentage, respectively, more than the chemical plots. Only round eggplant that of chemical plot has total weight of produce 40 percentage more than that of the organic one. From physical observation, the organic vegetable plants in the organic plots appeared to be healthier than the chemical ones in terms of produce size, leave thickness, and stem strength. Promotion of organic farming in Thailand has been suggested for sustainability use of agricultural land and human health.

Keywords: demonstration plots, bio-insecticide, compost, organic horticulture, organic farming

1. บทนำ

ส่วนวิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการคิดค้นสูตรและผลิตปุ๋ยอินทรีย์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 และได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์กับผักสวนครัว 7 ชนิด ในพื้นที่เพาะปลูกจริงตามหลักทฤษฎี On-farm Trial (OFT) ในปี พ.ศ. 2550 ที่อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา และแปลงทดสอบของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จังหวัดปทุมธานี และดำเนินการต่อเนื่องพร้อมกับบรรณรักษ์ประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ผลงานวิจัยสู่กลุ่มเกษตรกรและผู้บริโภคจนถึงปัจจุบัน

ในปี พ.ศ. 2552 องค์การบริหารส่วนตำบลเจ็ดริ้วได้มีหนังสือขอความอนุเคราะห์วิทยากร เพื่อบรรยายให้ความรู้ในเรื่องการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และน้ำสกัดชีวภาพ เนื่องมาจากประชากรส่วนใหญ่ซึ่งมีอาชีพหลักคือ ทำสวน ปลูกพืชผักสวนครัว และผลไม้ ได้รับผลกระทบต่อสุขภาพจากการใช้สารเคมีกำจัดแมลง ทำให้เป็นโรคทางเดินหายใจ ทางองค์การบริหารส่วนตำบลเจ็ดริ้วจึงมีนโยบายที่จะช่วยเหลือสนับสนุนให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนการทำเกษตรเคมีมาเป็นเกษตรแบบพึ่งพาธรรมชาติ หรือเกษตรอินทรีย์ โดยผลิตปุ๋ยอินทรีย์ใช้เอง และใช้สารสกัดจากสมุนไพรในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

ส่วนวิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม จึงได้ดำเนินการจัดทำแปลงทดสอบปลูกพืชสวนครัวแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับเคมีในพื้นที่ ตำบลเจ็ดริ้ว อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร และจัดฝึกอบรมให้แก่กลุ่มเกษตรกร จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนธันวาคม 2551 และเดือนพฤษภาคม 2552 โดยมีเกษตรกรเข้ารับการอบรมทั้งสิ้น จำนวน 61 คน เพื่อผลักดันให้เกษตรกรหันมาทำเกษตรอินทรีย์แทนเกษตรเคมีมากขึ้น

2. วิธีการทดสอบปลูกพืชสวนครัวแบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับเคมี

ส่วนวิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ดำเนินโครงการสาธิตในพื้นที่ ตำบลเจ็ดริ้ว อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร โดยใช้พื้นที่ของนายขจร ชาวทำทนาย เกษตรกรในพื้นที่เข้าร่วมการศึกษาวิจัย โดยใช้แปลงทดสอบแบบเกษตรอินทรีย์จำนวน 1 แปลง ซึ่งเดิมเคยปลูกพืชผักสวนครัวแบบเคมี แต่มีการปล่อยทิ้งร้างไว้เกิน 3 ปี มีวัชพืชขึ้นปกคลุมอยู่ ซึ่งระยะเวลา 3 ปี นานพอที่จะชะล้างสารเคมีจากแปลงให้หมดไป ทดสอบเปรียบเทียบกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีและวิธีการกำจัดศัตรูพืชแบบเคมี 1 แปลง (ขนาดแปลงกว้าง 4 เมตร ยาว 50 เมตร) พืชที่ใช้ทดสอบเป็นพืชสวนครัวตามฤดูกาล ซึ่งสามารถเก็บผลผลิตได้ในระยะเวลา 45-90 วัน และสามารถตรวจวัดและเก็บผลผลิตได้ง่าย พืชที่ใช้ทดสอบมี 3 ชนิด ได้แก่ มะเขือเปราะ, มะเขือยาว อย่างละ 32 ต้น และพริกชี้ฟ้า อย่างละ 28 ต้น ปลูกโดยวิธีเพาะเมล็ด เมื่ออายุได้ 2 เดือน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงทดสอบ โดยปลูก 2 แถว ระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 1 เมตร ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ ผลิตจากวัตถุดิบในพื้นที่ (ดูตารางที่ 1) โดยการบดสับวัตถุดิบคลุกเคล้าให้เข้ากัน รดน้ำผสมสารละลายหัวเชื้อจุลินทรีย์ หมักแบบกองบนดิน กลับปุ๋ยอินทรีย์ทุกอาทิตย์ ปุ๋ยหมักสมบูรณ์พร้อมใช้ในเวลา 1 เดือน ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดสอบใช้ปุ๋ยสูตร 25:7:7 ซึ่งเป็นสูตรที่เกษตรกรในพื้นที่ใช้กับพืชผักที่ปลูก

