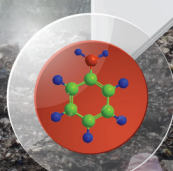
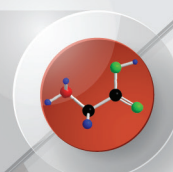
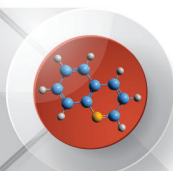
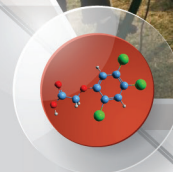
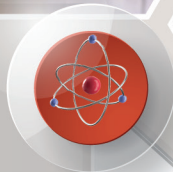




กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

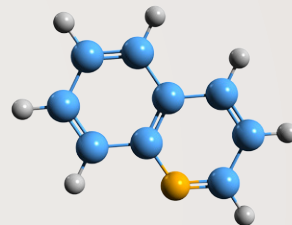


รายงานผลงานวิจัยของ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561-2563



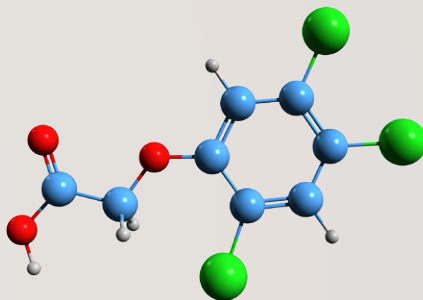
สารจาก

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีบทบาทหน้าที่หลักในการส่งเสริม สนับสนุน และดำเนินการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการควบคุมมลพิษ และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งในระยะเวลาที่ผ่านมาศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม มีผลการดำเนินงานในด้านการวิจัย พัฒนา เทคโนโลยีและนวัตกรรม สิ่งแวดล้อมหลายโครงการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศได้ครอบคลุมปัญหาสิ่งแวดล้อมในทุกด้าน รวมทั้งยกระดับห้องปฏิบัติการด้านสิ่งแวดล้อมสู่มาตรฐานสากลเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องตามหลักวิชาการ น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้อ้างอิงได้

รายงานผลงานวิจัยของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 - 2563 เป็นการสรุปผลการวิจัยด้านอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้านน้ำและขยะ ด้านไดออกซินและสารตกค้างยาวนาน และด้านสารอันตราย ที่ดำเนินการแล้วเสร็จ ในระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2563 เพื่อเผยแพร่ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม และเผยแพร่ต่อสาธารณชนและผู้สนใจทั่วไป ได้ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและมีส่วนร่วมในการป้องกันและแก้ไขปัญหา สิ่งแวดล้อมต่อไป



ที่ปรึกษา

นายสุรชัย อจลบุญ

อธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

นายวรพล จันทรงาม

รองอธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

นางภาวิณี ณ สายบุรี

รองอธิบดีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

บรรณาธิการอำนวยการ

นายปัญญา วรเพชรายุทธ

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

บรรณาธิการ

นางสาวหทัยรัตน์ การิเวทย์

ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

สิ่งแวดล้อม

กองบรรณาธิการ

นางสาวรุจยา บุญยทุฆมานนท์

นายรัฐ เรื่องโชติวิทย์

นายปัญญา ไยถาวร

นายเจนวิทย์ วงษ์ศานูน

นางสาวสุปราณี บุญเรืองรุ่งธนา

นายอัศมน ลิมสกุล

นางจินดารัตน์ เรื่องโชติวิทย์

คณะกรรมการดำเนินงาน

นางสาวอารีรัตน์ จากสกุล

นางสาวพรรณทิพา พุ่มน้ำเย็น

นางสาวณัฐธิกานต์ ทะเสนอด

จัดทำโดย

งานสื่อสารงานวิจัย ฝ่ายบริหารทั่วไป ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ส่วนกลาง : 02-5771136-7, 02-5774182-9

โทรสาร 02-5771138, 02-5774189

E-mail: ertc.help@gmail.com

www.ertc.deqp.go.th

สารบัญ

ด้านไดออกซินและสารตกค้างยาวนาน

1-13

การศึกษาการปนเปื้อนและองค์ประกอบของสารไดออกซิน
ในบรรยากาศบริเวณเทคโนโลยีธานี จังหวัดปทุมธานี
Study on contamination and composition
of dioxins in ambient air at Technopolis Area,
Pathumthani Province

รุจยา บุญยทุมานนท์* เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์
ชมพูนุท พรรัตน์พิมลชัย วิวรรธน์ คุณาเอก สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์
พัชรภรณ์ บุญมาก ขวัญแก้ว หมอยาเก่า มินตา ทิมเสน
อนุพงษ์ ปุณโณทก ชวนพิศ บุญย้อย
Ruchaya Boonyatumanond*, Methawaj Rungsiriworapong,
Chompoonut Pornrattanapimolchai, Viwatana Kuna-ake,
Suttisak Narongsak, Patcharaporn Boonmark,
Khwankaew Moyakao, Minta Thimsen,
Anupong Poonnotok, Chuanpit Boonyoy

14-24

การปนเปื้อนของสารพิษกลุ่มไดออกซิน พีวแรน
และไดออกซิน โลค พีซีบี จากบ่อขยะมูลฝอยชุมชน
และขยะอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดบุรีรัมย์
Occurrence of Dioxins Furans and Dioxin like PCBs
contaminated in from municipal solid waste
and E-waste dumping site, Buriram province

รุจยา บุญยทุมานนท์* เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์
ชมพูนุท พรรัตน์พิมลชัย ชวนพิศ บุญย้อย สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์
วิวรรธน์ คุณาเอก สุนิทธรา ทองเกลี้ยง นุชจรินทร์ เหลลาแหลม
เกศวดี เฮ้งเจริญสุข
Ruchaya Boonyatumanond*, Methawaj Rungsiriworapong,
Chompoonut Pornrattanapimolchai, Chuanpit Boonyoy,
Suttisak Narongsak, Viwatana Kuna-ake,
Sunithra Thongklieng, Nuchjarin Laoleam,
Ketwadee Hengcharoungsuk

ด้านน้ำและขยะ

25-35

การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำ
กลับมาใช้ใหม่ สำหรับกิจกรรมของภาคชุมชน
และภาคเกษตรกรรม
Development of membrane bioreactor for water
reuses purposes in municipal and
agricultural sectors

สุดา อธิสุภรณ์รัตน์* ชยานิน น้ำเอื้อง¹ พินทุสร อึ้งสุวรรณ¹
ปัญญา ไยถาวร¹ สุธิดา ทีปักษ์พันธุ์² อาทิตย์ เพ็ชรรัักษ์³
ณัฐรา แสงนรินทร์ เหมจินดา⁴
Suda Ittisupornrat^{1*}, Chayanin Namyuang¹,
Pintusorn Ouengsuwan¹, Panja Yaithavorn¹,
Suthida Theepharaksapan², Athit Phetrak³, Nutta Seangnarin Hemjinda⁴

36-46

การบำบัดน้ำเสียครัวเรือนจากการซักล้าง ด้วยระบบ
บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิวเพื่อการนำน้ำกลับมา
ใช้ใหม่
Household greywater treatment by subsurface
flow constructed wetland for water reuse

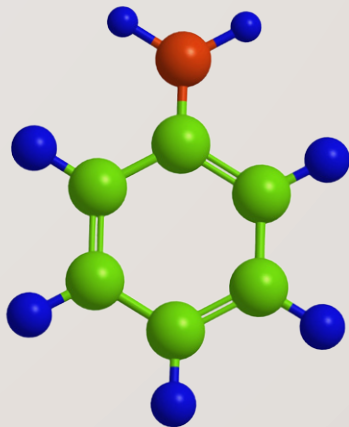
วาสิกา เสวตโยธิน* สุดา อธิสุภรณ์รัตน์ ชัชชัย โทปัญญา
ชรินทร์ โมฬี
Variga Sawattayotin*, Suda Ittisupornrat, Chatchai Thopanya,
Charintorn Molee

47-57

การพัฒนาถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับตลาดสด

Development of On-Site wastewater treatment tank for the fresh market

สุเทียบ ศรีลาชัย* ชัชชัย โทปัญญา ชวลา เสียงล้ำ ชรินทร์ โมฬี
อนุพงษ์ ปุณโณทก นริศนีย์ นวลไม้ ปัญญา ไยถาวร
Sutiab Srilachai*, Chatchai Thopanya, Chawala Sienglum,
Charintorn Molee, Anupong Poonnotok,
Narissanee Naulmai, Panja Yaithavorn



58-69

ศึกษาประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย
ชุมชนด้วยฟองอากาศแบบละเอียด

Study on the efficiency of fine air Bubbles to separate fat, oil and grease from domestic wastewater

ชัชชัย โทปัญญา* วาสิกา เสวตโยธิน สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์
ชยานิน น้ำเอื้อง ชวลา เสียงล้ำ ปัญญา ไยถาวร
Chatchai Thopanya*, Variga Sawaittayotin, Suda Ittisupornrat,
Chayanin Namyuang, Chawala Sienglum,
Panja Yaithavorn

70-79

ประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัด
น้ำเสียชุมชนในประเทศไทย เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้
ใหม่ในภาคการเกษตร

Removal efficiency of microbial contamination in municipal wastewater treatment plant of Thailand for agricultural reuse

จิตติมา จารุเดชา* สุเทียบ ศรีลาชัย ชวลา เสียงล้ำ
อนุพงษ์ ปุณโณทก ขนิษฐา เกรียงไกร พินทุสร อึ้งสุวรรณ
นริศนีย์ นวลไม้ ปัญญา ไยถาวร

Chittima Charudacha*, Sutiab Srilachai,
Chawala Sienglum, Anupong Poonnotok,
Kanitha Kiangkrai, Pintusorn Ouengsuwan,
Narissanee Naulmai, Panja Yaithavorn

80-90

การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของเหล็กและโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

Development a simple water quality test kit of Total Iron and Chromium Hexavalent

อัญชลี แทนนิล* ณัฐพร ศุขกสิกร พรจิต ม่วงวงษา

วิชจรินทร์ ปัญญาสะ ประคอง โคตรพงษ์

Aunchalee Tannil*, Nuttaphon Sukhakasikorn,

Phornjit Mungwongsa, Watjarin Punyasa,

Prakong Khottarapong

91-101

ศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่

กรณีศึกษาปัญหาขยะชุมชน

Study on local environmental management

pattern: A case study on Municipal Solid Waste

รัฐ เรืองโชติวิทย์* ธงชัย สีฟ้า กัลยา กาญจนัชฐิติ

นัยนา กล่อมเชื้อ รัฐาพร จงพิบูลย์ ขวัญฤทัย เรณูหอม

Rath Ruengchotvit*, Thongchai Seefa,

Kalaya Khanchanusthiti, Naiyana Klomchue,

Thitaporn Jongpiboon, Khwanruthai Renuhom

ด้านสารอันตราย

102-112

การวิจัยแนวทางการจัดการขยะและของเสียในอุทยานแห่งชาติ โดยกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) กรณีศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Study for waste management's guidelines in

National parks using Participatory Action

Research (Case study: Northeastern Thailand)

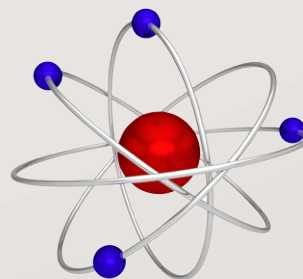
น้ำฝน อัสวากิจกุลโรจน์* เจนวิทย์ วงษ์ศานูน ลำไย วงษ์ศานูน

ศิริพงศ์ สุขทวี สุธีระ บุญญาพิทักษ์

Namfon Asawakitkulroj*, Janewit Wongsanoon,

Lamyai Wongsanoon, Sirapong Sooktawee,

Suteera Boonyapitak



113-124

การประเมินทางเลือกการปรับตัวของเมืองชายฝั่ง
ในบริเวณอ่าวไทยต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล
การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง

Evaluation of adaptation options to sea level
rise, coastal erosion, and storm surge for coastal
cities along the Gulf of Thailand

อัศดร คำเมือง* ศุภฤกษ์ พุกพัก นิดาลักษณ์ อรุณจันทร์
อัศมน ลิ้มสกุล

Asadorn Kammuang*, Suppalerk Pukpak,
Nidalak Aroonchan, Atsamon Limsakul

125-139

การพัฒนาแบบการปลูกป่านิเวศเพื่อลดผลกระทบ
จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะ
ชายฝั่ง

Development of eco-forest model to reduce the
impacts of sea level rise and coastal erosion

กิตติวรรณ กิจปรกรณ์สันติ* สุนทร งดงาม อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์
จารุณี ว่างสว่าง อรสา นานบ้าน อัศมน ลิ้มสกุล

Kittiwann Kitpakornsanti*, Soonthorn Ngogngam,
Onchan Krottapong, Jarunee Wangsawang,
Orasa Naban, Atsamon Limsakul

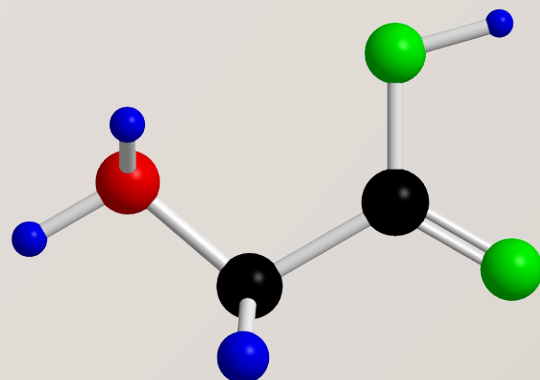
140-150

การพัฒนาดัชนีและเครื่องมือสำหรับประเมินความ
ตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพ
ภูมิอากาศ

Development of index and tool for assessing
public awareness on climate change

ปรีดาร์ตน พลละเอียด* ปรางทิพย์ จันทร์ศรี อัศมน ลิ้มสกุล

Preedarat Pholla-iad*, Prangtip Chansri
Atsamon Limsakul



ด้านอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน

151-160

การประเมินความใช้ได้ของแบบจำลอง WRF-Chem สำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย
Evaluation of WRF-Chem Modeling for the upper part of Northern Thailand

ศิริพงศ์ สุขทวี*, อุดลย์เดช ปัดภัย, สุธีระ บุญญาพิทักษ์,
รุ่งระวี คงสงค์, นิรัน เปี่ยมโย, รัชตวรรณ เกตุวัง
Sirapong Sooktawee*, Aduldech Patpai,
Suteera Boonyapitak, Rungrawee Kongsong,
Nirun Piemyai, Ratchatawan Ketwang

161-170

ระบบภาพฉายดัชนีภัยแล้งในอนาคตอันเนื่องมาจาก
สถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก
Visualizing system of projected drought caused
by representative concentration pathways

ศิริพงศ์ สุขทวี* อุดลย์เดช ปัดภัย นิรัน เปี่ยมโย
รัชตวรรณ เกตุวัง
Sirapong Sooktawee*, Aduldech Patpai,
Nirun Piemyai, Ratchatawan Ketwang

171-181

การศึกษาพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงเพื่อจัดการปัญหามลพิษ
ทางเสียงจากท่าอากาศยานภูมิภาค
Study of noise sensitive areas for regional
airport noise pollution management

วิรัช เอื้อทรงธรรม* สุมาลี ปานมาศ เจษฎาพร รอดพิพัฒน์
ณัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ ยุพิน บัวจันพอ ภาวิณี นาคประเวศน์
เกษณีย์ นนทคำจันทร์ ศิวฤทธิ์ โจรณสีมานนท์
Wirach Auesongtham*, Sumalee Panmat,
Jadsadaporn Rodpipat, Nattapong Chansombat,
Yupin Buajanpho, Pavinee Nakpraves,
Kessanee Nontakumjan, Sivarit Rojanasimanon

182-193

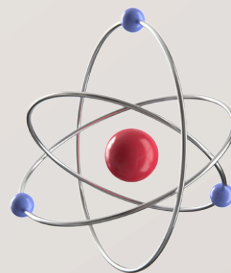
นวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจาก
ลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง
Innovative device of VOCs determination from
exhaled breath to assess cancer risk

วรรณิ เลาวกุล* วิสุทธิ์ ถ้ำเลิศธน² ณรงค์ฤทธิ ศรีธนะ²
ทศพร เพ็องรอด² เพลินพิศ พงษ์ประยูร¹ ศุภานุ รสจันทร์¹
Wanna Laowagul^{1*}, Wisut Lamlerthon²,
Narongrit Sritana², Todsaporn Fuangrod²,
Plempis Pongprayoon¹, Supanut Roschan¹

194-206

การปนเปื้อนสารปรอท VOCs และ PAHs จากขยะ
อิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชน ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์
Contamination of Mercury, VOCs and PAHs
from electronics waste and municipal solid
waste In Buriram Province

จันทิราพร ทั้งสุวรรณ* วรรณิ เลาวกุล เพลินพิศ พงษ์ประยูร
ศุภานุ รสจันทร์ เต็มเดือน ชานะทร เดซี่ หมอกน้อย
อรจิรียา ช่างเหล็ก กมลเศ ทงดีเลิศ ทัยรัตน์ การ์เวทย์
Chanthiraporn Tangsuwan*, Wanna Laowagul,
Plempis Pongprayoon, Supanut Roschan,
Temduean Chanatorn, Daisy Morknoy,
Onjeereeya Changlek, Kammales Thongdeelerd,
Hathairatana Garivait



การศึกษาการปนเปื้อนและองค์ประกอบของสารไดออกซิน
ในบรรยากาศบริเวณเทคโนโลยี จังหวัดปทุมธานี
Study on contamination and composition of dioxins in ambient air
at Technopolis Area, Pathumthani Province

รุชยา บุญยทุมานนท์* เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์ ชมพูนุท พรรัตน์พิมลชัย
วิวรรธน์ คุณาเอก สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์ พัชราภรณ์ บุญมาก ขวัญแก้ว หมอยาเก่า
มินตา ทิมเสน อนุพงษ์ ปุณโณทก ชวนพิศ บุญย้อย
Ruchaya Boonyatumanond*, Methawaj Rungsiriyorapong,
Chompoonut Pornrattanapimolchai, Viwatana Kuna-ake, Suttisak Narongsak,
Patcharaporn Boonmark, Khwankaew Moyakao, Minta Thimsen,
Anupong Poonnotok, Chuanpit Boonyoy

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion
E-mail: ruchaya2007@gmail.com*

บทคัดย่อ

สารกลุ่มไดออกซิน เป็นสารที่เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และเป็นสารพิษที่ก่อมะเร็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์ และได้รับการบรรจุในอนุสัญญาสตอกโฮล์ม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ปฏิบัติตามแผนปฏิบัติการระดับชาติตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม จึงจัดตั้งห้องปฏิบัติการไดออกซิน ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการแห่งแรกในประเทศไทยที่สามารถวิเคราะห์สารไดออกซินในสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่องานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี และการทดสอบสารกลุ่มไดออกซินในสิ่งแวดล้อม และให้บริการทดสอบแก่ภาครัฐและเอกชน และสนับสนุนข้อมูลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีการบังคับใช้กฎหมายอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อดำเนินการตามมาตรฐานของห้องปฏิบัติการที่ทำงานด้านสารพิษ จำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างบรรยากาศบริเวณรอบอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซินในฤดูแล้งและฤดูฝน และอากาศภายในห้องปฏิบัติการ โดยดำเนินการอย่างต่อเนื่องทุกปี ตั้งแต่เริ่มดำเนินการ พ.ศ. 2556 รายงานนี้จะนำเสนอผลการศึกษาในปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 ผลการวิเคราะห์พบว่าในช่วงฤดูแล้งจะมีความเข้มข้นสูงกว่าฤดูฝน โดยสารกลุ่มไดออกซิน พีวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ตรวจพบในฤดูแล้งและในฤดูฝนอยู่ในช่วง 0.0005 - 0.178 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร และ 0.0009 - 0.074 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ การศึกษาองค์ประกอบของสารตกค้างยาวนานที่พบในปริมาณสูงคือ สารกลุ่มไดออกซิน ไลค์ พีซีบี โดยในฤดูแล้งพบ 2,3,4,5-PeCB (#118) ปริมาณที่สูงกว่าคอนจีเนอร์อื่นในกลุ่มเดียวกัน สำหรับปริมาณที่พบในห้องปฏิบัติการนั้น อยู่ในระดับที่ปลอดภัยในการทำงานโดยปริมาณที่พบ ไม่เกิน 0.6 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ตามมาตรฐานไดออกซินในบรรยากาศของประเทศญี่ปุ่นซึ่งกำหนด

คำสำคัญ : ไดออกซิน บรรยากาศ ห้องปฏิบัติการไดออกซิน การปนเปื้อน



Abstract

Dioxin groups are unintentionally emitted into the environment as a product of incomplete combustion and it cause of cancer, especially on the immune system and reproductive system. Dioxin was registered under the Stockholm Convention agenda. The Department of Environmental Quality Promotion agreed with the Stockholm Convention and established the Dioxin laboratory at Environmental Research and Training Center which was the first dioxin laboratory in Thailand and the first laboratory to analyze dioxins in environmental media. The dioxin laboratory performs research and development of analytical technique for dioxin groups in the environment. It also extends its services to other government and private sectors and support concerned agencies by providing reliable data for the enforcement of dioxin regulations in Thailand. In order to comply with the regulations related to standard toxic laboratories, since the year 2015 to the present, the dioxin laboratory monitors its indoor activities to ensure a safe workplace for its researchers as well as monitor its outdoor emissions by collecting ambient air samples in areas surrounding the laboratory during the rainy and dry season. The summarized report was submitted during 2018 to 2020. The results showed that the concentrations of Dioxins, Furans and Dioxin-like PCBs during the dry season showed higher concentrations than during the rainy season. The concentrations of Dioxins, Furans and Dioxin-like PCBs during dry season were 0.0005 - 0.178 pg-TEQ/m³ and during rainy season were 0.0009 - 0.074 pg-TEQ/m³. The highest concentration of Persistent Organic Pollutants detected during the dry season were Dioxin-like PCBs 2,3,4,4',5-PeCB (#118) which constituted the highest concentration among the congeners within the group. The concentrations of Dioxins detected indoor of the laboratory were less than 0.6 pg-TEQ/m³ which were within the concentration of Dioxins standard regulation for ambient air of Japan.