2.1 การวัดการเจริญ เตรียมแปลงเพาะปลูกพืชทดสอบ โดยไถดินแล้วพรวนดินไว้ 2 อาทิตย์ จากนั้นทำการยกร่องพรวนดินและใส่ปุ๋ยในแปลงเกษตรอินทรีย์ก่อนการปลูก (Pre-treatment) 20 กิโลกรัม/แปลง และคลุมฟาง และใส่ปุ๋ยหลังปลูก (post-treatment) จำนวน 20 กิโลกรัม ทุกๆ 15 วัน

ตารางที่ 1 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย 1,000 กิโลกรัม

วัตถุดิบที่ใช้	ปริมาณ (กิโลกรัม)
เศษผักตบชวา	450
ก้อนเพาะเห็ดเห็ดหนูที่ใช้แล้ว	250
ขุยมะพร้าว	200
กระดูกป่น	100

ใน 2 เดือนแรก และทุกๆ 7 วัน ใส่ครั้งละ 75 กิโลกรัม ใน 2 เดือนหลัง ส่วนแปลงเกษตรเคมี ใส่ปุ๋ยเคมี ครั้งแรกจำนวน 10 กิโลกรัม จากนั้นทุกๆ 15 วัน ใส่ครั้งละ 3 กิโลกรัม ถอนวัชพืช อาทิตย์ละครั้ง รดน้ำวันละ 2 ครั้ง (แสดงในตารางที่ 2) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศทุกวัน และข้อมูลการเจริญ (ความสูง) ทุก ๆ 7 วัน

2.2 การเก็บผลผลิต เริ่มเก็บผลผลิตหลังปลูกลงแปลงทดสอบเกษตรอินทรีย์และเคมี เมื่อพืชอายุได้ 60 วันด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักกลับตาห้ละ 1 ครั้ง

บันทึกผล

2.3 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนและค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำเกษตรอินทรีย์เปรียบเทียบกับเกษตรเคมีในช่วงระยะเวลา 4 เดือน

2.4 การเผยแพร่ผลงานวิจัยและแนะนำวิธีการทำปุ๋ยอินทรีย์ น้ำหมักชีวภาพ และสารสกัดไล่แมลง ให้กับกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร โดยจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการในหัวข้อเรื่อง เทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์

ตารางที่ 2 การใส่ปุ๋ยและฉีดสารไล่แมลงของแปลงเกษตรอินทรีย์และแปลงเกษตรเคมี

	รายละเอียด	
	แปลงเกษตรอินทรีย์	แปลงเกษตรเคมี
การใส่ปุ๋ย	- ใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร ศวฟ. ก่อนปลูก (pre-treatment) จำนวน 20 กิโลกรัม ต่อแปลง และใส่ปุ๋ยหลังปลูกโดยหว่านรอบๆ ทรงพุ่ม (2 เดือนแรกทุก 15 วัน) - เมื่อพืชเริ่มออกดอก/ผล ใส่ปุ๋ย อาทิตย์ละครั้ง ครั้งละ 75 กิโลกรัม (2 เดือนหลัง)	ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 25:7:7 ทุก 15 วัน ครั้งแรก จำนวน 10 กิโลกรัม ครั้งถัดไปครั้งละ 3 กิโลกรัม (เมื่อพืชเริ่มออกดอก/ผล)
การป้องกัน/กำจัดศัตรูพืช	ฉีดพ่นน้ำสกัดชีวภาพและน้ำสกัดสารสะเดา และสารไล่แมลงแบบชีววิถี เพื่อไล่แมลงและศัตรูพืชในเดือนแรกเดือนละ 4 ครั้งๆ ละ 1 ลิตร (เจือจางแล้ว) เดือนที่ 2-4 ฉีดพ่นวันเว้นวัน (ศัตรูพืชระบาด) น้ำสกัดชีวภาพเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:750	ฉีดพ่นกรดซิลิคอน (H_4SiO_4), แอสเซนด* (Ascend; $C_{12}H_4Cl_2F_6N_4OS$) และฮอร์โมน อโทนิค** (Atonik; $C_7H_6NO_4$) อาทิตย์ละครั้ง ครั้งละ 1 ลิตร ต่อ 10 แปลง (0.1 ลิตร/ครั้ง/แปลง)
การรดน้ำ/ถอนหญ้า	เกษตรกรผู้ร่วมโครงการเป็นผู้รดน้ำ พรุนดิน ถอนหญ้า และดูแลแปลงทดสอบ ให้โดยรดน้ำวันละ 2 ครั้ง และถอนหญ้าอาทิตย์ละครั้ง	

* แอสเซนด มีชื่อสามัญคือไฟโพรนิล

** อโทนิค (Atonik) ฮอร์โมนพืชมี 3 active ingredients คือ 2-nitrophenol, 4-nitrophenol และ 2-methoxy-5-nitrophenol

ตารางที่ 3 สูตรสารสกัดสมุนไพรไล่แมลงแบบชีววิถี (bioinsecticide)			
สูตร	ศัตรูพืชที่กำลังจัด	ส่วนผสม	วิธีทำ
สูตรรวมมิตร ^[1,2]	หนอนต่างๆ แมลงต่างๆ เพลี้ยกระโดด เพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยไฟ ไรแดง ไรขาว และกำจัดเชื้อรา	1. คะไ้ร้หอม 1 กิโลกรัม 2. สาบเสือ 1 กิโลกรัม 3. พริกสด 1 กิโลกรัม 4. ใบมะละกอ 1 กิโลกรัม 5. เอธิลแอลกอฮอล์ 1 ลิตร 6. ดอกดาวเรือง 1 กิโลกรัม	บดสับส่วนผสมทั้งหมด ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำพอท่วม เติมเอธิลแอลกอฮอล์ 1 ลิตรหมักทิ้งไว้ 1 คืน นำน้ำสกัด ที่ได้จากการหมักมากรองเอาตะกอน ออก นำมาผสมกับน้ำในอัตรา 50-100 ซีซี/ น้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นให้ทั่วทั้งใบ และลำต้น
สูตรสะเดา ^[3,11,12]	เต่าแตง เพลี้ยจักจั่น	1. สะเดาแห้ง 1 กิโลกรัม 2. น้ำ 20 ลิตร 3. เอธิลแอลกอฮอล์ 1 ลิตร	บดสะเดาแห้ง 1 กิโลกรัม ใส่ เอธิลแอลกอฮอล์ 1 ลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง ใส่น้ำ 20 ลิตร แช่ไว้ 24 ชั่วโมง กรองเอาน้ำไป ใช้ ฉีดพ่นทุก 5-7 วัน
สูตรสาบเสือ ^[7,10]	เพลี้ยอ่อน หนอนกระทู้ ผัก	1. ใบสาบเสือแห้ง 400 กรัม 2. น้ำสะอาด 3 ลิตร 3. กากน้ำตาล 700 มล.	ตำใบสาบเสือแห้งให้ละเอียด ผสม น้ำ 3 ลิตร ผสมกากน้ำตาล ทิ้ง ไว้ 1 คืน แล้วกรองเอากากทิ้ง ใช้ พ่นในแปลงมะเขือเปราะ สามารถ กำจัดเพลี้ยอ่อนได้ดี พ่นในแปลง ผักสามารถป้องกันกำจัดหนอนกระทู้ ผักได้ดี

ที่มา: ดัดแปลงจาก หลักการและวิธีการใช้สะเดาในการกำจัดศัตรูพืช, ศ.ดร.ขวัญชัย สมบัติศิริ ภาควิชาภูมิวิทยา คณะเกษตร
ม.เกษตรศาสตร์^[1,2]



ภาพที่ 1 เต่าทอง
แมลงมีประโยชน์ต่อพืช
Common name: Asian Lady Beetle
Scientific Name: *Harmonia axyridis*
ที่มา: www.columbia.edu



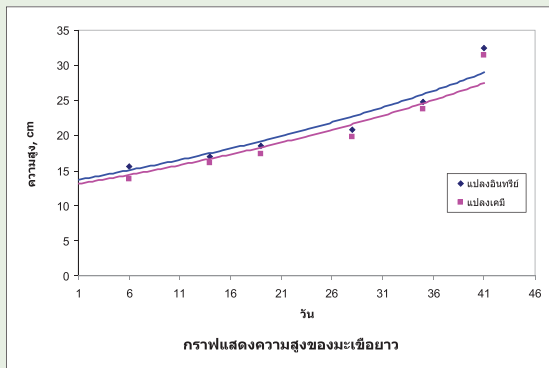
ภาพที่ 2 เต่าแตง
แมลงศัตรูพืช
Common name: Squash Beetle
Scientific Name: *Epilachna borealis*
ที่มา: www.ct.gov

หมายเหตุ: จะสังเกตเห็นความแตกต่างของแมลงทั้งสองชนิดนี้คือ เต่าทอง-แมลงมีประโยชน์ จะมีสีสันชัดเจนและมีปีกเป็น
มันเงา ส่วนเต่าแตง-แมลงศัตรูพืช จะมีสีส้มจางๆ ปีกมีขนและไม่มีความมันเงา

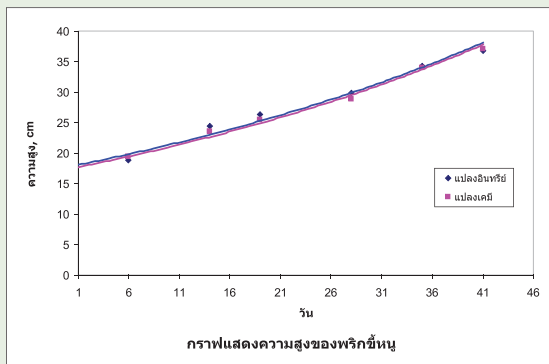
3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 การเจริญ