Keywords : Dioxins, Ambient air, Dioxin laboratory, contamination

1. บทนำ

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้จัดตั้งห้องปฏิบัติการไดออกซิน โดยเป็นไปตามแผนปฏิบัติการระดับชาติของการดำเนินการตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม ถือเป็นภารกิจที่สำคัญ ซึ่งประเทศไทยได้ลงนามในสัตยาบันอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน เมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2548 ซึ่งอนุสัญญาดังกล่าวมีเป้าหมายในการลด/เลิกการผลิต การใช้ และการปลดปล่อยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนานเพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน โดยได้กำหนดสารกลุ่มไดออกซินอยู่ในการควบคุมของอนุสัญญาดังกล่าว และคณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบให้ดำเนินการภายใต้กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเปิดดำเนินการตั้งแต่ พ.ศ. 2556 ซึ่งถือเป็นห้องปฏิบัติการของภาครัฐที่สามารถวิเคราะห์สารไดออกซินในสิ่งแวดล้อมได้เป็นแห่งแรกของประเทศไทย เพื่อให้บริการวิเคราะห์ทดสอบแก่ภาครัฐและเอกชน โดยมุ่งหวังให้สามารถบังคับใช้กฎหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ห้องปฏิบัติการมีการออกแบบเป็นพิเศษ กล่าวคือ มีระบบกรองอากาศและฝุ่นหลายประเภทเช่นเดียวกับห้อง clean room มีระบบการหมุนเวียนอากาศแบบ negative pressure ประกอบด้วย prefilter filter medium filter HEPA filter และ active carbon filter เพื่อกรองฝุ่นขนาดต่างๆ และกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศก่อนเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อป้องกันมิให้ฝุ่นเข้าไปมีผลกระทบต่อทดสอบ และติดตั้งระบบกรองอากาศจากห้องปฏิบัติการก่อนการระบายอากาศออกสู่ภายนอกอาคาร

สารมลพิษที่ตกค้างยาวนานกลุ่ม Dioxin-Like Compounds (DLCs) เป็นชื่อทั่วไปของสารที่มีโครงสร้างเป็นลักษณะ Planar aromatic hydrocarbons ที่มีความสามารถในการจับกับ Aryl-hydrocarbon Receptor (AhR) และมีความเป็นพิษเหมือนสารไดออกซิน¹ สารกลุ่ม DLCs ที่มีความเป็นพิษมากที่สุด ได้แก่ สารกลุ่ม Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) 17 ชนิด และ Dioxin-Like Polychlorinated biphenyls (DL-PCBs) 12 ชนิด¹⁻² การวัดค่าความเป็นพิษของสารไดออกซินจะแสดงค่าเป็น Toxicity Equivalency Factors (TEF) โดยถูกกำหนดตามความสามารถในการกระตุ้น AhR ของไดออกซินแต่ละตัวเทียบกับ 2,3,7,8 - TCDD ซึ่งเป็นตัวที่มีความเป็นพิษมากที่สุดและถูกกำหนดค่า TEF เท่ากับ 1.0 และค่าความเป็นพิษรวมของสารกลุ่มนี้จะแสดงในรูปของค่า TEQ ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของค่าความเข้มข้นแต่ละคอนจิเนอรัลคูณกับค่า TEF¹ สารไดออกซินเกิดจากกระบวนการเผาโดยไม่ตั้งใจ เช่น การเผาขยะชุมชน ขยะติดเชื้อและขยะอุตสาหกรรมที่ไม่สมบูรณ์ กระบวนการผลิตสารเคมีที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ สารกำจัดศัตรูพืช สารกำจัดวัชพืช และยาฆ่าแมลง กระบวนการหลอมโลหะ การผลิตกระดาษ การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม³⁻⁴ สารไดออกซินสามารถตกค้างได้ยาวนานในสิ่งแวดล้อมและสะสมในสิ่งมีชีวิตผ่านทางห่วงโซ่อาหารเนื่องจากเป็นสารที่ละลายได้ดีในไขมันและทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพและทางเคมี⁵ โดยสารไดออกซินที่สะสมอยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิตมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 7-11 ปี² The International Agency for Research on Cancer จัดให้สารกลุ่มไดออกซินเป็น multi-site carcinogens (กลุ่มที่ 1)⁶ สารไดออกซินจะไปขัดขวางระบบและการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย (ระบบประสาท ต่อมไร้ท่อ ระบบภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์) ผ่านทางการทำปฏิกิริยากับ AhR⁷ การได้รับสารไดออกซินทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมากมาย ความรุนแรงของผลกระทบที่ได้รับจะแตกต่างกันขึ้นกับเพศ แหล่งกำเนิดและช่องทางการได้รับสาร รวมถึงระยะเวลาของการได้รับพิษสะสมในช่วงชีวิตที่แตกต่างกัน⁸ โดยสารไดออกซินไม่ทำให้เกิดอาการพิษหรือตายอย่างทันทีแต่อาการจะค่อยๆ เกิดและเพิ่มความรุนแรงจนถึงตายได้ อาการเฉียบพลันที่ปรากฏคือ ทำให้เกิดโรคผิวหนังที่เรียกว่า “Chloracne” คือมีผิวหนังขึ้นเป็นสิหัวดำ มีถุงสีน้ำตาลอมเหลืองของผิวหนังบริเวณหลังใบหู ขอบตา หลัง ไหล่ และบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในกระแสเลือดซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ทดลองและปริมาณของสาร ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ของสัตว์เพศผู้และเพศเมีย มีรายงานว่าเกิดโรกระบบประสาทในคนงานที่ได้รับสารนี้จากการหลอมหรือปนเปื้อนในอุตสาหกรรม โดยมีอาการกล้ามเนื้อไม่มีกำลัง มีการแสดงอาการโรคประสาท เช่น การสูญเสียความรู้รับประสาท ปลายมือ และปลายเท้าอ่อนเพลีย เป็นต้น

ห้องปฏิบัติการไดออกซิน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้เริ่มดำเนินการตรวจวัดสารไดออกซิน (Dioxins) ฟิวแรน (Furans) และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี (DL-PCBs) ตั้งแต่ปี 2556 ซึ่งในแต่ละปีมีจำนวนตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น ทั้งงานวิจัยของห้องปฏิบัติการและโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานอื่น และการรับบริการทดสอบงานพัฒนาวิธีทดสอบเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 จึงได้ดำเนินการตรวจสอบเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารไดออกซินบริเวณพื้นที่รอบห้องปฏิบัติการต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการติดตามสารไดออกซินที่ปนเปื้อนบริเวณใกล้เคียงและสามารถอธิบายสถานการณ์แก่ภาคประชาชนให้เกิดความเชื่อมั่นว่า ได้ดำเนินการอย่างปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบ

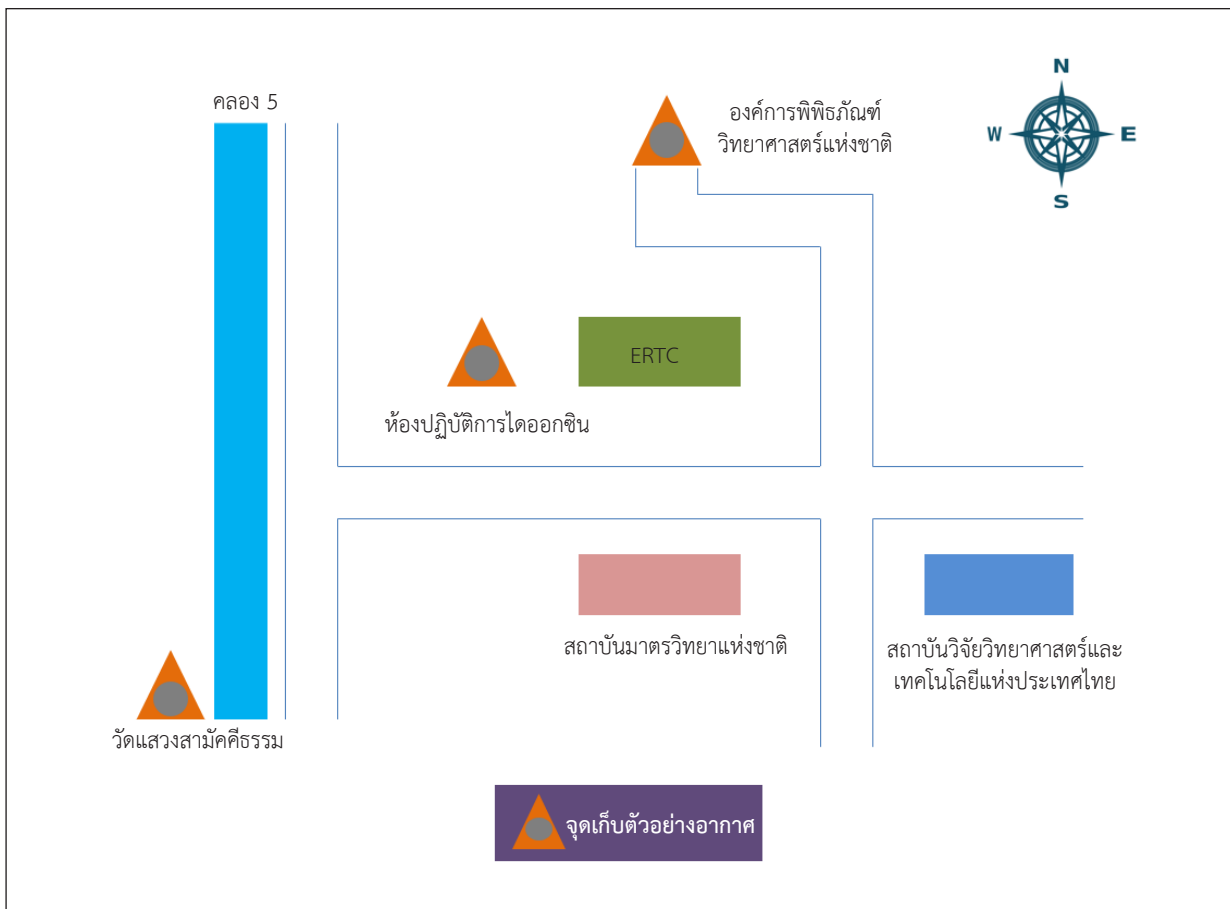
2. วิธีการวิจัย

การตรวจสอบเพื่อเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารไดออกซินบริเวณพื้นที่รอบห้องปฏิบัติการอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน ระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 แบ่งเป็น 2 ฤดูกาล คือ ฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม ถึง ตุลาคม) โดยจุดเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณรอบๆ ห้องปฏิบัติการไดออกซินรวม ได้แก่ วัดแสงสามัคคีธรรม องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ (อพวช.) ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 รวมทั้งทำการเก็บ

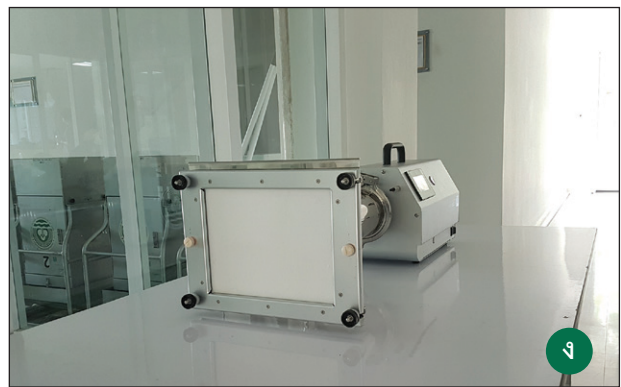


ตัวอย่างในอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซินและภายในห้องปฏิบัติการ การเก็บตัวอย่างบรรยากาศโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างตามมาตรฐานกระทรวงสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย⁹ ด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างบรรยากาศชนิด High Volume Air Sampler ยี่ห้อ Sibata รุ่น HV1000R ซึ่งจะทำการดูดอากาศด้วยปั๊มผ่านกระดาษกรอง (Quartz Fiber Filter) และโพลียูรีเทนโฟม (PUF) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อตัวอย่าง สำหรับการศึกษความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของสารทั้ง 3 กลุ่ม คือ สารไดออกซิน (Dioxins) ฟิวแรน (Furans) และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี (DL-PCBs) โดยทำการเก็บตัวอย่างบนดาดฟ้าของอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน โดยเก็บตัวอย่างอากาศ จำนวน 7 วัน ต่อเนื่องตลอดทั้งปี ระหว่าง พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2562 ด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างบรรยากาศชนิด High Volume Air Sampler เช่นเดียวกัน

วิธีการทดสอบ⁹ โดยเทคนิค Soxhlet Extraction เป็นเวลา 16 - 24 ชั่วโมง นำสารที่สกัดได้ผ่านขั้นตอนการ Cleanup ด้วย Multilayer silica gel column และ active carbon silica gel column และนำมาลดปริมาตรด้วยเครื่อง Rotary evaporator ให้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 100 ไมโครลิตร ตัวอย่างที่สกัดได้นำมาวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณด้วยเครื่อง Gas Chromatograph-High Resolution Mass Spectrometer (GC/HRMS) โดยใช้ HRMS แบบ Double Focusing Magnetic Sector ยี่ห้อ JEOL รุ่น JMS-800D การควบคุมคุณภาพในการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานวิธีทดสอบของกระทรวงสิ่งแวดล้อมญี่ปุ่น เช่น การทำ Travel Blank ในการเก็บตัวอย่างอากาศ ตรวจสอบ Operation blank และ Duplicate sample ในห้องปฏิบัติการ และเป็นไปตามระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025



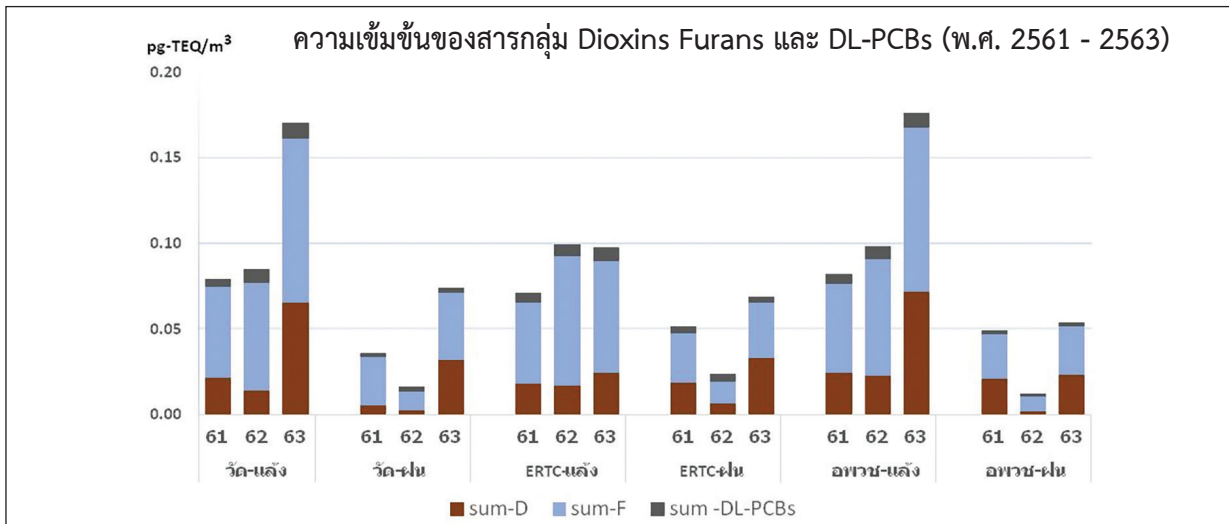
รูปที่ 1 แสดงแผนที่จุดเก็บตัวอย่างรอบอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน



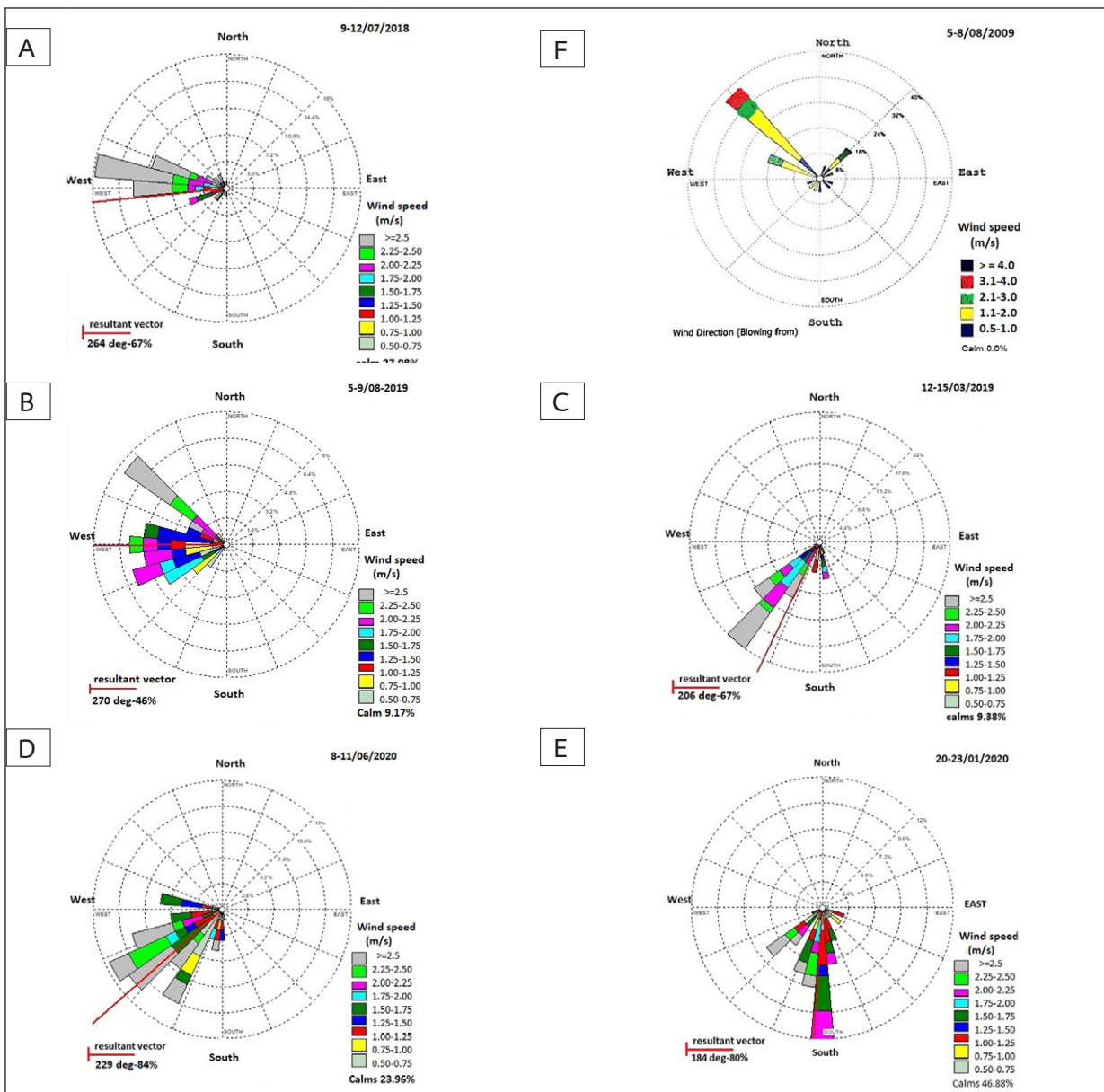
รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (ก) วัดแสงสามัคคีธรรม (ข) อาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน (ค) อพวช. และ (ง) ภายในอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน

3. ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารไดออกซินในตัวอย่างอากาศบริเวณเทคโนโลยี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 ดังรูปที่ 3 แสดงผลรวมความเข้มข้นที่คูณค่าความเป็นพิษแล้ว (Total PCDD/Fs and DL-PCBs as Toxic Equivalent : TEQ) มีหน่วยเป็นพิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร และแสดงองค์ประกอบทั้ง 3 กลุ่มที่ศึกษา และจากการเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยกลุ่มอากาศ เสี่ยง และความสิ้นสะอาดด้วยเครื่องอัตโนมัติ (1405-DF TEOM™ Continuous Dichotomous Ambient Air Monitoring ยี่ห้อ Thermo Scientific) และนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม WRplot view สรุปข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงองค์ประกอบและปริมาณสารกลุ่มไดออกซินฯ ในพื้นที่เทคโนโลยี



รูปที่ 4 แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 (A-E) และเปรียบเทียบกับทิศทางลมเดือนกันยายน พ.ศ. 2552 (F)

จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 ตามรูปที่ 4 (A-E) และผลการศึกษาคความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของโครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการได้ออกซินเมื่อกันยายน พ.ศ. 2552 (ค.ศ. 2009)¹⁰ แสดงทิศทางลม ดังรูปที่ 4 (F) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลอุตุนิยมวิทยากับปีปัจจุบันนั้น สามารถสรุปได้ว่า ทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน ลมจะพัดในทิศทางในอดีตและปัจจุบันไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ ต้นลมจะมีทิศทางพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ฝั่งคลองหน้าเทคโนโลยี) หรือทิศใต้ (ฝั่งสนามฟุตบอลของเทคโนโลยี) ปลายลมคือทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (พิพิธภัณฑิวิทยาศาสตร) หรือทิศเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนสิงหาคม และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลทิศทางลมที่เคยทำไว้ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2552 ตามรูปที่ 4 (F) ทิศทางลมจะมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ความเร็วลมช่วง 1.1 - 4.0 เมตรต่อวินาที และจากการสำรวจข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาดังกล่าว จึงนำมากำหนดจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของสารกลุ่มได้ออกซินตามแนวทิศทางลมต่อเนื่องทุกปี คือ วัดแสงสามัคคีธรรม อาคารห้องปฏิบัติการได้ออกซิน และองค์การพิพิธภัณฑิวิทยาศาสตรแห่งชาติ (อพวช.)

ผลจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา อธิบายได้ว่า โดยรวมพื้นที่เทคโนโลยีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน - สิงหาคม) อธิบายจากรูปที่ 4 (A-B และ D) จะมีความเร็วลมสูงกว่าฤดูแล้ง (เดือนมกราคม - มีนาคม) จากกราฟแสดงความเร็วลมในช่วงฤดูฝน มีความเร็วลมมากกว่า 2.50 เมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4 (E) ที่มีความเร็วลมจะอยู่ช่วง 1.50 - 2.25 เมตรต่อวินาที ดังนั้นในฤดูฝนจะเกิดการกระจายตัวของอากาศได้ดีกว่าฤดูแล้ง จึงตรวจพบการตกค้างของสารพิษในอากาศในปริมาณที่น้อยกว่าฤดูแล้ง (พบความเข้มข้นรวมช่วง 0.071 - 0.10 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) เมื่อเทียบกับรูปที่ 4 (E) สภาพอากาศเป็นลมสงบ (ฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2563 จะพบความเข้มข้นรวมที่ 0.11 - 0.18 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) และจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสามารถอธิบายได้ว่า ประการที่ 1 ฤดูฝนในพื้นที่เทคโนโลยี มีลมแรงทำให้อากาศและฝุ่นมีการกระจายตัวได้ดีกว่าฤดูร้อน จึงทำให้ตรวจพบสารตกค้างในอากาศช่วงฤดูฝนมีปริมาณที่ต่ำกว่าฤดูร้อน ประการที่ 2 การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง high volume air sampler จำเป็นต้องใช้เครื่องรุ่นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บกลุ่มได้ออกซินฯ โดยเฉพาะ เนื่องจากสมบัติของสารพิษกลุ่มดังกล่าวนี้สามารถเกิดพันธะและปฏิกิริยาทางเคมี (interaction) ด้วยกระบวนการทางเคมี ทั้ง Physical และ Chemical adsorption กับฝุ่นในอากาศ และสารพิษบางชนิดก็สามารถระเหยและแลกเปลี่ยนอนุภาคในสถานะก๊าซได้ดีกว่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างอากาศทั้งใน particulate phase บน quartz filter และ gas phase ด้วย polyurethane foam (PUF) ในฤดูฝนเนื่องจากมีความชื้นในอากาศสูง ละอองน้ำในอากาศจะช่วยจับฝุ่นที่กระจายตัวในอากาศตกสู่แผ่นดิน ทำให้ปริมาณฝุ่นที่เก็บในอากาศมีปริมาณที่น้อยลงกว่าฤดูแล้ง และ ประการที่ 3 จากข้อมูลของกองส่งเสริมโครงการพระราชดำริ¹² เรื่องการจัดการพื้นที่และวิศวกรรมเกษตร โดยดาวเทียมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) พบว่า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เป็นพื้นที่ที่มีจุดความร้อนสะสมมากที่สุด โดยเฉพาะในฤดูร้อนมักจะเห็นการเผาอยู่บ่อยครั้ง ในช่วงเวลาเย็นซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งกิจกรรมการเผาในที่โล่งจะเป็นแหล่งกำเนิดหลักที่ทำให้เกิดสารกลุ่มดังกล่าว ผลจากการเปรียบเทียบในภาพรวม ปริมาณสารกลุ่มได้ออกซิน พิวแรน และได้ออกซิน ไลค์ พีซีบี ณ จุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด คือ วัดแสงสามัคคีธรรม อาคารห้องปฏิบัติการได้ออกซิน และองค์การพิพิธภัณฑิวิทยาศาสตรแห่งชาติ (อพวช.) ดังแสดงในรูปที่ 3 ตรวจพบว่าปริมาณผลรวมความเข้มข้นในแต่ละปีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีข้อสังเกตว่า ผลรวมของสารกลุ่มได้ออกซินฯ ในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณผลรวมความเข้มข้นที่สูงกว่าปีอื่น กล่าวคือ ปริมาณที่พบในช่วงฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2563 พบปริมาณที่สูงกว่าปี พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2562 ประมาณ 2 เท่า โดยเฉพาะในพื้นที่เก็บตัวอย่างที่ อพวช. (Total = 0.17 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) และวัดแสงสามัคคีธรรม (total = 0.18 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) เมื่อพิจารณาข้อมูล