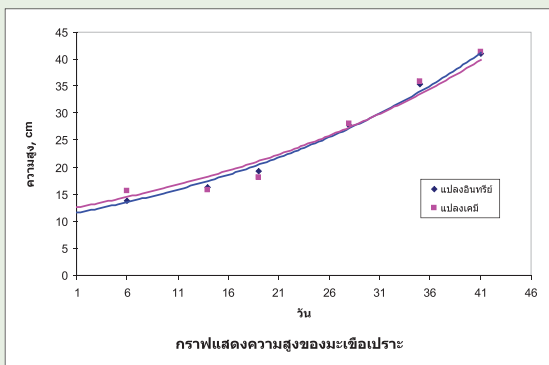
หลังจากย้ายต้นกล้าลงแปลงสาธิต ทำการวัดการเจริญของพืชสวนครัวทั้ง 3 ชนิดในแปลงทดสอบเกษตรอินทรีย์และเคมีด้วยการวัดความสูงทุกๆ 7 วัน แสดงผลดังภาพที่ 3, 4, 5



ภาพที่ 3



ภาพที่ 4



ภาพที่ 5

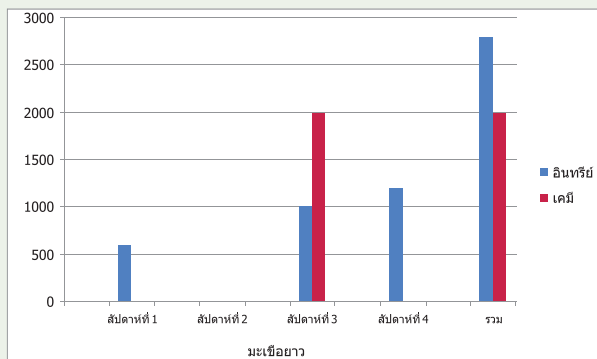
ภาพที่ 3, 4, 5 กราฟแสดงความสูงของพืช 3 ชนิด จากแปลงเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี จากการวัดทุกๆ 7 วัน

จากกราฟ เมื่อวัดความสูงของพืชทั้ง 3 ชนิด เป็นเวลา 42 วัน โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 7 วัน พบว่าความสูงเฉลี่ยของต้นพริกขี้หนู และมะเขือยาว ในแปลงเกษตรอินทรีย์ มีค่าความสูงเฉลี่ยมากกว่า ในแปลงเกษตรเคมีร้อยละ 7.74 และ 3.26 ตามลำดับ ส่วนมะเขือเปราะในแปลงเกษตรเคมี มีความสูงเฉลี่ยมากกว่าในแปลงเกษตรอินทรีย์ เพียงร้อยละ 0.5 เท่านั้น นอกจากนั้น จากการสังเกตพบว่า พืชในแปลงเกษตรอินทรีย์มีใบหนากว่า แปลงเคมี สีใบเป็นสีเขียวสดธรรมชาติ ลำต้นใหญ่ และแข็งแรงกว่าพืชในแปลงเคมี ซึ่งพืชในแปลงเคมี มีใบขนาดเล็ก ดอก หนาแน่น มีสีเขียวอมน้ำเงิน ลำต้นเล็ก ไม่ค่อยแข็งแรง เพราะหักง่าย

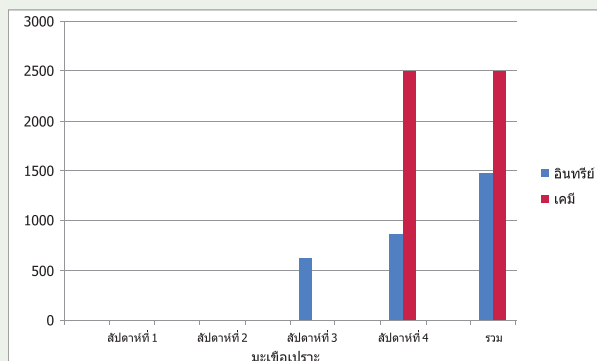
3.2 ปริมาณผลผลิต

หลังจากนำต้นกล้าลงแปลงปลูกได้ 60 วัน จึงเริ่มเก็บผลผลิตของพืชในระยะ 1 เดือนแรกที่เก็บ ผลผลิตโดยแปลงทดสอบเกษตรอินทรีย์ ให้ผลผลิตเร็วกว่าแปลงเกษตรเคมี ซึ่งมะเขือยาว และมะเขือเปราะในแปลงเกษตรอินทรีย์สามารถเก็บผลผลิตได้เร็วกว่ามะเขือยาว และมะเขือเปราะในแปลงทดสอบเกษตรเคมี 14 วัน และ 21 วัน ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 6, 7