อุตุนิยมิวิทยา เรื่องทิศทางลมและความเร็วลมในช่วงที่เก็บตัวอย่างอากาศนั้น สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2563 ในรูปที่ 4 (E) สภาพอากาศเป็นลมสงบ (มีความเร็วลมไม่เกิน 2.25 เมตร) และความเร็วลมต่ำกว่าปี พ.ศ. 2561 - 2562 (มีความเร็วลมมากกว่า 2.50 เมตร/วินาที) และทิศทางลมมาจากทิศใต้เป็นหลัก ถ้าพิจารณาจากองค์ประกอบของสารทั้ง 3 กลุ่ม พบการปนเปื้อนของสารกลุ่มพีวแรนในปริมาณที่สูงมากกว่าสารกลุ่มอื่น ซึ่งสารกลุ่มพีวแรนมักจะพบเป็นองค์ประกอบหลักจากการเผาชีวมวลเป็นแหล่งกำเนิด¹¹ จากข้อมูลของกองส่งเสริมโครงการพระราชดำริ¹² งานการส่งเสริมการหยุดการเผาในพื้นที่เกษตร เรื่องการจัดการพื้นที่และวิศวกรรมเกษตร โดยดาวเทียมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) พบจุดความร้อนสะสมในจังหวัดปทุมธานี ระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2563 โดยแบ่งตามลักษณะพื้นที่ที่มีจุดความร้อนสะสมมากที่สุด สรุปลักษณะที่ 1 และอำเภอในพื้นที่ที่มีจุดความร้อนสะสมมากที่สุด ดังตารางที่ 2 จากข้อมูลดังกล่าวเป็นที่น่าสังเกตว่าพื้นที่ชุมชนและพื้นที่อำเภอคลองหลวง เป็นพื้นที่ที่มีจุดความร้อนสะสมมากที่สุดในจังหวัดปทุมธานี อย่างไรก็ตาม นอกจากการเผาชีวมวลแล้ว การเผาขยะอื่นๆ ก็เป็นปัจจัยให้เกิดได้ทั้งไดออกซินและพีวแรนด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ที่มีจุดความร้อนสะสมมากที่สุด ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 - 2563 กองส่งเสริมโครงการพระราชดำริ¹² (เฉพาะ 3 อันดับแรกที่มีค่าสูง)

ลักษณะพื้นที่ที่พบจุดความร้อนสะสมสูง	จำนวน (จุด)		
	พ.ศ. 2561	พ.ศ. 2562	พ.ศ. 2563
1. พื้นที่ชุมชน	24	33	54
2. พื้นที่เกษตร	14	35	27
3. พื้นที่ริมถนน	17	20	37

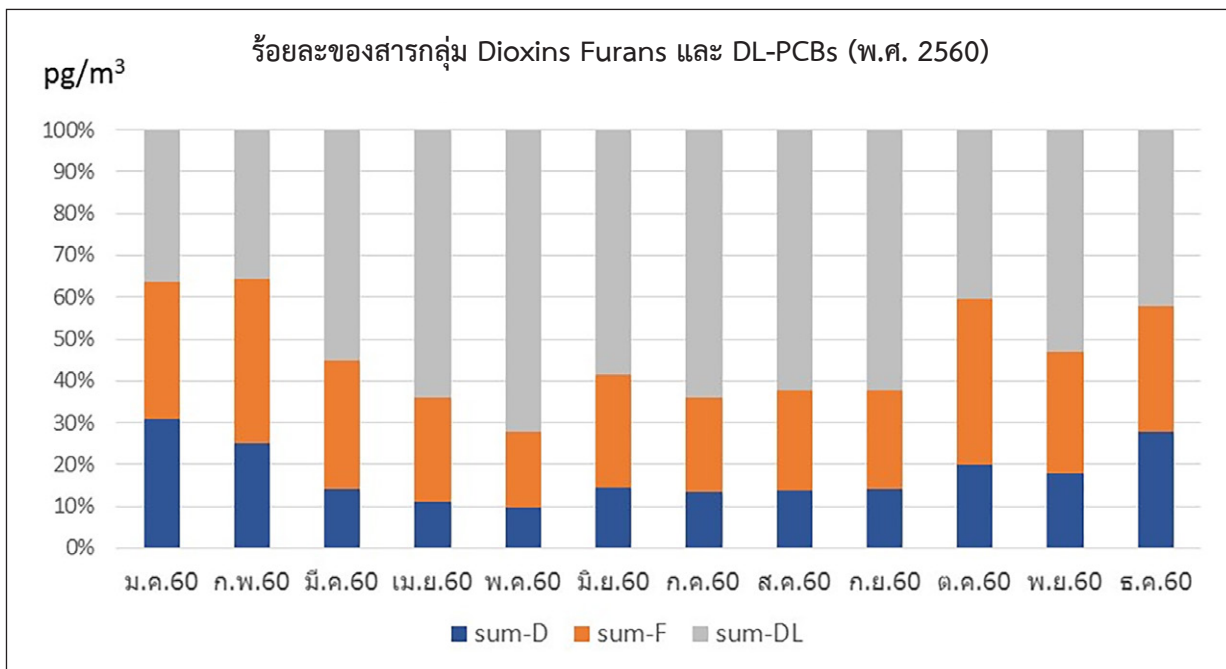
ตารางที่ 2 แสดงอำเภอในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ที่มีจุดความร้อนสะสมมากที่สุด ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 - 2563 กองส่งเสริมโครงการพระราชดำริ¹² (เฉพาะ 4 อันดับแรกที่มีค่าสูง)

อำเภอที่พบจุดความร้อนสะสมสูง	จำนวน (จุด)		
	พ.ศ. 2561	พ.ศ. 2562	พ.ศ. 2563
1. คลองหลวง	39	34	35
2. ธัญบุรี	2	13	8
3. หนองเสือ	11	13	5
4. ลำลูกกา	6	12	2

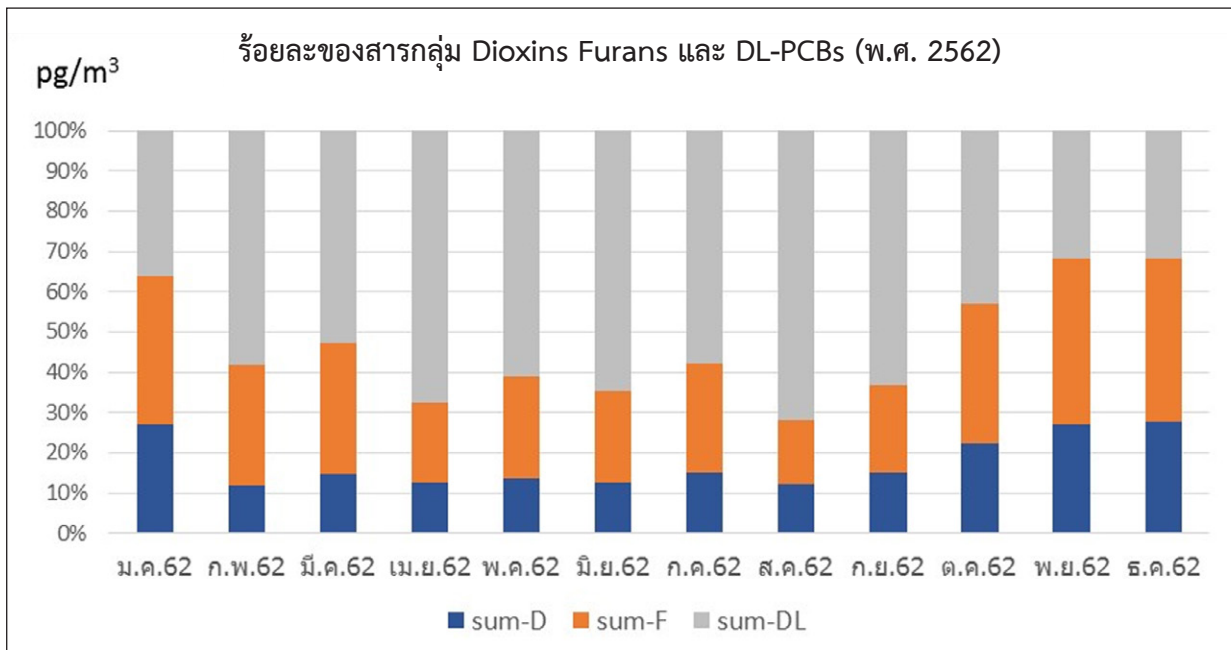
สำหรับผลการตรวจคุณภาพอากาศในอาคารและในห้องปฏิบัติการนั้น อยู่ในระดับที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับอากาศภายนอกอาคารประมาณ 10 - 12 เท่า ซึ่งความเข้มข้นที่พบนั้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสิ่งแวดล้อมซึ่งมีความปลอดภัยสำหรับการทำงานและเกณฑ์มาตรฐานสิ่งแวดล้อม¹³ (มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 0.6 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่เกิดจากห้องปฏิบัติการไดออกซินไม่ได้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณโดยรอบ และหากพิจารณาองค์ประกอบของสารที่สนใจทั้ง 3 กลุ่มนั้น ในห้องปฏิบัติการและนอกอาคารแล้วพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน และเนื่องจากปริมาณที่พบอยู่ในระดับที่น้อยมาก คือ ความเข้มข้นรวมอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ คือ ND ถึง 0.004 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

การศึกษาแนวโน้มการปนเปื้อนของสารกลุ่มไดออกซินฯ ในบรรยากาศ เพื่อศึกษาองค์ประกอบของสารทั้ง 3 กลุ่ม ในภาพรวมตลอดทั้งปีในปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2562 โดยการเก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่อง 7 วันต่อเนื่อง

ต่อ 1 ตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงธันวาคม ณ ดาดฟ้าอาคารไดออกซินในแต่ละเดือน ผลการศึกษา แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลรายเดือน ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จากผลการดำเนินการพบว่า ปริมาณ ความเข้มข้นเฉลี่ยของไดออกซิน : พีวแรน ในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม ถึง ตุลาคม) พบในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ คิดเป็นร้อยละ 12 - 15 ของผลรวมความเข้มข้นทั้งหมด แต่สำหรับสารไดออกซิน โลคัล พีซีบี ในฤดูแล้งจะพบในปริมาณที่สูงกว่ามาก คิดเป็นร้อยละ 71 - 76 ของผลรวมความเข้มข้นทั้งหมด และเมื่อ วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของฤดูกาลและความเข้มข้น Dioxins และ Furans ที่ตรวจพบ โดย t-test ที่ความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) พบว่า Dioxins : $t_{Stat} = 3.3 > t_{Cri} = 2.6$ และ Furans : $t_{Stat} = 4.4 > t_{Cri} = 2.6$ สรุปว่า ฤดูกาลเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความแตกต่างของการตรวจพบทั้งไดออกซินและพีวแรน อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างจากผลของ DL-PCBs: $t_{Stat} = 1.0 < t_{Cri} = 2.6$ สรุปได้ว่าปริมาณที่ตรวจพบไดออกซิน โลคัล พีซีบี ใน 2 ฤดูกาลนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และผลการศึกษาเพื่อพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทน ในการเก็บตัวอย่างตลอดทั้งปีนั้น จากกราฟในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงปริมาณความเข้มข้นคิดเป็นร้อยละ และ แสดงองค์ประกอบของกลุ่มไดออกซินฯ ที่ตรวจพบ ณ ดาดฟ้าอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2562 ตามลำดับ โดยองค์ประกอบของสารพิษทั้ง 3 กลุ่ม ในแต่ละเดือน กล่าวคือ ในช่วง 6 เดือนของฤดูฝน มีความแตกต่างของปริมาณที่ตรวจพบสารไดออกซิน (SD<2) พีวแรน (SD<4) และไดออกซินโลคัล พีซีบี (SD<8) และในช่วง 6 เดือนของฤดูแล้ง มีความแตกต่างของปริมาณที่ตรวจพบไดออกซิน (SD<6) พีวแรน SD<4) และ ไดออกซิน โลคัล พีซีบี (SD<10) และในการพิจารณาความแตกต่างขององค์ประกอบของสารทั้ง 3 กลุ่ม เป็นรายเดือน ตลอดทั้งปีนั้น ผลการเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้ t-test แสดงว่า การเลือกเก็บตัวอย่างเพียง 1 ครั้ง ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม ถึง ตุลาคม) และ 1 ครั้ง ในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง เมษายน) สามารถเป็นตัวแทนในฤดูกาลนั้นได้ เนื่องจากปริมาณที่ตรวจพบในแต่ละเดือน ของช่วงฤดูกาลนั้นๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (t stat อยู่ในช่วง $0.17 - 1.0 < t_{crit} = 12$) ซึ่งทีมนักวิจัยจะใช้เป็นแนวทางในการทำงานต่อไป



รูปที่ 5 แสดงปริมาณร้อยละความเข้มข้นของกลุ่มไดออกซินฯ ที่ตรวจพบ ณ ดาดฟ้า อาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน พ.ศ. 2560

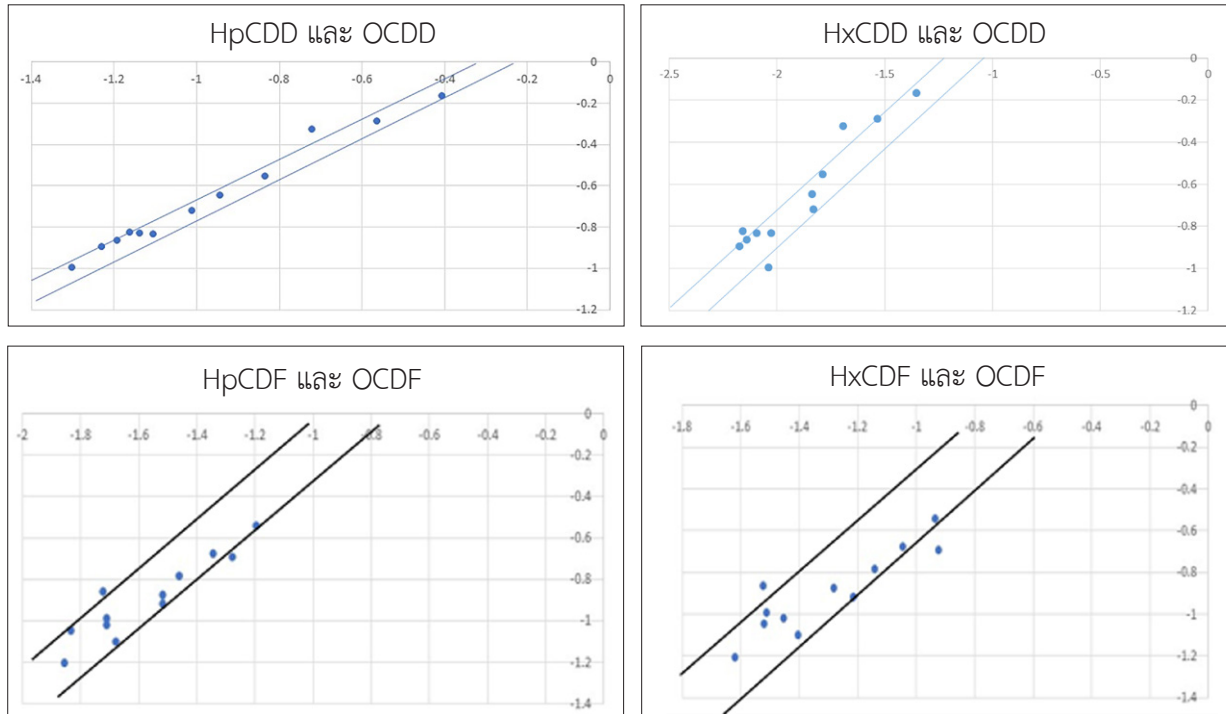


รูปที่ 6 แสดงปริมาณร้อยละความเข้มข้นของกลุ่มไดออกซินฯ ที่ตรวจพบ ณ ดาดฟ้า อาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน พ.ศ. 2562

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณที่ตรวจพบทั้ง 2 ฤดูกาลนั้น สามารถอธิบายสมบัติของสารที่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ไดออกซิน ไลค์ พีซีบี นั้นจะมีกลไกการตกค้างในสิ่งแวดล้อมที่ความแตกต่างกับกลุ่มไดออกซินและฟิวแรน เนื่องจากสารกลุ่มพีซีบี หรือในรายงานนี้เรียก DL-PCBs นั้นเป็นสารที่มนุษย์ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมในอดีต มีความเสถียรมากและไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปแบบด้วยตัวเอง แต่จะเปลี่ยนรูปแบบกลุ่มเมื่อเกิดพันธะกับสิ่งแวดล้อม¹² เช่น ในอากาศ ในน้ำ ในดิน และในสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะสามารถพบพีซีบีตกค้างในรูปแบบที่แตกต่างกัน จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศนั้น จะพบกลุ่ม DL-PCBs คือ สาร 3,3',4,4'-TeCB (#77) 3,4,4',5'-TeCB (#81) และ 2,3',4,4',5'-PeCB (#118) ในปริมาณที่สูงกว่าไอโซเมอร์และคอนจีเนอร์อื่นทั้ง 12 ชนิด เนื่องจาก DL-PCB (#77) DL-PCB (#81) เป็นกลุ่ม tetra-PCBs และ DL-PCB (#118) เป็นกลุ่ม Penta-PCBs มักจะตรวจพบการปนเปื้อนได้ในอากาศมากกว่าพีซีบีชนิดอื่น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าชนิดอื่นในกลุ่ม จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาทางพันธะเคมีกับฝุ่นละอองในการอากาศได้ง่ายและตำแหน่งของโครงสร้างทางเคมีที่มีความเสถียร¹¹ นอกจากนี้ สารกลุ่ม DL-PCBs ยังสามารถเกิดจากการสลายตัวและเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างของไดออกซินและฟิวแรน เมื่อได้รับความร้อนช่วงอุณหภูมิ 200 - 450 องศาเซลเซียส (โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น คอปเปอร์ คลอไรด์) จากผลการเก็บตัวอย่างในรอบ 2 ปีนี้พบว่า ปริมาณสาร DL-PCBs ทั้ง 3 ชนิด ในฤดูแล้งและฤดูฝน คือ (#77) และ (#81) คิดเป็นร้อยละ 26 - 28 และ (#118) ร้อยละ 9.5 - 18 ของปริมาณกลุ่ม DL-PCBs ทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝุ่นที่มีปริมาณสูงในฤดูแล้ง

สรุปความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่เป็น isomer ของไดออกซินและฟิวแรน จากข้อมูลที่ดาดฟ้าอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน โดยเก็บข้อมูลรายเดือนตลอดปี โดยแบ่งไอโซเมอร์เป็นคู่ ตามหลักการการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีออกซิเจนเป็นสิ่งเร่ง (oxidation) การสลายตัว (degradation) และการเปลี่ยนรูปแบบเมื่ออยู่ในตัวกลางต่างชนิด (metabolites) ที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติไปสู่รูปแบบที่เสถียรมากขึ้น¹⁴ (OCDD และ OCDF) นั้นพบว่าความสัมพันธ์ของแต่ละคู่ กล่าวคือ กรณีไดออกซิน ไอโซเมอร์ คู่ที่ 1 HpCDD กับ OCDD คู่ที่ 2 HxCDD กับ OCDD คู่ที่ 3 PeCDD กับ OCDD และคู่ที่ 4 TeCDD กับ OCDD โดยทั้ง 4 คู่ มีค่า slope อยู่ในช่วง 0.89 - 1.15 (correlation function ในช่วง -1.0 ถึง 1.0) และกรณีฟิวแรน ไอโซเมอร์ คู่ที่ 1 HpCDF กับ OCDF คู่ที่ 2 HxCDF

กับ OCDF คู่ที่ 3 PeCDF กับ OCDF และคู่ที่ 4 TeCDF กับ OCDF มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเช่นกัน โดยทั้ง 4 คู่ มีค่า slope อยู่ในช่วง 0.56 - 0.87 ดังรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นของกราฟ Log คู่ที่ 1 และคู่ที่ 2 ของไดออกซิน และพีวแรน ไอโซเมอร์ เมื่อเทียบกับไอโซเมอร์ที่เสถียรที่สุดของแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นของกราฟ Log ของไดออกซิน และพีวแรน ไอโซเมอร์

สรุปการศึกษานี้ ผลการตรวจสอบการปนเปื้อนสารตกค้างกลุ่มไดออกซิน พีวแรน ไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในบรรยากาศบริเวณเทคโนโลยีทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าแม้จะมีปัจจัยเรื่องฤดูกาล หรือกิจกรรมของมนุษย์ ที่เปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม หรือแหล่งกำเนิดที่อาจนำไปสู่การปนเปื้อนที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณที่ตรวจพบ ก็ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยทั้งสภาพแวดล้อมภายนอก รวมทั้งผลการตรวจคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการ ในระยะเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2563) นั้น ปริมาณที่พบอยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงาน ในอาคารและภายในห้องปฏิบัติการ โดยอ้างอิงตามค่ามาตรฐานการตกค้างของไดออกซินในบรรยากาศของประเทศญี่ปุ่น กำหนดไม่เกิน 0.6 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร (เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีค่ามาตรฐานของปริมาณสารไดออกซิน ในบรรยากาศ) รวมทั้งผลการเก็บข้อมูลปริมาณสารไดออกซินตลอดทั้งปีในช่วง พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2562 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณที่พบในอากาศช่วงตลอดทั้งปีนั้น ในช่วงฤดูแล้ง (ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมีนาคม) ของทั้ง 2 ปี จะมีแนวโน้มการปนเปื้อน ในบรรยากาศที่สูงกว่าในช่วงฤดูฝน ซึ่งข้อมูลทางอุตุนิยมีวิทยาที่มีความสอดคล้องกัน ดังที่อธิบายไว้แล้วข้างต้น

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

ตามที่ห้องปฏิบัติการไดออกซิน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 โดยมีภารกิจหลักด้านการวิเคราะห์และวิจัยสารกลุ่มไดออกซินในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม โดยตัวอย่างในแต่ละปีมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น การรับบริการทดสอบ รวมถึงงานพัฒนาวิธีทดสอบเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ดังนั้น การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศโดยการติดตามผลการปนเปื้อนของสารกลุ่มไดออกซิน พีวแรน ไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ทั้งบริเวณรอบอาคารห้องปฏิบัติการไดออกซิน และภายในห้องปฏิบัติการจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญต่อการปฏิบัติงาน



และผลการศึกษาในปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 พบความเข้มข้นของสารกลุ่มไดออกซินฯ ในปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณที่ตรวจพบในห้องปฏิบัติการฯ อยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการออกแบบห้องปฏิบัติการได้คำนึงถึงการป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอกและระบบหมุนเวียนอากาศภายในที่ดีเพื่อความปลอดภัย รวมทั้งการบำรุงรักษาระบบที่ต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นในจังหวัดปทุมธานี ที่ดำเนินการในปี พ.ศ. 2558 - 2560¹⁵ เช่น พื้นที่หนองเสือ (0.017 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) องค์การบริหารส่วนตำบลท้ายเกาะ 2 (0.042 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) และพื้นที่ลาดหลุมแก้ว (0.037 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) เป็นต้น ซึ่งเมื่อดูจากสถิติพื้นที่ที่มีจุดความร้อนสะสม ในตารางที่ 1 และ 2 พบว่าพื้นที่อำเภอคลองหลวง เป็นพื้นที่ที่มีจุดความร้อนสะสมสูงกว่า พื้นที่หนองเสือและพื้นที่ลาดหลุมแก้วในระดับที่ 3 - 4 เท่า แสดงถึงมีกิจกรรมการเผาในพื้นที่คลองหลวง ซึ่งปริมาณที่พบในพื้นที่เทคโนโลยีจึงมีโอกาสที่ตรวจพบสารกลุ่มไดออกซินในปริมาณที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากบริเวณเทคโนโลยีนี้มีกิจกรรมที่ทำให้สิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างจากเดิมค่อนข้างมาก เช่น ปริมาณรถยนต์ในเทคโนโลยีที่เพิ่มมากขึ้น มีการปรับปรุงถนน มีชุมชนและบ้านจัดสรรมากขึ้น และการเผาในที่โล่ง การเผาขยะมูลฝอยชุมชนหรือการเผาพืช การเกษตร มักเกิดขึ้นบ่อยครั้งโดยเฉพาะฤดูร้อน กิจกรรมเหล่านี้ที่ก่อให้เกิดไดออกซินหรือมีแหล่งกำเนิดจากที่อื่น และการพัดพาฝุ่นละอองเข้ามาในพื้นที่และทำให้เกิดผลกระทบ

4.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดบางประการ คือ การเกิดข้อมูลปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของปริมาณที่พบสารกลุ่มไดออกซินฯ เนื่องจากในระหว่าง พ.ศ. 2560 - 2562 นั้น กรมควบคุมมลพิษยังไม่มีการบินที่อย่างสมบูรณ์ในระหว่างนั้น และเป็นสถานที่ไกลจากพื้นที่คลอง 5 ค่อนข้างมาก (สถานีมหาวิทยาลัยกรุงเทพ และสถานีคลอง 1) ทำให้เป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบ และจากการสังเกตผลการวัด PM2.5 แบบ real time ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2563 พบว่า ปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก PM2.5 มีค่าแตกต่างจากการบันทึก 24 ชั่วโมงของกรมควบคุมมลพิษมาก ซึ่งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จะมีการติดตั้งอุปกรณ์อัตโนมัติที่สามารถวัดฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ได้ต่อเนื่อง ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในปีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณองค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติและวัดแสงสามัคคีธรรมที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างบรรยากาศ พร้อมกับเจ้าหน้าที่ทุกท่านของหน่วยงาน ที่อำนวยความสะดวกทั้งระบบไฟฟ้า การใช้พื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง และขอขอบคุณข้อมูลทางอุตุนิมวิทยาจากกลุ่มอากาศ เสียงและความสันสะเทือน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

1. van den Berg M, Birnbaum LS, Denison M, De Vito M, Farland W, Feeley M, et al. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. Toxicol Sci 2006;92:223-41.
2. World Health Organization (WHO). Dioxins and their effects on human health [Internet]. 2016 [Cited 2021 Jan 6]. Available from: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health/>

3. Zhu J, Hirai Y, Sakai S, Zheng M. Potential source and emission analysis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in China. *Chemosphere* 2008;73:72-77.
4. Sebugere P, Sillanpää M, Matovu H, Mubiru E. Human and environmental exposure to PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in Africa: a review. *Chemosphere* 2019;223:483-93.
5. Sadler R, Connell D. Global Distillation in an Era of Climate Change. In: Puzyn, T, Mostrag, A, editors. *Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention: Environmental and Analytical Update* [Internet]. London: InTechOpen; 2012 [Cited 2021 Jan 6]. Available from: <https://www.intechopen.com/books/organic-pollutants-ten-years-after-the-convention-environmental-and-analytical-update/global-distillation-in-an-era-of-climate-change>
6. International Agency for Research on Cancer (IARC). *Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls: Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans Volume 107*. Lyon: IARC Publications; 2016.
7. National Research Council. *Health risks from dioxin and related compounds. Evaluation of the EPA Reassessment*. Washington DC: The National Academies Press; 2006.
8. Sexton K, Hattis D. Assessing cumulative health risks from exposure to environmental mixtures-three fundamental questions. *Environ Health Perspect* 2007;115:825-32.
9. Environmental Management Bureau, Japan. *Manual for examining Dioxins in ambient air*. Tokyo: Environmental Management Bureau; 2008.
10. รายงานการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของโครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการไดออกซิน. ปทุมธานี : ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม; 2551.
11. Environmental Management Bureau. *Information Brochure Dioxins 2012*. [Internet]. 2012 [Cited 2021 Jan 6]. Available from: <https://www.env.go.jp/en/chemi/dioxins/brochure2012.pdf>
12. กรมส่งเสริมการเกษตร. กองส่งเสริมโครงการพระราชดำริการจัดการพื้นที่และวิศวกรรมเกษตร. สื่อส่งเสริมการหยุดการเผาในพื้นที่การเกษตร: จุดความร้อนสะสมทั่วประเทศ [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://www.royalagro.doae.go.th/?page_id=3794
13. Bhavsar SP, Reiner EJ, Hayton A, Fletcher R, MacPherson K (2008) Converting Toxic Equivalents (TEQ) of dioxins and dioxin-like compounds in fish from one Toxic Equivalency Factor (TEF) scheme to another. *Environmental International* 2008;34:915-21.
14. Henson LG. *Environmental Toxicology of Polychlorinated Biphenyls*. In: Safe S, Hutzinger O, editors. *Environmental Toxin Series 1*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1987. p. 36.
15. รุจยา บุญยทุฆมานนท์, เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์, ชวนพิศ บุญย้อย, ฐิติมา สุจินพรหม, สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์, วิวรรณ คุณาเอก, และคนอื่นๆ. รายงานผลการศึกษาการปนเปื้อนของสารไดออกซิน การตรวจสอบปริมาณและการกระจายของสารไดออกซิน ฟิวแรนและไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในอากาศบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล. ใน: อนงค์ ชานะมูล, หทัยรัตน์ การีเวทย์, รุจยา บุญยทุฆมานนท์, ปัญญา ไยถาวร, เจนวิทย์ วงษ์ศานูน, อัศมน ลิ้มสกุล, และคนอื่นๆ, บรรณาธิการ. รายงานผลงานวิจัยของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2558-2560. ปทุมธานี: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม; 2561. หน้า 129-40.



การปนเปื้อนของสารพิษกลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี
จากบ่อขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดบุรีรัมย์

Occurrence of Dioxins Furans and Dioxin like PCBs contaminated in
from municipal solid waste and E-waste dumping site, Buriram Province

รุชยา บุญยทุมานนท์* เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงษ์ ชมพูนุท พรรัตนพิมลชัย ชวนพิศ บุญย้อย
สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์ วิวรรณ คุณาเอก สุนิธรา ทองเกลี้ยง นุชจรินทร์ เหลลาแหลม เกศวดี เฮ้งเจริญสุข
Ruchaya Boonyatumanond*, Methawaj Rungsiriworapong, Chompoonut Pornrattanapimolchai,
Chuanpit Boonyoy, Suttisak Narongsak, Viwatana Kuna-ake,
Sunithra Thongklieng, Nuchjarin Laoleam, Ketwadee Hengcharoungsuk

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: ruchaya2007@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะในประเทศไทยเป็นปัญหาที่มีการขยายตัวในวงกว้างขึ้นเรื่อยๆ ทั้งขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนในพื้นที่ จึงทำให้ประชาชนบางกลุ่มไม่คำนึงถึงมลพิษร้ายแรงที่ปลดปล่อยออกจากขยะเหล่านั้น การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเกิดมลพิษชนิดที่มีความเป็นพิษสูงเกิดขึ้นในขยะเหล่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารตกค้างยาวนานที่เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ Unintentional Persistent Organic Pollutants (UPOPs) คือ กลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในพื้นที่บ่อฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดบุรีรัมย์ ได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ พ.ศ. 2561 - 2563 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารพิษตกค้างยาวนาน กลุ่ม UPOPs จากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยศึกษาตัวอย่างอากาศจากบ่อขยะมูลฝอยชุมชนใน 3 พื้นที่คือ พื้นที่เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ พื้นที่เทศบาลกระสัง พื้นที่เทศบาลสตึก และบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ 1 พื้นที่คือ พื้นที่ อบต.แดงใหญ่ รวมทั้งการศึกษาตัวอย่างดินจากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน พื้นที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ เทคนิคการเก็บตัวอย่างและวิธีการทดสอบสารกลุ่มไดออกซินฯ ในตัวอย่างอากาศและดิน ปฏิบัติตามวิธีทดสอบตามมาตรฐานกระทรวงสิ่งแวดล้อมประเทศญี่ปุ่น และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา ตามลำดับผลการตรวจสอบพบว่า บริเวณบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนมีการปนเปื้อนไดออกซินในอากาศมีความเข้มข้นสูงที่สุดคือ พื้นที่เทศบาลกระสัง = 17 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร สำหรับตัวอย่างดินจากบ่อฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ และพื้นที่บ่อขยะมูลฝอยชุมชน ผลรวมความเข้มข้นในช่วง 1.1 - 371 พิโคกรัม-TEQ/กรัม และ 0.005 - 0.047 พิโคกรัม-TEQ/กรัม ตามลำดับ การศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการประเมินปริมาณการปลดปล่อยสาร UPOPs จากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในรายงานการปลดปล่อยสาร UPOPs ตามอนุสัญญาสตอกโฮล์มในปี 2562

คำสำคัญ : ไดออกซิน อากาศ ดิน ขยะชุมชน ขยะอิเล็กทรอนิกส์ พื้นที่ฝังกลบ

Abstract

Thailand is facing numerous problems related to environmental pollution from dumping sites which had tremendously been increasing during the past decade especially open dumping for municipal solid wastes and electronics wastes. Many people benefit from electronics waste as a source of income to support their family. Consequently, these people were exposed to

toxic compounds emitted from the dumping sites, especially Unintentional Persistent Organic Pollutants (UPOPs) which includes Dioxins, Furans and DL-PCBs that are most likely found in municipal solid wastes dumping sites and E-waste dumping sites at Buriram province. This study was carried out during the year 2018 to 2020. The objective of the study was to survey and inspect the contamination of UPOPs in ambient air and soil at the municipal waste dumping sites of 2 municipalities namely: Buriram Municipality and Krasung Municipality and an E-waste dumping site located at Amphoe Dangyai. Ambient air samples and soil samples were collected near these dumping sites. The Methodology for sampling and analysis of ambient air and soil samples followed a manual for examining from the Ministry of the Environment, Japan and Environmental Protection Agency (USEPA), respectively. The results showed the highest concentrations of UPOPs was found in ambient air samples collected at Krasung Municipality which is 17 pg-TEQ/m³. The total concentrations of UPOPs in soil collected from the landfill of E-waste and municipal solid waste and agriculture area were of 1.1 - 371 pg-TEQ/g and 0.005 - 0.047 pg-TEQ/g, respectively. The results obtained from this study were utilized as supplemental data for assessment of UPOPs emissions inventory for Thailand in the year 2018 which was submitted to Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

Keywords : Dioxins, Ambient air, soil, Municipal solid waste, E-waste, Dumping site

1. บทนำ

ขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นหนึ่งในแหล่งกระจายสารมลพิษหลายประเภท หนึ่งในสารพิษเหล่านั้นคือ สารตกค้างยาวนานที่เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ (Unintentional Persistent Organic Pollutants, UPOPs) ได้แก่ สารพิษในกลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี และได้รับพิจารณาระดับความเป็นพิษอยู่ในระดับที่ 1 Class จากสถาบัน The International Agency For Research On Cancer¹ ซึ่งหมายถึงสารพิษที่มีความเป็นพิษสูงสุดและเป็นสารก่อมะเร็ง² พื้นที่ฝังกลบขยะเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญที่มีองค์ประกอบของวัสดุและปฏิกิริยาทางเคมีและความร้อน ทำให้สารพิษกลุ่ม UPOPs เกิดขึ้น โดยเฉพาะขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีวัสดุประเภทพลาสติกปนอยู่ และหากมีการเผาขยะจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดสารพิษในกลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในระดับที่รุนแรง มีสารคลอรีนและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีการรวมตัวในโครงสร้างทางเคมีรูปแบบต่างๆ ที่มีความเป็นพิษ³ สารกลุ่มต่างๆ เหล่านี้จะหลอมรวมกับฝุ่นทั้งขนาดใหญ่และปนอยู่ในฝุ่นขนาดเล็กและอยู่ในรูปของก๊าซ ซึ่งจะฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปได้ระยะไกล รวมทั้งสามารถตกสะสมลงบนดินและแหล่งน้ำ ฝุ่นขนาดเล็กสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ สารกลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ยาก สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิต เป็นสาเหตุกระตุ้นให้เกิดการกลายพันธุ์ในระดับเซลล์³⁻⁵ เกิดความผิดปกติในต่อมไร้ท่อซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนในร่างกาย เกิดความผิดปกติในระบบสืบพันธุ์⁶ และถ่ายทอดความผิดปกติทางพันธุกรรมได้ สำหรับประเทศไทยสารพิษที่เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจเหล่านี้ได้ถูกบรรจุไว้ในแผนปฏิบัติการระดับชาติของอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารที่ตกค้างยาวนาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการปลดปล่อยสารพิษจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทต่างๆ เพื่อสุขภาพที่ดีของประชาชน ดังนั้นภาครัฐจึงให้ความสำคัญกับแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษ และการบริหารจัดการที่ถูกต้องในทางปฏิบัติและเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น



ขบวนการเกิดสารไดออกซินในบ่อขยะ สามารถอธิบายกระบวนการทางเคมี ที่เรียกว่า “De Novo Synthesis”⁷ กล่าวคือ การเผาในบ่อขยะที่อุณหภูมิต่างๆ จะทำให้เกิดก๊าซที่เกิดจากการเผาเข้ามาขนาดต่างๆ ธาตุคาร์บอน และขณะที่ออกซิเจนต่ำกว่า 2% ทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation และ chlorination ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้เกิดสารพิษกลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และปฏิกิริยาต่อมาคือ เกิด Coupling ระหว่างสารที่เป็นตัวผลักดันให้เกิดไดออกซินและขยะอินทรีย์ที่ถูกเผาแบบไม่สมบูรณ์ (precursors-incomplete organic waste) ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า “De Novo Synthesis” เช่นกัน ซึ่งในกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการแตกตัวของสารอินทรีย์และจะเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป จะทำให้เกิดไดออกซิน ฟิวแรน เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากกระบวนการทางความร้อนยังมีสิ่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดไดออกซินร่วมด้วยคือ สิ่งที่เป็นอยู่ในขยะที่ประกอบด้วยคลอรีน เช่น พลาสติกประเภทต่างๆ เช่น PVC (Polyvinyl chloride) PE (Polyethylene) PS (polystyrene) Polyvinylidene chloride และ PET (polyethylene tetraphthalate) ซึ่งพลาสติกเหล่านี้เป็นการเติมคลอรีนในกระบวนการทำให้เกิดไดออกซินฟิวแรน ซึ่งพลาสติกปนอยู่อย่างมากมายในขยะชุมชน หรือแม้แต่การเผาขยะเศษใบไม้ที่หลังบ้านคุณที่ทำให้เกิดการระอุด้วยความร้อนต่ำๆ ก็เป็นการก่อให้เกิดไดออกซิน ฟิวแรนได้เช่นกัน

การศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษกลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี จากบ่อขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดบุรีรัมย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลปฐมภูมิในการศึกษาสถานการณ์การปนเปื้อนของสารตกค้างยาวนาน (Unintentional Persistent Organic Pollutants, UPOPs) ในพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากยังไม่มีการศึกษา UPOPs ในพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชนมาก่อนและเพื่อนำข้อมูลนี้ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและประเมินการปลดปล่อยสาร UPOPs ร่วมกับข้อมูลการตกสะสมในพื้นที่ฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ที่ผู้วิจัยได้เคยเก็บข้อมูล เช่น ตำบลโคกสะอาด จังหวัดกาฬสินธุ์ พื้นที่กรุงเทพมหานคร และจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในอนาคต และได้นำข้อมูลการปนเปื้อนของสาร UPOPs ไปใช้ประเมินค่าการปลดปล่อยของสาร UPOPs (Inventory of UPOPs) ภายใต้อนุสัญญาสตอกโฮล์ม ค.ศ. 2018 ที่ผ่านมามีด้วย

2. วิธีการวิจัย

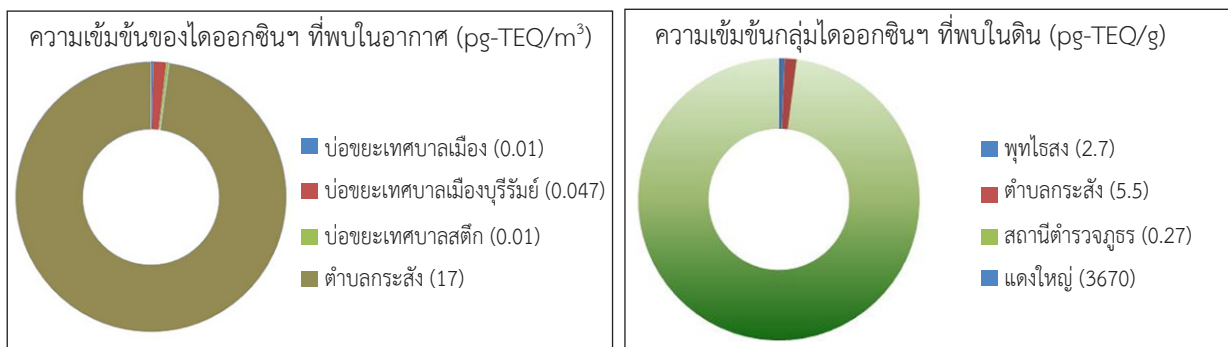
นักวิจัยสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ตามเกณฑ์ของวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลสำหรับกิจกรรมต่างๆ เช่น การเก็บอากาศจากพื้นที่บ่อขยะมูลฝอยชุมชนแบบฝังกลบที่มีการบริหารจัดการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ บ่อขยะมูลฝอยชุมชนแบบฝังกลบทั่วไปไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ พื้นที่กิจกรรมในเมือง และทำการเก็บตัวอย่างดิน ในพื้นที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ พื้นที่เกษตรกรรมทั่วไป และพื้นที่ไม่ถูกรบกวน เทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศและดิน และวิธีการทดสอบหาปริมาณสารพิษ กลุ่มไดออกซิน ฟิวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานกระทรวงสิ่งแวดล้อมประเทศญี่ปุ่น (2008) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (EPA1613B และ EPA1668C) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่ห้องปฏิบัติการไดออกซินได้รับการรับรองในระบบ ISO/IEC 17025 ในห้องปฏิบัติการ กล่าวโดยย่อคือ ใช้เทคนิค Soxhlet extraction ด้วยสาร toluene และกำจัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ไม่ต้องการด้วย multilayer column chromatography และ activated carbon column chromatography และวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometer High Resolution (Double Focusing Magnetic Sector) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JMS-800D โดยการรายงานผลแยกประเภททั้งไดออกซิน 7 ประเภท ฟิวแรน 10 ประเภท และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี 12 ประเภท ผลรวมความเข้มข้นรวม 29 ประเภท โดยนำค่าคงที่ความเป็นพิษ (Toxic Equivalency Factor, TEQ) ของแต่ละประเภทมาพิจารณาคำนวณและรายงานในหน่วยของ TEQ (Toxic Equivalent)

สำหรับการหาปริมาณการปลดปล่อยจากการเผาขยะประเภทต่างๆ ดำเนินการโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะโดยการสุ่มตัวอย่างจากขยะในจังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 47 บ่อ และเผาขยะใน chamber ที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองการเผาขยะที่เกิดขึ้น โดยใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกับการเผากองขยะทั่วไป และเก็บตัวอย่างฝุ่นและก๊าซกลับมาวิเคราะห์ ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาชนิดและปริมาณสารกลุ่มไดออกซินฯ

3. ผลการวิจัย

ผลการคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม ดังนี้ 1) พื้นที่บ่อขยะมูลฝอยชุมชนแบบฝังกลบที่มีการบริหารจัดการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและมีการดูแลระบบอย่างต่อเนื่อง คือ พื้นที่บ่อขยะเทศบาลบุรีรัมย์ บ่อขยะตำบลสตึก และเปรียบเทียบกับพื้นที่บ่อขยะมูลฝอยชุมชนแบบฝังกลบไม่มีการบริหารจัดการที่ดี นำขยะขนถ่ายจากที่ต่างๆ นำขยะมาทิ้งแบบเทกอง มีการเผาขยะตลอดเวลา และทำการฉีดน้ำเพื่อเฝ้าระวังมิให้ไฟไหม้ขยะลูกกลม คือ บ่อขยะตำบลกระสัง 2) บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ คือ บ่อขยะ อบต. แดงใหญ่ 3) พื้นที่ที่มีกิจกรรมในเมืองและชุมชน คือ เทศบาลอาคารสำนักงานเทศบาลบุรีรัมย์ 4) พื้นที่เกษตรกรรมทั่วไป เป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก มาแต่ดั้งเดิม ปลูกข้าว ข้าวโพด และอ้อย 5) พื้นที่ไม่ถูกรบกวน ไม่เคยปรับหน้าดิน มีต้นไม้บดบัง คือ บริเวณวัดป่า และเชิงเขาพนมรุ้ง

สรุปผลการเก็บตัวอย่างในพื้นที่และการตรวจพบการตกค้างกลุ่มไดออกซิน พีวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในตัวอย่างอากาศและดินในพื้นที่ที่ได้คัดเลือก รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงกราฟความเข้มข้นสารไดออกซิน พีวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบีที่พบในอากาศและดินในพื้นที่บ่อขยะมูลฝอยชุมชนและบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์

ผลการตรวจพบการตกค้างกลุ่มไดออกซิน พีวแรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในตัวอย่างอากาศและดินในพื้นที่ที่ได้คัดเลือก ปริมาณที่ตรวจพบสารกลุ่มไดออกซินฯ ที่บ่อขยะเทศบาลบุรีรัมย์และเทศบาลสตึก (เป็นบ่อที่มีการบริหารจัดการครบวงจร) มีค่าผลรวมเป็น 0.01 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพอากาศของประเทศญี่ปุ่น พบว่ายังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย (มาตรฐานกำหนดว่าควรมีค่าผลรวมความเข้มข้นต่ำกว่า 0.6 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) สำหรับเทศบาลตำบลกระสัง ตรวจพบปริมาณสารกลุ่มไดออกซินมีผลรวมความเข้มข้นเท่ากับ 17 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานมาก แสดงถึงการปลดปล่อยสารพิษในปริมาณมาก ผลจากการทดสอบสอดคล้องการสำรวจในพื้นที่ กล่าวคือ พื้นที่บ่อขยะที่ตำบลกระสังที่ไม่มีการคัดแยกขยะและมีการเผาตลอดเวลา เมื่อพิจารณาองค์ประกอบขยะของเทศบาลตำบลกระสัง คือ เศษอาหาร พลาสติก ผ้าอ้อม (แพมเพิส) และกระดาษ ตามลำดับ ปริมาณขยะที่เทศบาลตำบลกระสังนั้นมีปริมาณขยะต่อปีมาก คิดเป็นลำดับที่ 6 ของจังหวัดบุรีรัมย์ (37,878.87 ตันต่อปี)

สำหรับพื้นที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ (อบต. แดงใหญ่) อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ เป็นพื้นที่เทกองและฝังกลบบางส่วนของขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากการเก็บตัวอย่างอากาศ จำนวน 4 จุด ซึ่งเป็นพื้นที่คัดแยกขยะ