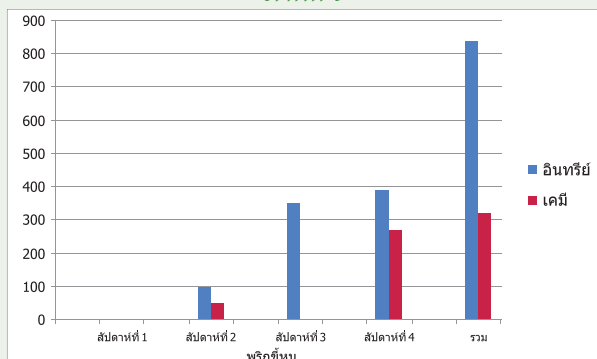
จากกราฟ เมื่อเก็บผลผลิตในระยะเวลา 1 เดือนแรก พบว่ามะเขือยาว และพริกขี้หนูในแปลงเกษตรอินทรีย์มีน้ำหนักรวมของผลผลิตมากกว่าในแปลงเกษตรเคมีถึงร้อยละ 28 และ 61 ตามลำดับ ส่วนมะเขือเปราะในแปลงเกษตรเคมีให้ผลผลิตมากกว่าในแปลงเกษตรอินทรีย์ร้อยละ 40 เนื่องจากในแปลงทดสอบเกษตรอินทรีย์เกิดปัญหาเรื่องแมลงศัตรูพืช ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 จึงไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ ผู้วิจัยจึงได้ทดลองทำสารสกัดสมุนไพรไล่แมลง (รายละเอียดในตารางที่ 3) และฉีดพ่นในแปลง จากการสังเกตพบว่า แมลงศัตรูพืชที่พบในแปลงทดสอบ คือ เต่าแตง (Squash beetle) จึงใช้สูตรสะเดา และพบว่าได้ผลดีพอควร สามารถไล่แมลงได้ แต่ต้องฉีดพ่น



ภาพที่ 6



ภาพที่ 7



ภาพที่ 8

ภาพที่ 6, 7, 8 กราฟปริมาณผลผลิตของพืชจากแปลงเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีเมื่อเริ่มเก็บในระยะ 1 เดือนแรก



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบผลผลิตของพริกชี้ฟ้าจากแปลงเกษตรอินทรีย์และเคมี



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบสีและขนาดใบของมะเขือเปราะจากแปลงเกษตรอินทรีย์และเคมี

ทุก 3 วัน ผลผลิตที่ได้จากแปลงเกษตรอินทรีย์ ส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าผลผลิตจากแปลงเคมี มีความมันเงา ในขณะที่ผลผลิตจากแปลงเคมี มีจำนวนมาก

แต่มีขนาดเล็กและผลมีสีด้าน ไม่มันเงา ดังแสดงในภาพที่ 9

3.3 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุน ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการทำเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์		
กิจกรรม/ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายในการทำเกษตรต่อ 1 แปลง ในช่วงเวลา 4 เดือน (บาท)	
	เกษตรอินทรีย์	เกษตรเคมี
1. ค่าแรง		
-ค่าจ้างถอนหญ้า	2000	2000
-ค่าจ้างยกร่อง+ไถดิน	450	450
-รดน้ำ (ค่าน้ำมัน)	50	50
รวม (1)	2500	2500
2. ค่าปุ๋ยและสารไล่แมลง		
-ปุ๋ย	1050	837
-ยาฆ่าแมลง	-	448
-ฮอร์โมนและสารเร่งการเจริญ	-	400
-น้ำสกัดชีวภาพ	4.4	-
-น้ำสกัดสารสะเดาและสารไล่แมลงแบบชีววิถี (ค่าเอทิลแอลกอฮอล์ ลิตรละ 50 บาท 4 ลิตร = 200 บาท)	200	-
รวม (2)	1254	1685
3. ค่าต้นทุนอื่น	750	750
รวม (3)	750	750
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	4504	4935

การคำนวณต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้มีจำนวน 4,000 กิโลกรัม

ค่าจ้างเหมารถขนวัสดุดิบ 0 บาท

ค่าจ้างแรงงานกลับปุ๋ย 0 บาท

ค่ากระตุกปั่น (400 กก.ๆ ละ15 บาท) 6,000 บาท

ค่าก้อนเห็ด, ผักตบชวา และขุยมะพร้าว 0 บาท

รวม 6,000 บาท

คิดเป็นต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์ 1.50 บาท/กิโลกรัม

หมายเหตุ

1. พื้นที่แปลงเพาะปลูกมีขนาด 4 เมตร x 50 เมตร/แปลง
2. ต้นพันธุ์ที่ทำการปลูกในแปลง ได้แก่