เป็นชิ้นส่วนต่างๆ ตรวจพบว่ามีการกระจายตัวของสาร UPOPs ในอากาศนั้นมีผลรวมของความเข้มข้นช่วง 0.10 - 0.20 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งความเข้มข้นที่พบอยู่ในระดับเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศทั่วไป โดยอ้างอิงจากมาตรฐานประเทศญี่ปุ่น กำหนดค่าผลรวมของความเข้มข้นไม่เกิน 0.6 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร และผลการทดสอบจากตัวอย่างดิน จำนวน 9 จุด บริเวณที่ฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีร่องรอยในพื้นที่เห็นว่าการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์อยู่ทั่วไป พบผลรวมความเข้มข้นของดินในช่วง 0.0034 - 1,933 พิโคกรัม-TEQ/กรัม โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 574 พิโคกรัม-TEQ/กรัม และเฉพาสาร TCDD มีค่าเฉลี่ย 19.5 พิโคกรัม-TEQ/กรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัย และยังไม่ต้องบำบัด อ้างอิงมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา⁸ (ตารางที่ 1)

พื้นที่เกษตรกรรมทั่วไป เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกข้าว ข้าวโพด และอ้อย (เก็บตัวอย่าง 5 จุด) และพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวน (เก็บตัวอย่าง 7 จุด) คือ บริเวณวัดป่า และพื้นที่ใกล้เขตอนุรักษณ์รอบๆ เขาพนมรุ้ง เพื่อใช้เป็นพื้นที่เปรียบเทียบกับพื้นที่ปนเปื้อนอื่นนั้น ตรวจพบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มไดออกซินฯ มีผลรวมความเข้มข้น ระหว่าง 0.00037 - 0.054 พิโคกรัม-TEQ/กรัม และ 0.052 - 0.00055 พิโคกรัม-TEQ/กรัม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับการปนเปื้อนในดินที่อาจปนเปื้อนได้ทั่วไป แต่ที่คาดได้ว่า พื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนนี้ไม่ควรพบสารไดออกซินในปริมาณสูง โดยเปรียบเทียบกับดินที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี จังหวัดปทุมธานี (4 จุด) ตรวจพบผลรวมความเข้มข้นระหว่าง 0.038 - 1.9 พิโคกรัม-TEQ/กรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับดินในพื้นที่บ่อขยะชุมชนที่เกาะล้าน จังหวัดตราด เป็นพื้นที่ท่องเที่ยว มีการจัดการขยะเป็นแบบเทกองแต่ไม่มีการเผาขยะในพื้นที่ พบผลรวมความเข้มข้น 0.15 - 0.17 พิโคกรัม-TEQ/กรัม ดังนั้นในการศึกษานี้ปริมาณที่พบจากพื้นที่เกษตรกรรมทั่วไปและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวน จะนำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อเป็นตัวแทนของดินจากกิจกรรมอื่น (Blank) ของจังหวัดบุรีรัมย์

ตารางที่ 1 แสดงระดับการปนเปื้อนของสารไดออกซินและการดำเนินการรูปแบบต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา⁸

Soil concentration per land use scenario (ppt) (พิโคกรัม/กรัม)		Dioxin clean up level (as TCDD or Dioxin TEQ)
Unrestricted/Residential Commercial/Industrial	Unrestricted/Residential Commercial/Industrial	
10⁻⁶ Incremental Lifetime Cancer Risk		
4.5	18	Cleanup level for TCDD
9	300	Risk-based soil standard for TCDD
10	31	Generic soil cleanup level for dioxin TEQ
5×10⁻⁶ Incremental Lifetime Cancer Risk		
19 (IA)	(see notes below)	Cleanup level for TCDD
10⁻⁵ Incremental Lifetime Cancer Risk		
60	100	Risk-based standard for TCDD
120	530	Medium-specific concentration for TCDD
see entry under 10 ⁻⁶	1,500	Cleanup level for TCDD

การศึกษาองค์ประกอบของขยะชุมชนในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล จังหวัดบุรีรัมย์ ในช่วง พ.ศ. 2562 ผลการเผาวัสดุที่ปนในขยะมูลฝอยชุมชนที่สามารถปลดปล่อยสารพิษกลุ่มไดออกซินฯ ดังนี้ โฟมใส่อาหาร (total = 216 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร), กิ่งไม้ใบไม้ (total = 282 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร)

กระดาษ (total = 424 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) แพนเป็ส (total = 590 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) พลาสติก (total = 519 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) เศษอาหาร (total = 1437 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) สายไฟ VCT (total = 6250 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) ผลจากการแยกองค์ประกอบของขยะจะให้เห็นว่า ขยะมูลฝอยชุมชนส่วนมากมีองค์ประกอบหลักคือ เศษอาหาร+ถุงพลาสติกใส่อาหาร มีปริมาณร้อยละ 23.0 เป็นขยะจากครัวเรือน ซึ่งการคัดแยกทำได้ยาก สรุปในตารางที่ 3 สำหรับองค์ประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย สายไฟประเภทต่างๆ เช่น VAF VCT THW VKF/VFF สายไฟเส้นเล็กที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร สัดส่วนของสายไฟแต่ละประเภท ดังนี้ สายไฟปลั๊กร้อยละ 41 สายไฟขนาดเล็กแรงดันต่ำร้อยละ 31 สายไฟเส้นเดี่ยวแรงดันสูงร้อยละ 12 พลาสติกและสายไฟผสมโพลี ร้อยละ 8 และโพลีเอสเตอร์ เครื่องไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ เช่น ตู้เย็น (นำเข้าพื้นที่ 250 ตัน/สัปดาห์) เครื่องพิมพ์ดีด เครื่องซักผ้า พัดลม เครื่องปริ้นเตอร์ (นำเข้าพื้นที่ 250 ตัน/สัปดาห์) รถจักรยานยนต์ (นำเข้าพื้นที่ 10 ตัน/สัปดาห์) ประเภทจอคอมพิวเตอร์ จอโทรทัศน์ (นำเข้าพื้นที่ 5 ตัน/สัปดาห์) ผลการตกค้างในดินบริเวณบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์จะแสดงโดยเลือกเฉพาะที่มีความเป็นพิษสูงมาแสดงเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นรวมของสารกลุ่มไดออกซินฯ เพื่อให้เข้าใจถึงการปนเปื้อนของสารพิษที่มีความเป็นพิษสูงสุดของแต่ละกลุ่มจากการตรวจพบในพื้นที่ได้ชัดเจนขึ้น กล่าวคือ กลุ่มไดออกซินจะแสดงค่า TCDD เลือกเฉพาะค่าความเป็นพิษ = 1 เท่านั้น กลุ่มฟิวแรนจะแสดงค่า sum-TCDF เลือกเฉพาะค่าความเป็นพิษ = 0.1 เท่านั้น และกลุ่มไดออกซิน ไลค์ พีซีบี จะแสดงค่า 3,3',4,4',5-PeCB (#126) เลือกเฉพาะค่าความเป็นพิษ = 0.1 เท่านั้น โดยปริมาณสารพิษเฉพาะที่ร้ายแรงที่สุดของทั้ง 3 กลุ่มรวมกัน การปลดปล่อยสารพิษออกมาจากการเผาขยะแต่ละประเภท คิดเป็นร้อยละมากกว่า 50 ของปริมาณผลรวมทั้งหมด ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบหลักของขยะโดยเฉลี่ยของจังหวัดบุรีรัมย์ และการปลดปล่อยสารกลุ่ม Dioxins Furans และ DL-PCBs จากการเผาวัสดุประเภทต่างๆ

รายการเผาวัสดุจาก ขยะมูลฝอยชุมชน	องค์ประกอบขยะ คิดเป็นร้อยละ	ผลรวม	Dioxins	Furans	DL-PCBs
		ความเข้มข้น ที่พบ	sum-TCDD (TEF=1)	sum-TCDF (TEF=0.1)	PeCB (#126) (TEF=0.1)
หน่วย (พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร)					
โพลีใส่อาหาร	2.1	216	20.7	29.7	76
กิ่งไม้ ใบไม้	7.1	282	78	39.8	58
กระดาษ	8.2	424	122	67.9	75
ผ้าอ้อม (แพนเป็ส)	8.4	590	101	132	110
พลาสติก/ถุง	17.0	519	88	115	94
เศษอาหาร+ถุงใส่อาหาร	23.0	1,437	615	341	64
สายไฟ (VCT)	น้อยกว่า 1	6,250	831	2,417	585
องค์ประกอบอื่น เช่น เศษผ้า ยาง แก้ว โลหะต่างๆ หิน กระเบื้อง	34.2	-	-	-	-

หมายเหตุ :

- sum-TCDD เฉพาะค่าความเป็นพิษสูงสุด = 1 เท่านั้น sum-TCDF เฉพาะค่าความเป็นพิษสูงสุด = 0.1 เท่านั้น และ 3,3',4,4', 5-PeCB (#126) เฉพาะค่าความเป็นพิษสูงสุด = 0.1 เท่านั้น



จากข้อมูลการเกิดสารพิษที่ได้จากการเผาขยะประเภทต่างๆ มีความแตกต่างกันนั้น อธิบายได้จากค่าความร้อนของการสันดาป (heat content or combustion value) เช่น กรณีของขยะประเภทเศษอาหาร+ถุงใส่อาหาร การให้ความร้อนในระดับเดียวกันแต่การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นนั้น ความร้อนหรือความสามารถของการสันดาปจะเกิดขึ้นได้ต่ำกว่าวัสดุอื่น อันเนื่องจากขยะมีความชื้นสูงและความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นจึงทำให้สภาวะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปริมาณสารพิษก็จะยิ่งเกิดมากขึ้น แต่ในทางกลับกันวัสดุของขยะประเภทพลาสติกและถุง ซึ่งมีความชื้นต่ำกว่าและเป็นวัสดุที่มีค่าความร้อนสูง (heat combustion value) จึงทำให้สภาวะการเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากกว่าขยะประเภทเศษอาหาร+ถุงใส่อาหาร สำหรับองค์ประกอบอื่น เช่น เศษฝ้ายาง ส่วนโลหะต่างๆ แก้ว หิน กระจก ไม้ได้นำมาตรวจวิเคราะห์อันเนื่องจากมีความแตกต่างในอัตราส่วนโดยน้ำหนักค่อนข้างสูง วัสดุบางประเภทไม่ใช่องค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดสารไดออกซินเมื่อเผาขยะที่อุณหภูมิต่ำ

สรุปผลงานวิจัยที่ดำเนินการในพื้นที่บ่อขยะมูลฝอยชุมชนที่มีการจัดการที่ดีจะสามารถช่วยลดปริมาณสารพิษกลุ่มไดออกซินฯ ที่ปลดปล่อยออกมาจากขยะได้มาก ปริมาณที่พบไม่เกินมาตรฐานของบรรยากาศทั่วไปโดยใช้มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (0.6 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) แต่ปริมาณเท่ากับมาตรฐานประเทศแคนาดา (0.01 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อขยะมูลฝอยชุมชนที่ไม่มีการบริหารจัดการที่ดีซึ่งพบปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐานกำหนดมาก (พื้นที่บ่อขยะเทศบาลตำบลกระสัง = 17 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร) อยู่ในระดับที่อันตรายมาก สำหรับพื้นที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ ผลรวมของความเข้มข้นช่วง 0.10 - 0.20 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในระดับความเข้มข้นเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศทั่วไปเมื่อเทียบกับมาตรฐานประเทศแคนาดา กรณีดินที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 574 พิโคกรัม-TEQ/กรัม และเฉพาสาร TCDD มีค่าเฉลี่ย 19.5 พิโคกรัม-TEQ/กรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและยังไม่ต้องบำบัดเมื่อนำมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาไปเปรียบเทียบ กรณีดินในพื้นที่เปรียบเทียบ คือ ดินในพื้นที่เกษตรทั่วไปและดินในพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนนั้น พบว่าการตกค้างของสารกลุ่มไดออกซินฯ ที่พบมีปริมาณน้อยกว่าพื้นที่ปนเปื้อนถึง 1 ล้านเท่า (เมื่อนำผลรวมความเข้มข้นสูงสุดที่พบมาเปรียบเทียบกัน) และการหาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนใน 43 พื้นที่ ของจังหวัดบุรีรัมย์ พบว่า องค์ประกอบที่พบสูงสุดเรียงลำดับดังนี้ เศษอาหาร+ถุงใส่อาหาร พลาสติก/ถุง แพนเป็ส กระดาษ กิ่งไม้ และโม่ใส่อาหาร ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นวัสดุที่ทำให้เกิดสารไดออกซินฯ โดยเฉพาะเมื่อขยะถูกเผาจะทำให้การปลดปล่อยสารพิษประเภทที่มีความเป็นพิษสูงที่สุดนั้นปลดปล่อยออกมามากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณผลรวมทั้งหมด

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการศึกษาจากข้อมูลในเบื้องต้น ทำให้ทราบว่าจังหวัดบุรีรัมย์ มีบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนที่มีการบริหารจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ดังรูปที่ 2 และมีพื้นที่เปรียบเทียบกรณีการฝังกลบที่ยังมีปัญหายังไม่ได้บริหารจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และพื้นที่เปรียบเทียบอื่นๆ ผลการตรวจสอบปริมาณสารพิษทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษได้อย่างชัดเจน เป็นที่ประจักษ์ถึงแหล่งกำเนิดมลพิษจากขยะ หากมีการจัดการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการก็สามารถช่วยลดมลพิษลงได้ การตรวจสอบสารกลุ่มไดออกซินฯ เป็นข้อมูลที่ไม่เคยมีการตรวจวัดมาก่อน เป็นข้อมูลทางวิชาการที่สามารถนำมาประเมินการปลดปล่อยมลพิษกลุ่ม UPOPs ได้ทั้งกรณีบ่อขยะฝังกลบที่มีการจัดการที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง และสามารถอนุมานได้ว่า บ่อฝังกลบขยะที่อื่นๆ ที่มีองค์ประกอบที่อาจจะต่างกัน ก็จะมีแนวทางการประเมินได้หากทราบองค์ประกอบของขยะเหล่านั้น นอกจากนี้ผลการศึกษารังนี้ได้เผยแพร่ในที่ประชุมของหน่วยงานในพื้นที่

และสร้างความตระหนักให้กับหน่วยงานท้องถิ่น ช่วยส่งเสริมความรู้ เทคนิคการจัดการที่ดี ซึ่งมีองค์การบริหารส่วนตำบลแดงใหญ่ (ขยะอิเล็กทรอนิกส์) ทำให้เกิดกิจกรรมไม่เผาและมีการจัดระบบการเผาระวังเพิ่มเติมในพื้นที่ด้วย นอกจากนี้ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์เป็นพื้นที่ที่มีการรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 3 และมีการนำเข้าขยะจากพื้นที่อื่นด้วย ซึ่งกำลังเป็นปัญหาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำบลโคกสะอาด จังหวัดกาฬสินธุ์

ผลการตรวจพบการตกค้างกลุ่มไดออกซิน พีวเรน และไดออกซิน ไลค์ พีซีบี ในตัวอย่างอากาศและดินในพื้นที่ที่ได้คัดเลือกปริมาณที่ตรวจพบสารกลุ่มไดออกซินฯ ที่บ่อขยะเทศบาลบุรีรัมย์และเทศบาลสตึก (เป็นบ่อที่มีการบริหารจัดการครบวงจร) สำหรับเทศบาลกระสัง ตรวจพบปริมาณสารกลุ่มไดออกซินมีผลรวมความเข้มข้นสูงถึง 17 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานมาก แสดงถึงการปลดปล่อยสารพิษในปริมาณมาก และจากการสำรวจกิจกรรมของพื้นที่นี้ มีการเผาด้วยความร้อนต่ำมีควันลอยออกมาตลอดเวลา จากการสังเกตจะต้องมีรถนำมารดที่ขยะเพื่อลดความร้อนและควันเพื่อควบคุมมิให้ขยายวงกว้างออกไป ซึ่งทางเทศบาลรับทราบปัญหาอยู่แล้ว แต่เนื่องจากติดขัดที่การขออนุญาตใช้พื้นที่ จึงยังไม่สามารถดำเนินการได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 แสดงพื้นที่เก็บตัวอย่าง
บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ อบต. แดงใหญ่



รูปที่ 3 บ่อฝังกลบขยะ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์



รูปที่ 4 บ่อฝังกลบขยะตำบลกระสัง

สำหรับพื้นที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ (อบต. แดงใหญ่) อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ พบว่าผลรวมความเข้มข้นในตัวอย่างอากาศช่วง 0.10 - 0.20 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร และดินบ้านใกล้บ่อขยะ (ระยะห่างจากบ่อขยะ 30 เมตร) ปริมาณผลรวมความเข้มข้นกลุ่มไดออกซินฯ ช่วง 0.046 - 0.250 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 0.131 พิโคกรัม-TEQ/คิวบิกเมตร) และตัวอย่างดิน (เก็บผิวหน้าดินลึก 5 เซนติเมตร) พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ปริมาณที่ตกค้างในดินจากบ่อขยะ พบผลรวมความเข้มข้นในช่วง 0.0034 - 1933 พิโคกรัม-TEQ/กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 574 พิโคกรัม-TEQ/กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในพื้นที่บ่อขยะที่ อำเภอฮ่องซัย จังหวัดกาฬสินธุ์⁹ เมื่อ พ.ศ. 2557 - 2558 ปริมาณที่พบในอากาศอยู่ในช่วง 0.054 - 0.42 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ย 0.061 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร และเก็บฝุ่นจากบริเวณบ้านที่ตัดแยกขยะในพื้นที่บ้านหนองวัว (จังหวัดกาฬสินธุ์) พบความเข้มข้นช่วง 0.008 - 14.3 พิโคกรัม-TEQ/กรัม) ซึ่งปริมาณที่พบในอากาศและดินหรือฝุ่นจากบ้านที่ตัดแยกขยะของจังหวัดกาฬสินธุ์สูงกว่าพื้นที่ศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์แล้วอาจสรุปได้ว่า พื้นที่อำเภอฮ่องซัย จังหวัดกาฬสินธุ์ มีการปนเปื้อนในพื้นที่มากกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะอำเภอฮ่องซัย มีการดำเนินกิจกรรมมานานอย่างต่อเนื่องการบริหารจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในอดีตยังไม่มีการวางแผนที่ดีพอ และมีผู้ประกอบการในพื้นที่จำนวนมาก อำเภอฮ่องซัย จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นพื้นที่แรกที่พบปัญหาจากการตัดแยกขยะและมีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์กับท้องถิ่นผู้ดูแลในพื้นที่บ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ควรเร่งหามาตรการหรือการบริหารจัดการขยะของจังหวัดบุรีรัมย์ให้ดีกว่าเดิม เพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกับพื้นที่ อำเภอฮ่องซัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ในอดีตที่ผ่านมา

การเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับข้อมูลการศึกษาและมาตรการในต่างประเทศ เช่น มาตรการในประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนด¹⁰ ปริมาณผลรวมความเข้มข้นของสาร TCDD ในดิน ถ้าพบความเข้มข้นเกิน 1,500 พิโคกรัม-TEQ/กรัม จะต้องบำบัดพื้นที่นั้น จากผลการศึกษาที่พบปริมาณเฉพาะสาร TCDD ตรวจพบช่วงความเข้มข้น 0.40 - 74 พิโคกรัม-TEQ/กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19 พิโคกรัม-TEQ/กรัม สำหรับการตกค้างในดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดบุรีรัมย์ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการศึกษาปริมาณไดออกซินในอากาศบริเวณบ่อขยะที่มีการเผาในประเทศแคนาดา¹⁰ ผลการสำรวจและตรวจวัด Dioxins Furans และ DL-PCBs จากบ่อขยะ 4 บ่อ จำนวน 33 ตัวอย่าง พบความเข้มข้นเฉลี่ยทั้ง 4 บ่อ อยู่ในช่วง 0.002 - 4.95 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 0.382 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ตามมาตรฐานคุณภาพไดออกซินในอากาศของประเทศแคนาดา¹¹ กำหนดไม่เกิน 0.1 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสถานการณ์บ่อขยะที่สำรวจทั้ง 4 บ่อก็เกินค่ามาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในพื้นที่ที่มีกิจกรรม recycle ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนาในเอเชีย¹² พบว่าในเมือง Guiyu ซึ่งเป็นตลาด recycle ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศจีน ปริมาณความเข้มข้นของอากาศที่ตรวจพบสูงถึง 50 พิโคกรัม-TEQ/ลูกบาศก์เมตร พบปริมาณไดออกซินที่ตกค้างในดินช่วงความเข้มข้น 10 - 10,000 พิโคกรัม-TEQ/กรัม และความเข้มข้นของไดออกซินโลก พีซีบี 10 - 100 พิโคกรัม-TEQ/กรัม

การศึกษาขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในตารางที่ 3 ผลการแยกองค์ประกอบของขยะและจากการเผาวัสดุแต่ละชนิดพบว่า สาร UPOPs ที่ปลดปล่อยนั้นตรวจพบสาร TCDD TCDF และ DL-PCBs ที่มีค่าความเป็นพิษในปริมาณที่สูงที่สุด ซึ่งการรายงานผลการทดสอบโดยปกติจะมีสารกลุ่ม UPOPs อยู่ 3 กลุ่มใหญ่ ประกอบด้วย ไดออกซิน 7 ชนิด พีวแรน 10 ชนิด และไดออกซิน โลก พีซีบี 12 ชนิด รวม 29 ชนิด และแต่ละชนิดจะมีค่าความเป็นพิษ (Toxic Equivalence Factor, TEF) ที่ต่างกัน ตั้งแต่ 1 - 0.00003 (TEF = 1 หมายถึง เป็นสารพิษที่มีค่าความเป็นพิษสูงที่สุด) และผลการตรวจสอบนั้น พบสารทั้ง 3 กลุ่มใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตรวจพบชนิดที่มีความเป็นพิษสูงและตรวจพบในปริมาณความเข้มข้นที่สูงด้วย โดยสารทั้ง 3 กลุ่มที่มีเป็นชนิดที่มีความเป็นพิษสูงในแต่ละกลุ่มมารวมกัน จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่า วัสดุแต่ละประเภทที่ปนอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนนั้น

เป็นวัสดุหลักที่ก่อให้เกิดสารพิษกลุ่มไดออกซินฯ ได้ในปริมาณสูง และเป็นชนิดที่มีความเป็นพิษสูง โดยเฉพาะสายไฟฟ้าประเภทต่างๆ ซึ่งหุ้มด้วยพลาสติกและฉนวนไฟฟ้า ซึ่งเป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดสารพิษด้วยเช่นกัน สำหรับเศษอาหารรวมถุงใส่อาหารนั้นเป็นขยะที่พบบ่อยและเป็นปัญหาที่ยังหาทางแก้ไขได้ยาก มลพิษที่เกิดจากการเผาวัสดุเหล่านี้ทำให้ประชาชนที่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงบ่อขยะได้รับสารพิษเป็นระยะเวลาอันยาวนานอย่างต่อเนื่อง ถือว่าเป็นความเสี่ยงจากการได้รับสารพิษโดยตรงจากการหายใจ การรณรงค์ให้แยกขยะอินทรีย์ที่ต้นทางจะเป็นทางออกที่ดี เพราะในขยะมูลฝอยชุมชนจากการศึกษานี้พบว่า มีขยะอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 70 หากมีการแยกขยะอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ก็จะสามารถลดปริมาณขยะลงได้มาก อย่างไรก็ตาม ถุงพลาสติกที่เปื้อนอาหารที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ยังต้องการนวัตกรรมที่จะใช้วัสดุย่อยสลายได้ง่าย การรณรงค์ให้ใช้ภาชนะใส่อาหารแทนถุงพลาสติก เป็นสิ่งที่ประชาชนสามารถทำได้ทันทีคือ การเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อช่วยแก้ไขปัญหารองถุงพลาสติกในกองขยะให้ลดลง ความร่วมมือของชุมชนจึงเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยลดมลพิษจากถุงพลาสติก

การศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษกลุ่ม UPOPs ในพื้นที่ฝั่งกลบขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ทราบสถานการณ์การตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อมในอากาศ ดิน ในพื้นที่ดังกล่าว ข้อมูลที่กล่าวไว้ในรายงานนี้สามารถใช้ประเมินการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดและสภาพแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งผลการศึกษานี้ได้นำเสนอเข้าในคณะกรรมการอนุสัญญาสตอกโฮล์ม เรื่องปริมาณการปลดปล่อยสารไดออกซินที่ตกค้างในบ่อฝังกลบขยะและพื้นที่เกษตรทั้งที่มีการเผาและไม่มีการเผา ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ได้สนับสนุนในการจัดทำทำเนียบแหล่งกำเนิดมลพิษ และสถานการณ์การปนเปื้อนสาร UPOPs ในจากบ่อขยะมูลฝอยชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ และพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการเผาและไม่มีการเผาของประเทศไทยครั้งที่ 2 ในรอบ 10 ปี เมื่อ ค.ศ. 2018 เรียบร้อยแล้ว (ครั้งที่ 1 เมื่อ ค.ศ. 2009)

4.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ทำให้เห็นปัญหาการคัดแยกขยะในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งปริมาณขยะอินทรีย์ที่พบในบ่อขยะมูลฝอยชุมชนถึงร้อยละ 70 แสดงให้เห็นว่า การรณรงค์ของชุมชนเรื่องการคัดแยกขยะยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ท้องถิ่นจึงควรมาตรการใหม่ เพื่อให้การคัดแยกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อช่วยลดปริมาณขยะโดยรวม และจะทำให้การจัดการขยะใช้พื้นที่น้อยลง ลดงบประมาณด้านการบริหารจัดการขยะ สำหรับข้อมูลการศึกษาสาร UPOPs ในพื้นที่บ่อขยะชุมชนและบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งพบปริมาณการฟุ้งกระจายของสาร UPOPs ในบรรยากาศและปนเปื้อนในดินค่อนข้างสูง และพบในบ้านที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์พบสาร UPOPs ในประเภทที่มีความเป็นพิษสูงเช่นกัน ซึ่งถือว่าผู้อาศัยหรือผู้ดำเนินกิจกรรมนั้นอยู่ในพื้นที่เสี่ยงตลอดเวลาหรือมีเสี่ยงในชั่วโมงการทำงาน โดยเฉพาะการได้รับสารพิษจากการหายใจ ท้องถิ่นควรมีการบริหารจัดการให้เข้มข้นขึ้น เช่น การจัดพื้นที่การคัดแยก แยกประเภท การป้องกันตนเองในขณะทำกิจกรรมคัดแยกขยะ การเฝ้าระวังไม่ให้มีการลักลอบเผาขยะ การลดหรือจำกัดประเภทของการนำเข้าของขยะจากนอกพื้นที่ ส่วนภาครัฐต้องเร่งออกมาตรการเพื่อช่วยลดปัญหาจากการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้นทางสำหรับขยะที่เกิดขึ้นในประเทศและมาตรการห้ามนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์จากต่างประเทศ เป็นต้น การศึกษานี้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสาร UPOPs จากการหายใจ ซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพของประชาชนโดยตรง โดยเฉพาะขยะอิเล็กทรอนิกส์ และใช้เป็นแนวทางในการประเมินการปลดปล่อยสาร UPOPs ในพื้นที่บ่อขยะพื้นที่อื่นต่อไป เพื่อใช้ในการบริหารจัดการขยะและเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการจัดทำทำเนียบแหล่งกำเนิดมลพิษในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Overall evaluation of carcinogenetic: an updating of IAPC monographs volume 1-42 Supplement 7. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1987.
2. Heidelore Fiedler Sources of PCDD/PCDF and impact on the environment. Chemosphere. 1996;32(1): 55-64.
3. Jozef M, Pacyna, Ian T, Cousuns, Crispin Halsal, Arja Ro=autio, Janet Pawlak, Elisabeth G, Pacyna, Kyrre Sundseth, Simon Wilson, John Munthe. Impacts on human health in the Arctic owing to climate-induced changes in contaminant cycling The EU ArcRisk project policy outcome. Environmental Science & Policy volume50, June 2015, 200-213
4. Kauvar AN, Arpey CJ, Hruza G, et al. Consensus for nonmelanoma skin cancer treatment, part II: squamous cell carcinoma, including a cost analysis of treatment methods. Dermatol Surg. 2015;41(11):1214-40.
5. DeSimone J, Beatson M. Innumerable Squamous cell carcinomas in Vietnam Was Vietnam Exposed to Chemical Defoliants. J Clin Aesthet Dermatol 2019 Aug ;12(8):47-50.
6. Wilhelm M, Wittsiepe J, Lemm F, Ranft U, Krämer U, Fürst P, et al. The Duisburg birth cohort study: influence of the prenatal exposure to PCDD/Fs and dioxin-like PCBs on thyroid hormone status in new borns and neurodevelopment of infants until the age of 24 months. Mutation Research 2008;659 (1-2):83-92.
7. Buekens A, Zhang M. 2016. De novo synthesis of dioxins: a review. International Journal Environment Pollution 2016;60(1/2/3/4):63
8. Environmental Protection Agency. Review of State Soil Cleanup Levels For Dioxin. Washington, DC: National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency; 2009.
9. ชวนพิศ บุญย้อย, เมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์, ฌพวุฒิ ประวัตติ, วิฑิตมา สุจินพรัหม, สุทธิศักดิ์ ณรงค์ศักดิ์, รุจยา บุญยทุฆมานนท์. สถานการณ์ขยะอิเล็กทรอนิกส์และมลพิษก่อมะเร็ง...ได้ออกซิน. ว. Green Research 2558;12(30):14-18.
10. Weichenthal S, Rijswijk DV, Kulka R, You H, Ryswyk KV, Willey J, et al. The impact of a landfill fire on ambient air quality in the north: A case study in Iqaluit, Canada. Environment Research 2015;142:46-50.
11. Ministry of the Environment. Ontario Ambient Air Quality Criteria. Ontario: Standard Development Branch Ontario Ministry of the Environment; 2012.
12. Tue NM, Takahashi S, Subramanian A, Sakai S, Tanabe S. Environmental contamination and human exposure to dioxin-related compounds in e-waste recycling sites of developing countries. Environ. Sci.: Processes Impacts 2013;15 (7) :1326-31.

การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
สำหรับกิจกรรมของภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรม

Development of membrane bioreactor for water reuses purposes in municipal
and agricultural sectors

สุดา อธิติสุภรณ์รัตน์^{1*} ชยานิน น้าเยื้อง¹ พินทุสร อึ้งสุวรรณ¹ ปัญญา ไยถาวร¹ สุธิดา ทีปรัชพันธ์²
อาทิตย์ เพ็ชรรัักษ์³ ณัฐฐา แสงนรินทร์ เหมจินดา⁴

Suda Ittisupornrat^{1*}, Chayanin Namyuang¹, Pintusorn Ouengsuwan¹, Panja Yaithavorn¹,
Suthida Theeparaksapan², Athit Phetrak³, Nutta Seangnarin Hemjinda⁴

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม¹

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ²

คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล³

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์⁴

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion¹

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University²

Faculty of Tropical Medicine, Mahidol University³

Faculty of Science and Technology, Thammasart University⁴

E-mail: suwimolteam@yahoo.com*

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากการซักล้าง ซึ่งมีปริมาณมากถึงร้อยละ 80 ของน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากบ้านเรือน สามารถทำการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ในกิจกรรมของภาคชุมชนและภาคเกษตรกรรมได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนาถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยติดตั้งที่หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผลการศึกษาพบว่าสามารถรองรับน้ำเสียได้เฉลี่ย 9.0 ± 3.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง มีอัตราการระบรทุกของสารอินทรีย์เฉลี่ยที่ 1.13 - 1.54 กิโลกรัมซีโอดีต่อวัน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ซีโอดี ตะกอนแขวนลอย แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด และอีโคไล มากกว่าร้อยละ 95 ในขณะที่สารซักล้างประเภทประจุลบ ได้แก่ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) และ Sodium Lauryl Sulfate (SLS) มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 98 และ 89 ตามลำดับ ส่วนสารซักล้างประเภทประจุบวก ได้แก่ Benzalkonium Chloride (BKC) มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 100 สำหรับการทดสอบการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ในกิจกรรมภาคการเกษตรและภาคชุมชน ผลการทดสอบพบว่าผักสลัดซึ่งเป็นตัวแทนของพืชกินใบ และเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนของพืชกินผล ให้ผลการเจริญไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการให้น้ำด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดเทียบกับน้ำประปา และสามารถนำไปใช้แทนน้ำประปาในชักโครกได้ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อเดือน พบว่า อัตราการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ประมาณ 12.5 บาทต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ ถ้าอัตราน้ำประปาอยู่ที่ 21.3 บาทต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร หากมีการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้น้ำประปาได้เดือนละ 6,390 บาท

คำสำคัญ : ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน น้ำเสียจากการซักล้าง การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สารซักล้าง



Abstract

Greywater constitutes up to 80% of the volume of wastewater produced from households. However, after proper treatment it can be reuse in the municipal and agricultural sectors. Under this study, Membrane Bioreactor (MBR) was used for treating greywater at Srinakharinwirot dormitory. The treatment capacity and the average organic loading rate were $9.0 \pm 3.3 \text{ m}^3/\text{d}$ and $1.13 - 1.54 \text{ kg-COD/d}$, respectively with hydraulic retention time (HRT) of 12 hours. The treatment efficiency for BOD, COD, SS, $\text{NH}_4\text{-N}$, Total coliform and E. coli were higher than 95%. In case of surfactants removal, the results found out that the treatment efficiency of anionic surfactants such as Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) and Sodium Lauryl Sulfate (SLS) were 97 and 89%, respectively. Furthermore, MBR can completely treat cationic surfactants such as Benzalkonium Chloride (BKC). For the case of biocides removal, the treatment efficiencies of Triclocarban (TCC) and Triclosan (TCS) were 75 and 78%, respectively. The treated greywater for municipal and agricultural reuse were also evaluated. Butter head which is a leafy vegetable and melon which is a fruit crop were tested by comparing their growth rate using tap water (control) and treated greywater (test) to water them. The experimental results revealed that there were insignificant growth rates of Butter head and melon at 95 % confidence level. In addition, treated greywater can be reuse for toilet flushing. Under this study, the MBR monthly operation costs for wastewater treatment was about 12.5 baht/ m^3 . Considering the cost for household tap water was 21.3 baht/ m^3 . If reclaimed water will be used to replace tap water in this area, the tap water monthly consumption payment can be reduced to about 6,390 baht.

Keyword : Membrane bioreactor, greywater, water reuses, surfactants

1. บทนำ

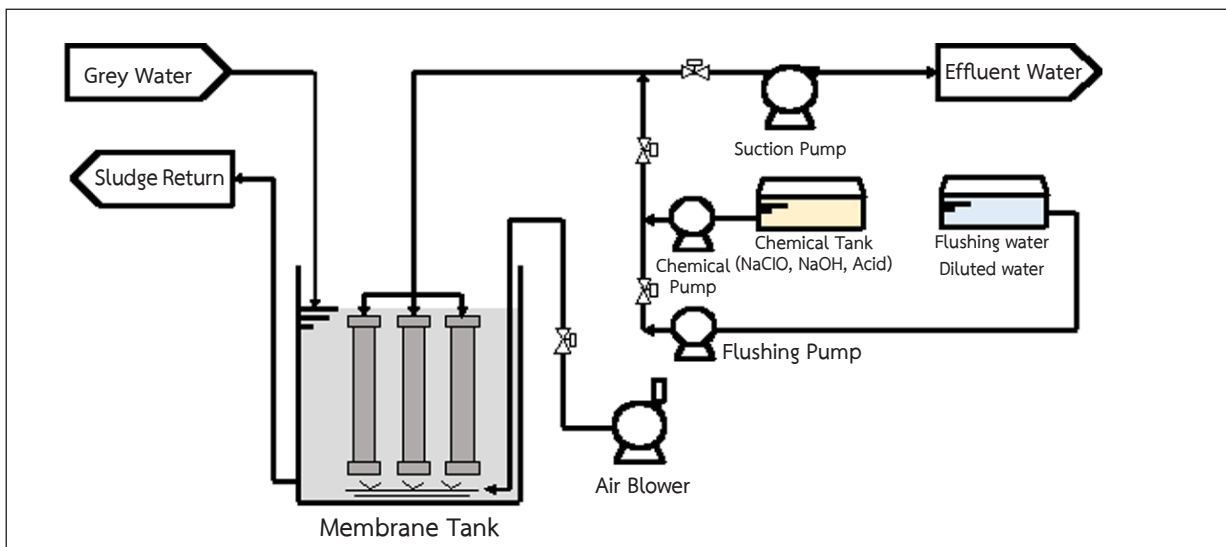
จากการที่ในปัจจุบัน วิกฤตปัญหาด้านน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค ถือว่าเป็นปัญหาที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ในหลายๆ พื้นที่ มีการขาดแคลนน้ำอย่างมาก มีปัญหาการแย่งน้ำทั้งเพื่อการผลิตน้ำประปา การเกษตรกรรม และการทำอุตสาหกรรม ซึ่งน้ำที่มีการใช้ประโยชน์ไปแล้ว จัดเป็นน้ำเสียที่มักจะถูกระบายลงแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธี ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ระบบนิเวศเสื่อมโทรม ทั้งนี้ ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภค บริโภค นอกจากการที่แต่ละคนช่วยกันประหยัดน้ำ ใช้น้ำอย่างรู้คุณค่า น้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นก็จัดเป็นต้นทุนน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อมีการผ่านกระบวนการบำบัดอย่างเหมาะสม

น้ำเสียจากการซักล้าง (grey water)¹ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำเสียที่มีมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด เนื่องจากไม่รวมน้ำเสียที่มาจากส้วม จึงทำให้ความสกปรกในน้ำเสียมีความเข้มข้นน้อยกว่าน้ำเสียชุมชน (BOD = 123 ± 84 มิลลิกรัมต่อลิตร COD = 184 ± 116 มิลลิกรัมต่อลิตร S = 85 ± 56 มิลลิกรัมต่อลิตร TP = 2.7 ± 2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร TN = 25 ± 8.2 มิลลิกรัมต่อลิตร)² ซึ่งได้รับการยอมรับจากภาคชุมชนมากกว่าในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ โดยการทดแทนน้ำที่ใช้จากชักโครก การปรับปรุงภูมิทัศน์ และการเกษตรกรรม อย่างไรก็ตาม น้ำเสียจากการซักล้างจะมีองค์ประกอบของสารซักล้างและยาฆ่าเชื้อ (detergents/biocides) จากผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน สบู่ เป็นต้น ซึ่งหากไม่ได้รับการบำบัดที่เหมาะสม อาจมีผลกระทบต่อพืชและดิน³ ในการนำไปใช้ประโยชน์ทางภาคเกษตรกรรม ดังนั้น กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ดำเนินโครงการวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างนี้ด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน (membrane bioreactor : MBR) ซึ่งระบบ MBR ได้มีการศึกษาวิจัยมาแล้วพบว่าสามารถทำการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน⁴⁻⁸ อุตสาหกรรม⁹⁻¹² และน้ำชะขยะ¹³⁻¹⁵ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียและการนำน้ำที่ผ่านการบำบัด

ไปใช้ได้จริงอย่างเป็นรูปธรรม ทำให้สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำอย่างเหมาะสมในภาคเกษตรและภาคชุมชนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การทดสอบสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ระบบ MBR ที่ทำการติดตั้ง ณ หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) มีขนาด 4.5 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยเมมเบรนแบบเส้นใย Polytetrafluoroethylene : PTFE (Hollow fiber, Sumitomo, Japan) มีขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน จำนวน 6 ชุด มีพื้นที่ผิวของการกรองทั้งหมด 36 ตารางเมตร สามารถรองรับการบำบัดน้ำเสียได้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีบิ๊มเติมอากาศ ต่อเข้ากับหัวกระจายอากาศ (air diffusers) ติดตั้งอยู่ใต้แผ่นเมมเบรน เพื่อทำหน้าที่ในการให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย และขัดสีผิวหน้าของเมมเบรนไม่ให้เกิดการอุดตัน และมีระบบลูกลอยต่อกับบิ๊มสูบน้ำเสีย เพื่อควบคุมระดับน้ำในระบบทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง น้ำเสียจากการซักล้างจะถูกรวบรวมมาไว้ที่บ่อพักน้ำ (equalization tank) ก่อนที่จะสูบมาเข้าระบบ MBR สามารถแสดงลักษณะการทำงานของระบบ MBR ได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยควบคุมระยะเวลา กักพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic retention time : HRT) คงที่ที่ 12 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิห้อง ที่ 28 - 31 องศาเซลเซียส (ซึ่งเป็นสถานะที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ HRT 24 ชั่วโมงที่ได้ทำการศึกษาไว้)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการทำงานของระบบ MBR

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก 1 - 2 สัปดาห์ โดยการวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids : SS) สารที่ละลายได้ในน้ำ (Total Dissolved Solids : TDS) และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliforms) และอีโคไล (E. coli) ด้วย membrane filter ตามวิธีมาตรฐาน¹⁶ ส่วนค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ทำการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบของ HACH (HACH, USA) ค่าออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำ (Dissolved oxygen : DO) (YSI Pro 20, USA) และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) และอุณหภูมิในระบบ MBR ด้วยหัวรวมวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (YSI 63, USA) นอกจากนี้ วิเคราะห์ค่าตะกอนของสลัดจ์ (Mixed Liquor Suspended Solids : MLSS) ด้วยวิธีมาตรฐานของญี่ปุ่น¹⁷

การวิเคราะห์ปริมาณของสารซักล้าง (Surfactants) จำนวน 3 ชนิด และสารกลุ่มสารยับยั้งจุลชีพ (Biocides) จำนวน 2 ชนิด ใช้วิธีสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction) ชนิด C18 ที่ขนาด 100 มิลลิกรัม ปริมาตร 6 มิลลิลิตร กระบวนการสกัดเริ่มจากการปรับสภาพตัวดูดซับดังกล่าวด้วยตัวทำละลายมีขั้ว คือ เมทานอล และไดคลอโรมีเทน ในสัดส่วน (1 : 9) จากนั้นปล่อยให้ น้ำตัวอย่างไหลผ่านตัวดูดซับที่อัตราไหล 1 - 5 มิลลิลิตร ต่อนาที ในปริมาตรตัวอย่างที่เหมาะสม ทั้งตัวดูดซับไว้ประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง จึงชะตัวดูดซับด้วยสารละลาย เมทานอลและไดคลอโรมีเทน ในสัดส่วน (1 : 9) ครั้งละ 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง เพื่อสกัดเอาสารอินทรีย์ซักล้าง ออกมานำของเหลวที่ได้ไประเหยจนมีปริมาตร 2 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปฉีดเข้าสู่เครื่อง โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ซึ่งแยกสารด้วย column C18 โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วย SPD - 20A UV - VIS 220 นาโนเมตร เป็นตัวตรวจรับสัญญาณ (detector) สำหรับการวิเคราะห์สารยับยั้งจุลชีพ ตัวอย่างที่ถูกสกัดจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) ซึ่งแยกด้วย ZB-5 capillary column จากนั้นบันทึกผลเป็นโครมาโทแกรมและประเมินผลโดยเทียบค่า Retention time และ Mass Spectrum ขององค์ประกอบทางเคมีของสารแต่ละพีค (peak) ที่ได้กับค่า retention time และ Mass Spectrum ของค่ามาตรฐานที่มีการบันทึกไว้ใน library ในโปรแกรมของเครื่องมือวิเคราะห์

2.3 การทดสอบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

2.3.1 การทดสอบการปลูกพืชกินใบและผล

การทดสอบการปลูกพืชกินใบ โดยทำการทดสอบกับผักบัตเตอร์เฮด (butter head) ที่ทำการเลี้ยง แบบไฮโดรโปนิคส์ ระหว่างน้ำที่ผ่านการบำบัดและน้ำประปาที่เป็นชุดควบคุม ที่มีการใส่ปุ๋ยน้ำในลักษณะแบบเดียวกัน จัดบันทึกการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความกว้างและความยาวของใบ และความสูงของลำต้น จนกระทั่ง เก็บเกี่ยวผลผลิต และนำผลการเจริญเติบโตของผักสลัดที่เก็บข้อมูลมาทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยโปรแกรม ANOVA

การทดสอบการปลูกพืชกินผล ทำการทดสอบโดยเลือกเมล่อนเป็นตัวแทนของพืชกินผลที่มีมูลค่า และมีอายุการเก็บเกี่ยวระยะสั้น ในเวลา 90 วัน พันธุ์ที่นำมาทดสอบเป็นเมล่อนพันธุ์ princess ผลเป็นตาข่ายเนื้อเขียว เปรียบเทียบระหว่างการให้น้ำที่ผ่านการบำบัดและน้ำประปาที่เป็นชุดควบคุม ทำการสังเกตการเจริญเติบโตของเมล่อน ช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตจะทำการชั่งน้ำหนัก และวัดความหวานของเมล่อน ทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์ค่าไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกแบบไร้ดิน (hydroponics) จะทำการสกัดสารไนเตรทออกมา จากพืชด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และนำมาชั่งน้ำหนักแห้งที่ 1 กรัม บดให้ละเอียด จากนั้นนำมาละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองก่อนนำไปวิเคราะห์ไนเตรทด้วย Ion Chromatography (Dionex) ต่อไป

2.3.2 การทดสอบการนำไปใช้ในชักโครก

ติดตั้งระบบน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในชักโครกบริเวณห้องน้ำชั้น 1 ซึ่งมีห้องน้ำจำนวน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องน้ำหญิง 1 ห้อง และห้องน้ำชาย 1 ห้อง จัดปริมาตรการใช้น้ำในแต่ละเดือน

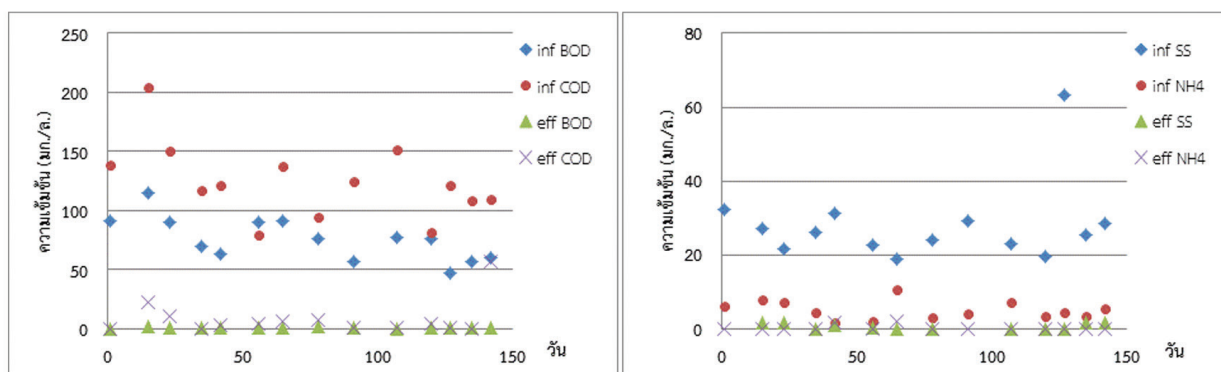
2.3.3 การเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

นำผลการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมแต่ละประเภทมาเปรียบเทียบกับ เกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่ศูนย์วิจัยได้ทำการศึกษาไว้¹⁸

3. ผลการวิจัย

3.1 ประสิทธิภาพการเดินระบบ MBR

น้ำเสียที่เข้าระบบเฉลี่ยอยู่ที่ 9.0 ± 3.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง มีอัตราการบำบัดอินทรีย์เฉลี่ยที่ 1.13 - 1.54 กิโลกรัมซีโอดีต่อวัน สามารถแสดงความเข้มข้นของบีโอดี ซีโอดี ตะกอนแขวนลอย และแอมโมเนียจากน้ำเสียและน้ำที่ผ่านการบำบัดได้ตั้งรูปที่ 2 โดยประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและแอมโมเนียได้ร้อยละ 96 และ 95 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 99 98 และ 63 ตามลำดับ และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย และอีโคไล ได้มากกว่าร้อยละ 99 โดยประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR แสดงได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของบีโอดี ซีโอดี ตะกอนแขวนลอย และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากน้ำเสีย และน้ำที่ผ่านการบำบัด

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 12 ชั่วโมง (n=13)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำเสีย	น้ำที่ผ่านการบำบัด	ร้อยละการบำบัด
pH		7.0 ± 0.3	7.1 ± 0.4	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	1.1 ± 0.5	6.4 ± 1.2	-
อุณหภูมิ	°C	30.1 ± 1.4	30.4 ± 1.5	-
บีโอดี	มก./ล.	74.4 ± 18.7	0.7 ± 0.5	99
ซีโอดี	มก./ล.	123.1 ± 33.2	5.0 ± 6.5	96
ตะกอนแขวนลอย	มก./ล.	27.7 ± 11.3	0.6 ± 0.8	98
แอมโมเนีย	มก./ล.	5.0 ± 2.6	0.3 ± 0.7	95
ไนเตรท	มก./ล.	0.2 ± 0.1	5.9 ± 1.3	-
สารละลายได้ทั้งหมด	มก./ล.	289 ± 90	335 ± 130	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	1.8 ± 0.6	0.7 ± 0.4	63
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	โคโลนี/100 มล.	1.2×10^7	346 ± 314	>99
อีโคไล	โคโลนี/100 มล.	4.1×10^4	ตรวจไม่พบ	100

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้าง พบการปนเปื้อนของ Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) และ Sodium Lauryl Sulfate (SLS) ซึ่งเป็นสาร surfactant ประเภทประจุลบ และ Benzalkonium Chloride (BKC) ซึ่งเป็นสาร surfactant ประเภทประจุบวก จากน้ำเสียก่อนเข้าระบบ อยู่ที่ 0.61 7.71 และ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นของสารซักล้าง LAS และ SLS อยู่ที่ 0.01 และ 0.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ BKC ตรวจไม่พบในน้ำที่ผ่านการบำบัด ซึ่งระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสาร LAS SLS และ BKC ได้ร้อยละ 98 89 และ 100 ตามลำดับ ส่วนสารฆ่าเชื้อโรค

(biocides) พบสารไตรโคลซาน และสารไตรโคลคาร์บาน โดยมีความเข้มข้นในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ เท่ากับ 0.09 และ 0.04 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถทำการบำบัดสารไตรโคลซานและไตรโคลคาร์บานได้ถึง ร้อยละ 82 และ 78 ตามลำดับ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความเข้มข้นของสารไตรโคลซาน และสารไตรโคลคาร์บาน เท่ากับ 0.02 และ 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดของสารอินทรีย์ประเภทสารซักล้างที่เข้าระบบและที่ผ่านการบำบัด (n=3)

สารซักล้าง	หน่วย	น้ำเสีย	น้ำที่ผ่านการบำบัด	ร้อยละการบำบัด
Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.61	0.01	98
Sodium Lauryl Sulfate (SLS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	7.71	0.86	89
Benzalkonium Chloride (BKC)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.07	ตรวจไม่พบ	100
สารไตรโคลซาน (TCS)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.09	0.02	82
สารไตรโคลคาร์บาน (TCC)	ไมโครกรัมต่อลิตร	0.04	0.01	78

3.2 ผลการทดสอบการปลูกพืชกินใบและกินผล

3.2.1 ผลการทดสอบการปลูกผักสลัดซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินใบ

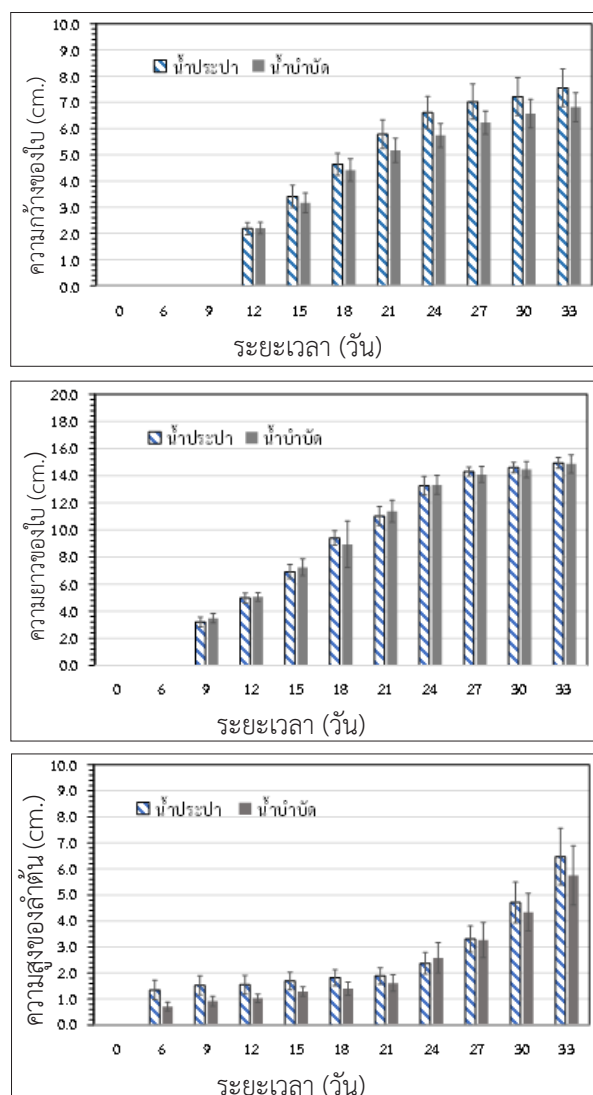
เมื่อพิจารณาผลคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดสำหรับการทดสอบการปลูกพืชกินใบจากเกณฑ์การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมที่ผ่านการพิจารณาจากนักวิชาการผู้ทรงคุณวุฒิ ดังตารางที่ 3 พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ MBR ไม่มีสีหรือกลิ่นที่น่ารังเกียจ ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงกลาง ค่าการนำไฟฟ้า น้อยกว่า 2,000 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเพียง 900 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และไม่พบตะกอนแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการบำบัด ค่าสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์แนะนำที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าไนเตรทมีค่าน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์แนะนำที่กำหนดไว้ โคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 378 โคโลนีต่อ 100 มิลลิลิตร ในขณะที่เกณฑ์แนะนำไม่ได้กำหนดค่าดัชนีชี้วัดนี้ โดยพิจารณาเพียงแค่ว่าฟิล์มโคลิฟอร์ม โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการปลูกพืชกินใบหรือหัว ซึ่งพบว่าตรวจไม่พบฟิล์มโคลิฟอร์มปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านการบำบัด

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับพืชกินใบหรือหัว

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ : รับประทานใบหรือหัว	ค่าที่วัดได้จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดต่าง	-	6 - 9	6.8
ค่าการนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	900
ความขุ่น	NTU	<5	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ตรวจไม่พบ
บีโอดี	มก./ล.	<10	0.7
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<10	6.1
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7 - 1.0	-
ฟิล์มโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100 มล.	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
ไซพอยริ	ไซ/ล.	≤1	-

ส่วนผลการทดสอบผักสลัดบัตเตอร์เฮด ซึ่งทำการเลี้ยงเป็นเวลา 37 วัน ในสภาวะอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยที่ 32.1°C และความชื้นเฉลี่ยที่ 60% โดยการจดบันทึกลักษณะการเจริญเติบโต 3 แบบ ได้แก่ ความกว้างและความยาวของใบ และความสูงของลำต้น พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นระหว่างน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมและน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 2.4 ± 0.5 และ 2.1 ± 0.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ลักษณะความกว้างของใบระหว่างน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมและน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 5.6 ± 0.5 และ 5.0 ± 0.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนลักษณะความยาวของใบระหว่างน้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมและน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 10.3 ± 0.5 และ 10.3 ± 0.7 เซนติเมตร ตามลำดับ สามารถแสดงผลการเจริญเติบโตได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ระหว่างน้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัด ด้วย ANOVA พบว่า ค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวของใบ และความสูงของลำต้นของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า น้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดซึ่งเป็นตัวแทนของผักกินใบ

นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์การสะสมของธาตุอาหารไนโตรเจน มีค่าต่ำกว่าระดับความปลอดภัยต่อการบริโภคของสหภาพยุโรปอยู่ที่ ไม่เกิน 3,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยผักสลัดที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 581 และ 1,356 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 3 ผลการเจริญของผักสลัด ความสูงของลำต้น ความยาวของใบ และความกว้างของใบ

3.2.2 ผลการทดสอบการปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล

เมื่อพิจารณาผลคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในการทดสอบการปลูกพืชกินผล ตารางที่ 4 พบว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่กำหนด โดยเกณฑ์แนะนำที่กำหนดไว้สำหรับค่าสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าไนเตรทมีค่าไม่เกิน 35 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีคัลโคลิฟอร์มสามารถมีได้โดยมีค่าไม่เกิน 1,000 โคโลนีต่อ 100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับรับประทานผลหรือเมล็ด

ดัชนี	หน่วย	ค่าแนะนำ : รับประทานผลหรือเมล็ด	ค่าที่วัดได้จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดต่าง	-	6 - 9	6.8
ค่าความนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนส์/ซม.	<2,000	900
ความขุ่น	NTU	<5	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ไม่กำหนด	ตรวจไม่พบ
บีโอดี	มก./ล.	<20	0.7
ไนเตรทไนโตรเจน	มก./ล.	<35	6.1
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7 - 1.0	-
พีคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100 มล.	<1,000	ตรวจไม่พบ
ไซ้พยาธิ	ไข่/ล.	<1	-

ผลการปลูกเมล่อนซึ่งเป็นตัวแทนพืชกินผล พบว่ามีใบเมล่อนหยิกที่ยอด ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นระยะเริ่มต้นของการติดไวรัสทำให้เกิดโรคใบด่างทั้งที่เลี้ยงด้วยน้ำประปาและน้ำที่ผ่านการบำบัด จึงทำการถอนต้นที่เป็นออกและฉีดพ่นไตรโคเดอร์มาป้องกันต้นเมล่อนอื่น จนกระทั่ง ผลเมล่อนใกล้จะเก็บเกี่ยว จึงไม่มีการใช้ยาฆ่าเชื้อแต่อย่างใด เพียงแค่ฉีดน้ำจากใบยาสูบเป็นระยะๆ เพื่อชะลอและป้องกันการเกิดโรคเท่านั้น

หลังจากครบอายุที่เมล่อนติดผลเป็นระยะเวลา 2.5 เดือน โดยก่อนเก็บเกี่ยวได้ทำการลดการให้น้ำก่อนเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า ผลเมล่อนจากการเลี้ยงในโรงเรือนเหลือ 35 ลูก จากการปลูกทั้งหมด 54 ต้น โดยเป็นผลเมล่อนจากการให้น้ำที่ผ่านการบำบัด จำนวน 18 ลูก และจากการให้น้ำประปาซึ่งเป็นชุดควบคุมจำนวน 17 ลูก น้ำหนักเฉลี่ยของผลเมล่อนที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเท่ากับ 2.4 ± 0.5 กก. และ 1.9 ± 0.3 กก. ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วย T-test พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p value = 0.081) ส่วนความหวานของผลเมล่อน พบว่า ผลเมล่อนที่เลี้ยงด้วยน้ำประปา และน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 10 บริกซ์ ซึ่งความหวานที่เหมาะสมควรเป็น 14 บริกซ์ อาจเป็นเพราะการใส่ปุ๋ยเพิ่มความหวานให้กับเมล่อนไม่เพียงพอเท่าที่ควร

3.3 ผลการนำไปใช้สำหรับชักโครก

ปริมาณการใช้น้ำในชักโครกเฉลี่ย 90.2 ลิตร/วัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัสที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้ทำการศึกษาไว้ดังตารางที่ 5 พบว่า คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR อยู่ในเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่กำหนด

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR และเกณฑ์แนะนำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ในกิจกรรมที่มนุษย์มีโอกาสสัมผัส

ดัชนี	หน่วย	คำแนะนำ : มนุษย์มีโอกาสสัมผัส	ค่าที่วัดได้จากน้ำที่ผ่านการบำบัด
สี	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรดต่าง	-	6 - 9	6.8
ความขุ่น	NTU	<5	-
บีโอดี	มก./ล.	<10	0.7
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	0.7 - 1.0	-
โคลิฟอร์มทั้งหมด	โคโลนี/100 มล.	ไม่กำหนด	34
ฟิคัลโคลิฟอร์ม	โคโลนี/100 มล.	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ

3.4 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

การลงทุนระบบ MBR ที่อัตราการรองรับน้ำเสียที่ 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 750,000 บาท ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่อเดือนในการเดินระบบ ได้แก่ ค่าไฟฟ้า 1,000 บาท ค่าน้ำยาล้างเมมเบรน 500 บาท และการบำรุงรักษาระบบ 2,250 บาท (ร้อยละ 3 ของระบบ) โดยไม่รวมค่าจ้างแรงงานในการดูแลระบบ สามารถคิดเป็นอัตราการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ประมาณ 12.5 บาทต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้น้ำประปาได้เดือนละ 6,390 บาท (ที่อัตราน้ำประปา 21.3 บาทต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร อ้างอิงจากเว็บไซต์ของการประปาส่วนภูมิภาค www.pwa.co.th) หากมีการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ซีโอดี แอมโมเนีย ตะกอนแขวนลอย และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค ได้แก่ โคลิฟอร์มทั้งหมด และอีโคไล ได้มากกว่าร้อยละ 95 และสามารถทำการบำบัดสารซักล้าง LAS SLS และ BKC ได้ร้อยละ 98 89 และ 100 รวมทั้งสามารถทำการบำบัดสารฆ่าเชื้อโรค ได้แก่ ไตรโคลซานและไตรโคลคาร์บานได้ถึงร้อยละ 82 และ 78 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นระบบการเติมอากาศ การบำบัดไนโตรเจนจึงเป็นการเปลี่ยนฟอรั่มจากแอมโมเนียเป็นไนเตรทด้วยกระบวนการ nitrification¹⁹ การบำบัดฟอสฟอรัสอาจเนื่องมาจากการสะสมในเซลล์ของจุลินทรีย์²⁰ ในขณะที่การบำบัดตะกอนแขวนลอย และดัชนีชี้วัดทางด้านเชื้อโรค มาจากการที่น้ำที่ผ่านการบำบัดถูกกรองผ่านเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน²¹ ส่วนผลการบำบัดสารซักล้างมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al.,(2005)²² และ Merz et al., (2007)²³ ที่ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างได้ โดยค่าซีโอดี และบีโอดี มีค่าน้อยกว่า 15 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสามารถบำบัดสารซักล้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำไปใช้ในการปลูกพืช ได้แก่ พืชกินใบ (ผักสลัด) และผลไม้ (เมล่อน) ในกิจกรรมภาคการเกษตร และสามารถนำไปใช้ในชักโครก ในกิจกรรมภาคชุมชนได้ ซึ่งงานวิจัยของ Li et al., (2009)²⁴ ได้สนับสนุนให้น้ำเสียจากการซักล้างที่ผ่านการบำบัดมีศักยภาพในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MBR มีความน่าสนใจในการนำไปใช้ในเขตเมืองชุมชน



4.2 ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำเสียจากการซักล้าง ซึ่งมีการปนเปื้อนของสารซักล้างและสารฆ่าเชื้อโรคปนเปื้อนด้วย แม้ว่าจะระบบ MBR จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารเหล่านี้ก็ตาม แต่หากมีการนำไปใช้ในการปลูกพืช อาจต้องมีการวิเคราะห์การสะสมในพืช รวมทั้งผลกระทบต่อดินที่ปลูกพืชด้วย และควรมีการศึกษาการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้กิจกรรมประเภทอื่นด้วย อาทิ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้ น้ำเสียจากการซักล้างมีระดับความสกปรกของสารปนเปื้อนที่ไม่เข้มข้นเท่ากับน้ำเสียชุมชน ซึ่งหากมีการประยุกต์ใช้ระบบ MBR ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมเหล่านี้ ควรที่จะทำการศึกษากลุ่มธาตุอาหารพืชที่อาจมีผลกระทบต่อพืชหรือไม่ผลบางชนิดที่ใช้ปลูกได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ณ หอพักบุคลากรกัลยาณมิตร อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ขอขอบคุณวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ร่วมบรรยายในการจัดสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย ได้แก่ ดร. สุธิดา ที่ปรีกษ์พันธุ์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ ดร.ณัฐฐา แสงนรินทร์ เหมจินดา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

1. Benami M, Gillor O. Potential health and environmental risks associated with onsite greywater reuse: a review. Built Environment. 2016; 42(2):212-29.
2. Benami M, Gillor O, Gross A. The question of pathogen quantification in disinfected graywater. Sci Total Environ. 2015; 506:496-504.
3. Garland J, Levine L, Yorino N, Hummerick M. Response of graywater recycling systems based on hydroponic plant growth to three classes of surfactants. Water Res. 2004; 38:1952-62.
4. Chae SR, Kang ST, Watanabe Y, Shin HS. Development of an innovative vertical submerged membrane bioreactor (VSMBR) for simultaneous removal of organic matter and nutrients. Water Res. 2006; 40:2161-67.
5. Cote P, Buisson H, Pound C, Arakaki G. Immersed membrane activated sludge for the reuse of municipal wastewater. Desalination. 1997; 113:189-96.
6. Kraume M, Drews A. Membrane Bioreactors in Waste Water Treatment—Status and Trends. Chemical Engineering Technology. 2010; 33(8):1251-59.
7. Kimura K, Nishisako R, Miyoshi T, Shimada R, Watanabe Y. Baffled membrane bioreactor (BMBR) for efficient nutrient removal from municipal wastewater. Water Res. 2008; 42:625-32.
8. Melin T, Jefferson B, Bixio, Thoeye C, Wilde WD, Koning JD, Graff J, Wintgens T. Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse. Desalination. 2006; 187:271-82.
9. Artiga P, Ficara E, Malpei F, Garrido JM, Mendez R. Treatment of two industrial wastewaters in a submerged membrane bioreactor. Desalination. 2005; 179(1-3):161-69.
10. Arros-Alileche S, Marin U, Daufin G, Gesan-Guiziu G. The membrane role in an anaerobic membrane bioreactor for purification of dairy wastewaters: a numerical simulation. Bioresour. Technol. 2008; 99(17):8237-44.

11. Bae TH, Han SS, Tak TM. Membrane sequencing batch reactor system for the treatment of dairy industry wastewater. *Process Biochem.* 2003; 39(2):221-31.
12. Castillo S, Zapica A, Doubrovina N, Lafforgue C, Fonade C. Study of a compact bioreactor for the in-line treatment of dairy wastewaters: case of effluents produced on breeding farms. *Desalination.* 2007; 214:49-61.
13. Boonyaroj V, Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Yamamoto K. Removal of emerging micropollutants from landfill leachate in membrane bioreactor. In: Lekkas TD, editors. *Proceeding of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 8-10 September 2011.* p. A222-A229.
14. Visvanathan C, Choudhary MK, Montalbo MT, Jegatheesan V. Landfill leachate treatment using thermophilic membrane bioreactor. *Desalination.* 2007; 204:8–16.
15. Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Nindee P, Chang C, Yamamoto K. Treatment performance and microbial characteristics in two-stage membrane bioreactor applied to partially stabilized leachate. *Water Sci Technol.* 2011; 64:1064-72.
16. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* Washington, DC. : APHA; 1995.
17. Japan Sewage Works Association. *Japanese Standard Methods of the Examination of Wastewater.* Tokyo : JSWA, 1997.
18. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556.
19. Ittisupornrat S, Tobino T, Yamamoto K. Effect of sludge retention time on inclined plate function, treatment performance and sludge characteristics of inclined plate membrane bioreactors treating municipal wastewater. *Water Environ J.* 2015; 29:346-52.
20. Smith S, Kim G, Doan L, Roh H. Improving biological phosphorus removal in membrane bioreactors—a pilot study. *J. Water. Reuse. Desal.* 2014; 4(1):25-33.
21. Hai FI, Yamamoto K. Membrane biological reactors. In: Wilderer P, editors. *Treatise on Water Science.* Oxford : Elsevier; 2011. p. 571-613.
22. Liu H, Huang H, Chen L, Wen x, Qian Y. Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. *Process Biochem,* 2005; 40(1):125-30.
23. Merz C, Scheumann R, ElHamouri B, Kraume M. Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination,* 2007;215:37–43.
24. Li F, Wichmann K, Otterpohl R. Review of the technological approaches for greywater treatment and reuses. *Sci Total Environ.* 2009; 407:3439-49.



การบำบัดน้ำเสียครัวเรือนจากการชักล้าง
ด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิวเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
Household greywater treatment by subsurface flow constructed wetland
for water reuse

วาไลกา เศวตโยธิน* สุธา อิทธิสุภรณ์รัตน์ ชัชชัย โทปัญญา ชรินทร์ โมฬี
Variga Sawaittayotin*, Suda Ittisupornrat, Chatchai Thopanya, Charinton molee

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion
E-mail: variga2011@gmail.com*

บทคัดย่อ

การปล่อยน้ำเสียครัวเรือนลงสู่แหล่งน้ำเป็นการเพิ่มปริมาณสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทำให้ออกซิเจนละลายน้ำในแหล่งน้ำนั้นลดลง ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนก่อนทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม โครงการวิจัยการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนจากการชักล้างด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิวมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนและนำกลับมาใช้ใหม่

ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว (Subsurface Flow Constructed Wetland : SFCW) ออกแบบให้ชั้นล่างสุดปลูกด้วยหินภูเขาไฟและใช้ในการปลูกต้นกกเพื่อลดการอุดตัน ยึดอายุการใช้งานของระบบ อีกทั้งเป็นวัสดุตัวกรองที่มีอยู่ในท้องถิ่น ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการกักเก็บทางชลศาสตร์ 5 วัน ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถปรับอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดให้เย็นลงด้วยระบบรากพืช สามารถปรับค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำที่ผ่านการบำบัดให้เป็นกลางมากขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียแบบไร้อากาศซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น สามารถลดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD ได้ร้อยละ 77 และสารอินทรีย์ในรูปของ COD ร้อยละ 55 ฟอสฟอรัสรวมร้อยละ 99 แอมโมเนียร้อยละ 95 ตะกอนร้อยละ 94 โดยระบบไม่สามารถบำบัดความเค็มและสารชักล้างได้ สามารถบำบัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียเหลือ 174 CFU/mL ซึ่งต่ำกว่าค่าแนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่ต้องไม่เกิน 1000 CFU/mL ระบบ SFCW ที่มีพืชจะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ไม่มีพืช กลไกหลักในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์และการใช้สารอาหารพืชในการเจริญเติบโตของต้นกก ผลการวิเคราะห์แบคทีเรียของระบบ SFCW ไม่พบ nitrifying bacteria จึงไม่เกิดกระบวนการ Nitrification และ Denitrification สามารถใช้ระบบ SFCW ในการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับการปลูกพืชได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ : น้ำเสียครัวเรือนจากการชักล้าง ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

Abstract

Discharge of household greywater into water bodies can lead to an increased environmental contamination especially on the reduction of dissolved oxygen resources resulting in rapid bacterial growth. Therefore, the quality of greywater has to be improved before disposal to the environment. The Study on Household Greywater Treatment by Subsurface Flow Constructed Wetland (SFCW) for Water Reuse research project was conducted with the objective to investigate gray water treatment efficiency of SFCW for water reuse.