มะเขือเปราะ	จำนวน 32 ต้น
พริกขี้หนู	จำนวน 28 ต้น
มะเขือยาว	จำนวน 32 ต้น
3. การใส่ปุ๋ย

แปลงเคมี: เดือนละ 2 ครั้ง ครั้งแรก 10 กิโลกรัม ครั้งถัดไปครั้งละ 3 กิโลกรัม

แปลงอินทรีย์: ใส่ปุ๋ยก่อนปลูก (Pre-treatment) 20 กก. และใส่ปุ๋ยหลังปลูก (Post-treatment) 2 เดือนแรกทุก 15 วัน สองเดือนหลังใส่ทุก 7 วันครั้งละ 75 กก.
4. ต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์ 1.50 บาท/กก.
- ต้นทุนปุ๋ยเคมี 27 บาท/กก.
5. การรดน้ำ

เกษตรกรผู้ร่วมโครงการเป็นผู้ดูแลรดน้ำให้วันละ 2 ครั้ง โดยมีค่าน้ำมันเดือนละ 10 บาท/แปลง
6. การฉีดพ่นน้ำสกัดชีวภาพและน้ำสกัดสารสะเดาและสารไล่แมลงแบบชีววิถี เดือนแรกเดือนละ 4 ครั้งๆ ละ 1 ลิตร ซึ่งเจือจางกับน้ำแล้ว (3 เดือนหลังฉีดวันเว้นวัน) ในแปลงเพาะปลูกอินทรีย์ น้ำสกัดชีวภาพ 70 บาท/ลิตร โดยเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1: 750 คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อครั้ง 0.09 บาท/แปลง
7. ฉีดพ่นยาฆ่าแมลงและฮอร์โมน เดือนละ 4 ครั้งๆละ 1 ลิตร ในแปลงเพาะปลูกแบบเคมี 10 แปลง คิดเป็น 0.1 ลิตร ต่อครั้งต่อแปลง โดยยาฆ่าแมลง 280 บาท/ลิตรและฮอร์โมน 250 บาท/ลิตร
8. ค่าถอนหญ้า อาทิตย์ละครั้งในเวลา 4 เดือน เดือนละ 500 บาท

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าแปลงเกษตรอินทรีย์ มีต้นทุนการผลิตที่น้อยกว่าในแปลงเกษตรเคมี หากเกษตรกรสามารถควบคุมต้นทุนอินทรีย์ เช่น เศษพืช ผักตบชวา กิ่งไม้ ใบหญ้า เศษผักจากร่องสวน เศษหัวปลา และก้างปลา ในพื้นที่มาผลิตปุ๋ยโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้อีกมาก

3.4 เผยแพร่ผลงานวิจัยและติดตามประเมินผล

ส่วนวิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคม ได้จัดฝึกอบรมให้แก่กลุ่มเกษตรกร มีการฝึกทำปุ๋ยอินทรีย์ น้ำสกัดชีวภาพและสารไล่แมลงแบบชีววิถี ทั้งสิ้น 2 ครั้ง ในระหว่างวันที่ 25-27 ธันวาคม 2551 และ 25-29 พฤษภาคม 2552 รวมผู้อบรมทั้งสิ้น จำนวน 61 คน

หลังจากการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรเทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์ เจ้าหน้าที่ส่วน

วิจัยนิเวศเศรษฐศาสตร์และสังคมได้เดินทางไปติดตามประเมินผลการฝึกอบรมว่ามีการทำเกษตรอินทรีย์ตามที่ได้อบรมไปหรือไม่ พบว่ากลุ่มเป้าหมายจำนวน 7 ครัวเรือน ได้ทดลองทำปุ๋ยอินทรีย์ และน้ำหมักชีวภาพ ตามวิธีและสูตรที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้แนะนำ และนอกจากนี้ ยังได้หารือเรื่องการมีส่วนร่วมและความเป็นไปได้ของการรวมกลุ่มทำเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการพัฒนาเครือข่ายเกษตรอินทรีย์ที่มีอยู่เดิมให้เข้มแข็งขึ้น และมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมกันอย่างแพร่หลาย

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4.1 จากการทดสอบกับพืช 3 ชนิด ได้แก่ มะเขือยาว มะเขือเปราะ และพริกขี้หนู ในพื้นที่ตำบลเจ็ดริ้ว อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร พบว่า มะเขือยาว และพริกขี้หนูในแปลงเกษตรอินทรีย์มีน้ำหนักรวมของผลผลิตมากกว่าในแปลงเกษตรเคมีถึงร้อยละ 28 และ 61 ตามลำดับ ส่วนมะเขือเปราะในแปลงเกษตรเคมีให้ผลผลิตมากกว่าในแปลงเกษตรอินทรีย์ร้อยละ 40 ทั้งนี้เนื่องจากมะเขือเปราะในแปลงสาธิตเกษตรอินทรีย์เกิดปัญหาแมลงศัตรูพืชระบาดในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และ 2 จึงไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ ทำให้ผู้วิจัยศึกษาหาวิธีการกำจัดศัตรูพืชดังกล่าว พบว่าสะเดาสามารถกำจัดศัตรูพืชชนิดนี้ได้ แต่ในช่วงที่เกิดการระบาดรุนแรง การใช้สารสกัดสะเดาเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดความเสียหายได้ทันทีเนื่องจากสะเดาไม่สามารถฆ่าแมลงได้ตายทันทีเหมือนสารเคมี และสารสกัดจากสะเดาไม่สามารถฆ่าแมลงได้ทุกชนิด โดยเฉพาะที่อยู่ในระยะตัวเต็มวัย จึงใช้สารสกัดไล่แมลงสูตรรวมมิตร ซึ่งให้ผลที่ดีและสามารถกำจัดหนอน เจริญ และเพลี้ยต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ซึ่งวัตถุดิบหาได้ในพื้นที่

จากข้อมูลการวิจัยพบว่าผลผลิตรวมของแปลงอินทรีย์มีปริมาณน้อยกว่าแปลงเคมี แต่พืชอินทรีย์จะขายได้ราคาสูงกว่าพืชเคมีถึง 20-50 % ผลดีคือทำให้สุขภาพของผู้ผลิตดีขึ้นไม่ต้องเสียค่ายารักษาโรค รายได้มากขึ้น สิ่งแวดล้อมดีขึ้น และหากทำเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืนและต่อเนื่อง ผลผลิตที่ได้จะไม่แตกต่างกับพืชเคมีเลย นอกจากนี้การทำเกษตรอินทรีย์จะช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมและสมดุลธรรมชาติ คืนความอุดมสมบูรณ์ให้ดิน ทำให้เกษตรกรสามารถใช้พื้นที่เพาะปลูกได้อย่างยั่งยืน^[4,6,8,9]

4.2 ในแปลงทดสอบ เราพบทั้งแมลงที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น เต่าทอง (Ladybird beetle) 2-3 สายพันธุ์ และพบแมลงศัตรูพืช ซึ่งส่วนใหญ่



ภาพที่ 11 ผู้เข้ารับการอบรมเรื่องเทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์ ครั้งที่1



ภาพที่ 12 ผู้เข้ารับการอบรมเรื่องเทคโนโลยีเกษตรอินทรีย์ ครั้งที่2

เป็นแมลงเต่าทอง (Squash beetle) และด้วงถั่วเม็กซิกัน (Mexican bean beetle) รวมทั้งด้วงเต่าทองแดง (Cucurbit leaf beetle; Scientific name: *Aulacophora indica*) โดยสังเกตพบทั้งที่เป็นตัวโตเต็มวัย ตัวอ่อน (lava) และไข่ของแมลงเหล่านั้นที่อยู่ใต้ใบ ทั้งในแปลงเคมีและอินทรีย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรในพื้นที่ใช้อยู่ไม่สามารถป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชเหล่านั้นได้

4.3 ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดของแปลงทดสอบเกษตรอินทรีย์มีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าแปลงเกษตรเคมี นอกจากนั้นเกษตรอินทรีย์ไม่มีสารพิษตกค้างและ

ไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีทางดิน ทางน้ำ และทางอากาศ และยังส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพ ในระบบนิเวศ และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมให้กลับคืนสู่สมดุลธรรมชาติ โดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์หรือสิ่งที่ได้มาจากการตัดต่อพันธุกรรม และให้ผลผลิตสูง อุดมด้วยคุณค่าทางอาหารและปลอดภัยเพื่อคุณภาพชีวิต และเศรษฐกิจพอเพียง แก่ประชาชน

4.4 มีการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้ แก่กลุ่มเกษตรกร ทั้งหมด 2 ครั้ง มีเกษตรกรเข้ารับการอบรมทั้งสิ้น จำนวน 61 คน และจากการติดตามประเมินผลพบว่ามีเกษตรกรนำปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้จำนวน 7 ครัวเรือน

4.5 ประชาชนในพื้นที่ มีความเห็นในด้านการจัดการของเสียชุมชน และการทำเกษตรอินทรีย์ว่าสามารถช่วยลดภาวะโลกร้อน ลดปัญหาการเผาในที่โล่ง และมลพิษจากการฝังกลบ และเผาขยะชุมชน ประชาชนมีความพร้อมที่จะให้ความร่วมมือช่วยลดและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าว และต้องการผลิตและบริโภคสินค้าอินทรีย์ โดยต้องการให้รัฐมีนโยบายที่เข้าถึงประชาชนและปฏิบัติได้จริงและตรงตามความต้องการของชุมชน มีการให้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการของเสียชุมชน และการผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่ถูกต้อง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอุปสรรคสำคัญของการทำเกษตรอินทรีย์ คือ แมลงศัตรูพืชและโรคพืช จึงควรมีการศึกษาวจัยเกี่ยวกับโรคในพืชและวิธีกำจัดศัตรูพืชแบบชีววิธีอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มผลผลิตเกษตรอินทรีย์ที่มีคุณภาพดี อาจทำการปลูกพืชสมุนไพรไล่แมลงก่อนปลูกผัก เช่น สะเดา ชะอม ตะไคร้หอม ข่า มะรุม รอบๆ แปลงทดสอบห่างกันประมาณ 2 เมตร และเพื่อเสริมการป้องกันอาจปลูกกะเพรา โหระพา หรือดาวเรืองแซมบริเวณพื้นที่เพาะปลูก และฉีดพ่นสมุนไพรไล่แมลงอย่างต่อเนื่องทุกๆ 7 วัน และที่

แมลงที่พบในแปลงทดสอบ



ภาพที่ 13 ตัวงั่วเม็กซิกัน

Common name: Mexican Bean Beetle

Scientific name: *Epilachna varivestis*



ภาพที่ 14 ตัวงั่วลายแถบขวาง

Common name: Transverse zigzag-banded ladybird beetle

Scientific name: *Coccinella transversalis*

สำคัญในการทำเกษตรอินทรีย์ เกษตรกรควรดูแลเอาใจใส่แปลงปลูกพืชอย่างใกล้ชิด

การปลูกพืชสมุนไพรเพื่อไล่แมลง ยังสามารถนำพืชสมุนไพรเหล่านี้ไปขาย เพื่อเพิ่มรายได้อีกทางหนึ่งด้วย และหลังจากทำการเก็บเกี่ยวพืชผักแล้ว ควรรีบทำความสะอาดแปลง ไม่ควรทิ้งเศษพืชที่มีโรคแมลงไว้ในแปลง ให้เผาทำลายนอกแปลง ส่วนเศษพืชที่ไม่มีโรคแมลงให้สับลงแปลงเป็นปุ๋ยต่อไป

5. กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นายขจร ชาวท่าทราย นายบัญญัติ เกียรติบรรเจิด และนายป่วน ชาวท่าทราย ที่อนุเคราะห์พื้นที่แปลงทดสอบใน ตำบลเจ็ดริ้ว อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร แล้วเข้าร่วมโครงการวิจัย ร่วมผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และ ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอินทรีย์สำหรับหมักปุ๋ย และขอขอบคุณสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์ ตำบลเจ็ดริ้วทุกท่าน

6. เอกสารอ้างอิง

1. ศ.ดร.ขวัญชัย สมบัติศิริ. 2552. หลักการและวิธีการใช้สะเดาในการกำจัดศัตรูพืช, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://158.108.200.11/ppath/newweb/index.php?option=com_content&task=view&id=52
2. ศ.ดร.ขวัญชัย สมบัติศิริ. 2552. ข้อจำกัดของการใช้สารสกัดจากสะเดา, หนังสือพิมพ์เดลินิวส์ 6 พฤษภาคม 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.dailynews.co.th/web/html/popup_news/default.aspx?newid=198219
3. วีรวิทย์ วิทยารักษ์. 1998. การใช้สารสกัดจากสะเดาเพื่อฆ่าแมลงศัตรูพืช, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก web.ku.ac.th/agri/sadao2/index.htm
4. ข้อคิดและทิศทางการเกษตรอินทรีย์. 2007. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.komchadluek.net/2007/12/26/b001_182936.php?news
5. แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ ฉบับที่ 2551 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.organic.moc.go.th/default_law.aspx
6. วิฑูรย์ ปัญญากุล. 2008. เกษตรยั่งยืน, วารสารเกษตรยั่งยืน, Volume 24 No. 2, หน้า 1-40
7. ต.ชาตรี. 2546. การใช้สาบเสือป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดด, เคล็ดลับภูมิปัญญาไทยชุดสมุนไพรเพื่อการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2, เคพีเอ็มมีเดีย สยาม.
8. เกษตรอินทรีย์ในไทย. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.greennet.or.th/Research/t5100.htm#top
9. วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์. 2552. เกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยตอนที่ 1. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.orgaichailand.com/product-th-361260-157996-เกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยตอนที่ 1.htm
10. ขนวน รัตนวราหะ. 2551. สูตรสาบเสือ, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.organicthailand.com/product-th-361305-1545897-สูตรสาบเสือ เพลี้ยอ่อน หนอนกระทู้ผัก.html
11. น้ำหมักสูตรไล่แมลง. 2551. หนังสือปฎิวัติผืนดินเพื่อกสิกร, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.organicthailand.com/product-th-361302-1545843-น้ำหมักสูตรไล่แมลง.html
12. การใช้สมุนไพรไล่แมลงหรือกำจัดศัตรูพืช. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.tungsong.com/samunpai/insect/index.html





ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี ๓.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0-2577-1136-7, 0-2577-4182-9 โทรสาร 0-2577-1138

www.ertc.deqp.go.th