SFCW system with pumice stone from Buriram province were used as filtration substrate and local plants were planted in the SFCW system. The experimental results of the SFCW system with sedge at hydraulic retention time of 5 days showed that the temperature of the treated water decreased likewise, the neutralization of the treated water increased due to organic decomposition by anaerobic bacteria. The BOD treatment efficiency was 77% the COD was 55%, total phosphorus was 99%, Total nitrogen (TKN) was 95%, and suspended solid was 94 %. The SFCW system cannot treat water salinity and detergent. The results of the SFCW system showed that the treatment efficiency for total coliform bacteria in treated water was 174 CFU/mL which was lower than water reuse guideline of 1000 CFU/mL. The system with plants showed higher performance than the system without plants. The main mechanism for treating organic pollutant is biodegradation by bacteria and nutrient removal by plant uptake. The results of test for bacterial identification showed that there were no nitrifying bacteria found. Therefore, the SFCW system can be use for treating household greywater for reuse in the agricultural sector.

Keyword : household greywater, subsurface flow constructed wetland, water reuse

1. บทนำ

โครงการวิจัยการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนจากการซักล้างด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว มีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนและนำกลับมาใช้ใหม่ในการเกษตรกรรม โดยน้ำเสียครัวเรือนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท เนื่องจากองค์ประกอบที่แตกต่างกัน คือ greywater เป็นน้ำเสียที่มาจากการซักล้าง อาบน้ำ ซักผ้า และจากการทำอาหาร blackwater เป็นน้ำเสียที่มาจากห้องส้วมหรือจากการขับถ่าย¹ ในประเทศที่พัฒนาแล้ว น้ำเสียจากการซักล้างและจากส้วมจะแยกจากกันตั้งแต่ต้นทางและบำบัดแยกกัน น้ำที่ผ่านการบำบัดนำมาใช้ในการรดน้ำต้นไม้และดูแลสวนสาธารณะ²

การบำบัดน้ำเสียที่มาจากการซักล้างมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ปริมาณ คุณสมบัติของน้ำเสีย เงื่อนไขของพื้นที่ติดตั้งและวัตถุประสงค์ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ น้ำเสียที่มาจากการซักล้างควรบำบัดด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม³

ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ดูแลง่ายและราคาถูกเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นทางเลือกในการรักษาสิ่งแวดล้อมและการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบ SFCW เพราะมีความเหมาะสมสำหรับชุมชนขนาดเล็กและเขตชนบท⁴ ระบบบึงประดิษฐ์สามารถบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียได้หลายชนิด⁵ ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิวมีประสิทธิภาพในการบำบัดตะกอน ไนโตรเจน สารอินทรีย์ในรูปของ BOD และ COD ได้ดีกว่าระบบบำบัดบ่อฝัง⁶ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียในแม่น้ำและน้ำเสียจากการเกษตรกรรม⁷ อีกทั้งการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการหนึ่งเพื่อลดความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ และเพื่อเป็นการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรน้ำและเป็นแหล่งทรัพยากรน้ำในชุมชน การจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน เนื่องจากการเติบโตของประชากร อีกทั้งทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัด

ระบบบึงประดิษฐ์พืชมีบทบาทสำคัญในการบำบัดสารอาหารจากน้ำเสียเมื่อเทียบกับแบบไม่มีพืช⁸ โดยพืชขนาดใหญ่สามารถบำบัดน้ำเสียโดยการช่วยให้เกิดการตกตะกอน การดูดสารอาหารไปใช้โดยตรงและเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์⁹ ถึงแม้ว่าต้นไม้ขนาดใหญ่จะมีบทบาทหลายอย่างในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แต่การเนาของพืชก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในช่วงเวลาที่พืชเจริญเติบโต พืชต้องการสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตและการสร้าง



เนื้อเยื่อ แต่ก็ปลดปล่อยสารอาหารลงสู่สิ่งแวดล้อมหรือระบบบำบัด ถ้าไม่มีการตัดแต่ง¹⁰

การบำบัดสารอาหารในระบบบึงประดิษฐ์มีความซับซ้อน โดยเฉพาะการบำบัดฟอสฟอรัสซึ่งมีตัวแปรเป็นวัสดุที่นำมาใส่ในระบบและมีบทบาทสำคัญสำหรับการบำบัดฟอสฟอรัส กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การดูดซึมโดยพืช จุลินทรีย์ การใช้ธาตุอาหารของพืช สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน และที่ไม่ใช่กระบวนการทางชีวภาพ เช่น การตกตะกอน การดูดซับของวัสดุที่ใช้ในระบบ การแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสระหว่างดินและน้ำ¹¹ การนำฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยสาหร่ายและพืชขนาดใหญ่ เป็นขบวนการที่สำคัญในการบำบัดสารอาหารของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว¹²

การบำบัดไนโตรเจน กลไกหลักในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน ในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว คือ ammonification nitrification และ denitrification แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรตโดย Nitrifying แบคทีเรียในบริเวณที่มีอากาศ ต่อจากนั้นไนเตรตจะเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ด้วย denitrifying แบคทีเรียในบริเวณที่ไร้อากาศ สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียด้วยกระบวนการ hydrolysis และการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ nitrification มาจากบรรยากาศผ่านทางรากพืชขนาดใหญ่ นอกจากนี้การบำบัดไนโตรเจนรวมในระบบ SFCW มากกว่าร้อยละ 90 เกิดจากพืชนำไปใช้ในขบวนการเจริญเติบโตของพืชในการสร้างเนื้อเยื่อและสลายตัวกลายเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนเมื่อพืชตาย¹³

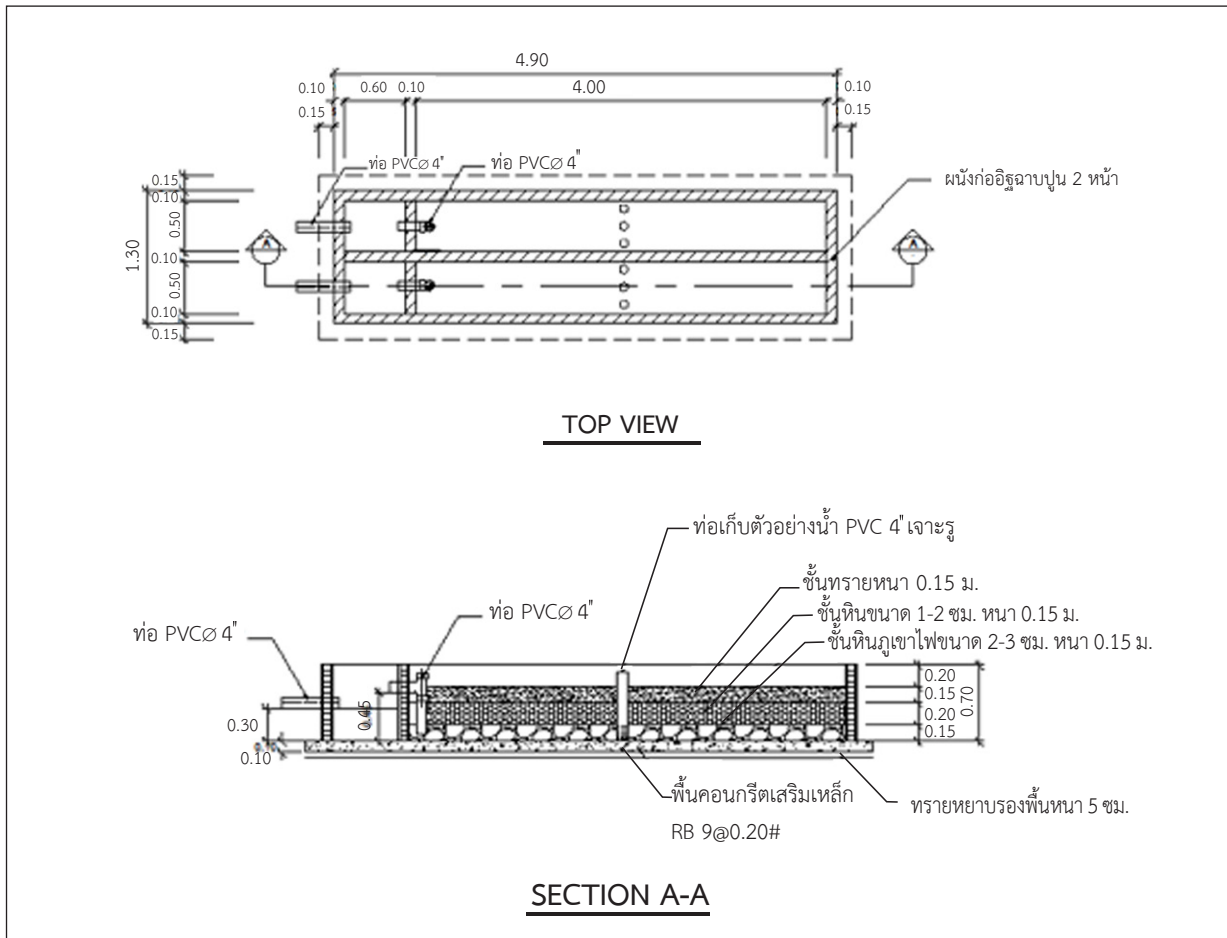
กลไกในการบำบัดสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ Firmicutes Bacteroidetes และ Actinobacteria พบเป็นส่วนมากในระบบบึงประดิษฐ์และในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารปนเปื้อน โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ใบของต้นกกจะส่งออกซิเจนไปยังรากเพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตและย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ เป็นกลุ่มที่พบอยู่ทั่วไปในกระบวนการบำบัดน้ำเสียและในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย Proteobacteria จะเป็นกลุ่มหลักที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์และในบริเวณรากของพืชที่มีบทบาทในการย่อยสลาย จุลินทรีย์ที่อยู่ในฟิล์มนี้จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารมลพิษหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส¹⁴

การประยุกต์ใช้วัสดุธรรมชาติมาเป็นชั้นกรองในระบบบึงประดิษฐ์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดสารปนเปื้อน ราคาถูกและดูแลระบบง่าย¹⁵ และพบว่าเปลือกลูกพีช เปลือกไม้ ถ่านหุงต้ม ถ่านกัมมันต์ และหิน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง¹⁶ แต่ยังไม่มีการใช้หินภูเขาไฟมาเป็นวัสดุตัวกรองในระบบบึงประดิษฐ์ องค์ประกอบของหินภูเขาไฟ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ศิลาแลงหรือ laterite เกิดจากการผุพังของหินมีเนื้อเป็นดินประกอบด้วยออกไซด์ของเหล็กเป็นหลักและอะลูมินา (Al_2O_3) แต่เมื่อถูกออกซิไดซ์ ferrous oxide กลายเป็น ferric oxide ที่เป็นวัสดุประสานเนื้อศิลาแลง แหล่งหินบะซอลต์เขากระโดง เป็นหินอัคนีมีองค์ประกอบทางแร่เป็นพวกซิลิเกต เหล็กออกไซด์ เช่น Fe_2O_3 Fe_3O_4 และ Fe_2TiO_3 โอลิวีน และแก้วภูเขาไฟ¹⁷

2. วิธีการวิจัย

คณะวิจัยได้ติดตั้งระบบ SFCW ณ โรงเรียนธาทองพิทยาคม ตำบลลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นการทดลองกลางแจ้งเพื่อบำบัดน้ำเสียจากการซักล้างที่มีสารอินทรีย์และสารซักล้างปนเปื้อนของโรงอาหารซึ่งมีน้ำเสียประมาณ 3 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบ SFCW มีขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 4.0 เมตร ลึก 0.5 เมตร ขนาดความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร ทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุม ความลาดเอียง 1% วัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองในระบบและปลูกพืชประกอบด้วยหินก่อสร้างขนาด 2 - 3 เซนติเมตร ที่มีหินภูเขาไฟผสมอยู่ร้อยละ 30 หินขนาด 1 - 2 เซนติเมตร และทราย ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ใช้หินภูเขาไฟในการปลูกพืชในระบบเพื่อลดการอุดตัน และยืดอายุการใช้งานของระบบ นอกจากนี้

หินภูเขาไฟมีความพรุนสามารถใช้เป็นวัสดุตัวกรอง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นการลดต้นทุนในการขนส่ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ปลุกต้นกกกลมซึ่งเป็นพืชในท้องถิ่นที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ในบ่อทดลอง แต่ไม่ปลูกในบ่อควบคุมเพื่อศึกษาบทบาทของพืชในการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 1 แสดงระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว

การเดินระบบ SFCW หลังจากที่ถูกกลมเจริญเติบโตเต็มที่แล้วที่ความสูงประมาณ 1.30 เมตร จะปล่อยน้ำเสียเข้าระบบ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยน้ำเสียเข้าบ่อทดลอง 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และบ่อควบคุม 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปรับระดับน้ำในระบบ SFCW ให้อยู่ที่ใต้พื้นผิวของวัสดุตัวกรองและเชื่อมต่อกับระบบส่งน้ำที่ผ่านการบำบัดไปยังโรงเรือนดังแสดงในรูปที่ 2 เก็บน้ำเข้าและออกจากระบบเพื่อทดสอบความเหมาะสมของระยะเวลาการกักเก็บทางชลศาสตร์ (HRT) ที่ 1 3 และ 5 วัน ในการหาประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สารซักล้างและจุลินทรีย์ในระบบ SFCW ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรียด้วยวิธีการสกัดดีเอ็นเอเพื่อวิเคราะห์ประชากรจุลินทรีย์ด้วยวิธี next generation



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งโรงเรือนเชื่อมต่อกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว

3. ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพของระบบ SFCW ที่ HRT 1 3 และ 5 วัน จากผลการทดสอบโดยตั้งแต่ 3 วัน เป็นต้นไป ระบบมีประสิทธิภาพดี HRT 5 วันจะเหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียจากการชักล้าง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

3.1 ประสิทธิภาพของระบบ SFCW การบำบัดน้ำเสียจากการชักล้าง

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ย 32.2 องศาเซลเซียส น้ำที่ผ่านการบำบัดพบว่าระบบ SFCW สามารถปรับอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดให้เย็นลงด้วยระบบรากพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำทำให้อุณหภูมิของน้ำเย็นลง อีกทั้งต้นกกที่ปกคลุมผิวน้ำทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลง เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศ การใช้สารอาหารของต้นกกในการเจริญเติบโตเป็นกลไกหลักในการบำบัดสารอาหารพืช¹⁸ สามารถลดอัตราการระเหยของน้ำได้ในช่วงที่อากาศร้อน อุณหภูมิของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุมเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำในระบบเนื่องจากการเข้าสู่ฤดูร้อน

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนของระบบ SFCW

	หน่วย	แปลงทดลองที่มีต้นกก			แปลงควบคุมที่ไม่มีต้นกก			คำแนะนำ
		HRT (d)			HRT (d)			
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	1	3	5	1	3	5	
pH inf		4.0	6.1	5.1	4.0	6.3	5.1	
pH eff		5.8	6.7	7.6	6.0	6.8	8.5	6-9
Conductivity inf	µS/cm	1,310	1,650	1,906	1,310	1,884	1,906	
Conductivity eff	µS/cm	1,410	1,616	939	1,523	1,562	1,732	<2,000
COD inf	mg/L	1,749	480	2,753	1,749	480	2,753	
COD eff	mg/L	853	118	1,226	866	116	1,418	ไม่กำหนด
% removal		51.0	75.4	55.0	49.0	80.0	49.0	
BOD inf	mg/L	1,012	303	1,004	1,012	384	1,004	
BOD eff	mg/L	626	64	230	547	61	780	<20
% removal		62.0	78.8	77.0	46.0	84.1	22.0	
TP inf	mg/L	4.64	3.0	5.65	4.64	2.4	5.65	
TP eff	mg/L	1.26	2.6	ND	2.0	1.67	0.68	ไม่กำหนด
% removal		73.0	10.6	99.0	57.0	29.5	88.0	
TKN inf	mg/L	38.5	27.4	42	38.5	20.9	42	
TKN eff	mg/L	14.3	19.0	3.9	27.8	11.8	8.4	ไม่กำหนด
% removal		63.0	31.0	91.0	28.0	43.4	80.0	
SS inf	mg/L	234	40	331	234	46	331	
SS Eff	mg/L	42	12	44	49	16.8	87	ไม่กำหนด
% removal		82.0	70.0	94.0	80.0	63.5	87.0	
TC inf	CFU/mL	12,409	4,592	557	12,409	7,767	557	
TC eff	CFU/mL	7,085	2,950	174	7,310	5,600	463	<1000
% removal		43.0	35.8	69.0	41.0	28.0	17.0	
E-coli inf	CFU/mL	108	129	6	108	85	6	
E-coli eff	CFU/mL	63	2	1	73	17	5	<10
% removal		42.0	98.4	77.0	32.0	80.0	22.0	

หมายเหตุ inf หมายถึง น้ำเสียที่เข้าระบบ eff หมายถึง น้ำที่ผ่านการบำบัด % removal หมายถึง ประสิทธิภาพในการบำบัดคิดเป็นร้อยละ ค่าแนะนำ หมายถึง ตามเกณฑ์แนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ของประเทศไทย ที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้จัดทำไว้เมื่อปี พ.ศ. 2556 ค่า ND ของการวิเคราะห์ TP เท่ากับ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

ค่าความเป็นกรด - ด่างหรือ pH ของน้ำเสียเข้าระบบ 5.1 และน้ำที่ผ่านการบำบัด 7.6 พบว่า ระบบ SFCW ทำให้ pH ของน้ำเป็นกลางมากขึ้นเนื่องจากด้านล่างของระบบไม่มีอากาศเมื่อแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน และเกิดคาร์บอนเนตซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น

ค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเข้า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออก 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนละลายในน้ำที่ผ่านการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากระบบถูกออกแบบให้ด้านล่างของระบบไม่มีอากาศ ออกซิเจนในน้ำเสียที่ไหลผ่านระบบ SFCW จะถูกใช้ในกระบวนการเกิดคาร์บอนเนตและไนโตรเจนของน้ำ ดินและซากพืช¹⁹ ระบบ SFCW ไม่สามารถบำบัดความเค็มได้ที่ HRT ตั้งแต่ 1 ถึง 5 วัน

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ในน้ำเสียเข้าระบบ 2,753 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่ผ่านการบำบัด 1,226 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อทดลองที่มีพีชีมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 55 สารอินทรีย์ในรูปของ BOD ในน้ำเสียเข้าระบบ 1,004 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่ผ่านการบำบัด 230 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อทดลองที่มีพีชีลดสารอินทรีย์ในรูปของ BOD ได้ร้อยละ 77

ระบบ SFCW รับน้ำเสียที่มีฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำ ค่าเฉลี่ยในน้ำเสียเข้าระบบ 5.65 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่ผ่านการบำบัด บ่อทดลองที่มีพีชีมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 99 โดยกระบวนการบำบัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์ ส่วนหนึ่งเกิดจากการตกตะกอน สะสมในตะกอน ถูกใช้โดยแบคทีเรีย กลไกการบำบัดที่รวดเร็วเกิดจากพีชีขนาดใหญ่ เช่น กก นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดต่างทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตและยังสามารถละลายดินออกจากตะกอนเมื่อออกซิเจนละลายน้ำลดลง ระบบ SFCW มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนในรูปของ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบ SFCW 42 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำที่ผ่านการบำบัด 3.9 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 91 เนื่องจากปริมาณออกซิเจนด้านล่างของระบบ SFCW 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่งบอกถึงสภาพไร้อากาศและจากผลการวิเคราะห์สายพันธุ์แบคทีเรียในระบบไม่พบ nitrifying bacteria จึงไม่เกิดกระบวนการ Nitrification และ Denitrification ในบ่อทดลองและบ่อควบคุม โดยการบำบัดไนโตรเจนรวมและแอมโมเนียม NH_4 เกี่ยวข้องกับระบบรากพืชและกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อของพืชและในฤดูร้อนจะมีประสิทธิภาพดีกว่าในฤดูหนาว²⁰ ไนโตรเจนถูกใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช เมื่อพืชตายและจะเกิดการย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน

ตะกอนในน้ำเสียเข้าระบบ SFCW 331 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่ผ่านการบำบัด 44 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 94 และบ่อควบคุมร้อยละ 87 การตกตะกอนเกิดจากตัวกรองในระบบและระบบรากพืช โดยบทบาทของต้นกกกลมในระบบ SFCW ช่วยให้เกิดการตกตะกอนและ biofilm ดังนั้นระบบ SFCW จึงช่วยในการลดตะกอน สารอินทรีย์ไนโตรเจน ไนโตรเจนรวมในรูปของ TN สารอินทรีย์ในรูปของ BOD และ COD ได้ดี

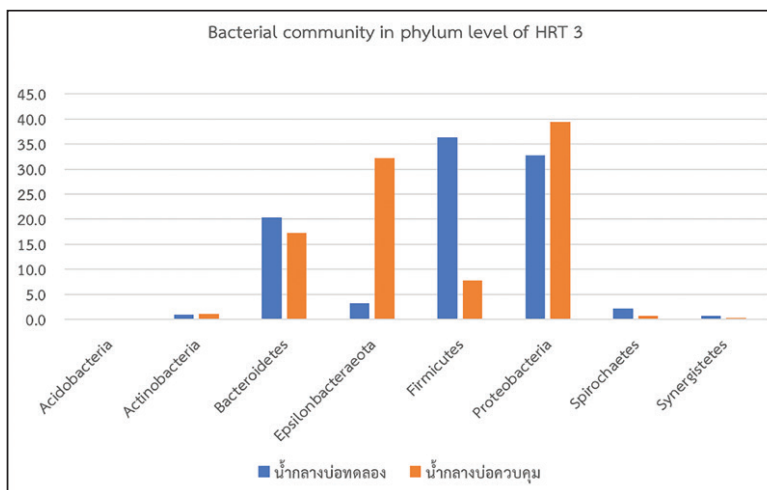
การปนเปื้อนของดัชนีชี้วัดเชื้อโรคโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำเสียเข้าระบบ SFCW 557 CFU/mL น้ำที่ผ่านการบำบัด 174 CFU/mL มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 69 เกิดจากการตายตามธรรมชาติ เนื่องจากการขาดอากาศในการดำรงชีพของสภาพไร้อากาศในด้านล่างของระบบ SFCW ซึ่งต่ำกว่าค่าแนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่ต้องไม่เกิน 1,000 CFU/mL รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ประสิทธิภาพของระบบ SFCW ที่ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในระบบ 3 วัน สามารถบำบัด Linear alkylbenzenes (LAS) และ Benzalkonium Chloride (BKC) ซึ่งเป็นสารซักล้าง Dibutyl phthalate (DBP) bis - (2 - ethylhexyl) ในน้ำเสียได้เล็กน้อย แต่ไม่สามารถบำบัด Triclosan (TCS) ซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรค (biocides) ได้

3.2 ชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรียในระบบ SFCW

การวิเคราะห์ชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรียในระบบ SFCW ที่ HRT 3 วัน ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน พบว่าในบ่อดูดที่มีต้นกกกลุ่มจุลินทรีย์หลักได้แก่ Firmicutes ร้อยละ 36.4 Proteobacteria ร้อยละ 32.7 ซึ่งเป็นกลุ่มหลักที่พบในบริเวณรากพืชของระบบบึงประดิษฐ์ จุลินทรีย์ที่อยู่ในแฟลมนี้มีบทบาทในกระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนหลายชนิด และ Bacteroidetes ร้อยละ 20.3 ในบ่อควบคุมที่ไม่มีต้นกก กลุ่มจุลินทรีย์หลักได้แก่ Proteobacteria ร้อยละ 39.5 Epsilonbacteraeota ร้อยละ 32.2 และ Bacteroidetes ร้อยละ 17.2

Actinobacteria ที่สำคัญได้แก่ Polyphosphate Accumulating organisms (PAOs) ซึ่งใช้ฟอสเฟตในน้ำเสียในรูปแบบของการสะสมในเซลล์ และ Acidobacteria พบน้อยมากจึงไม่มีบทบาทในกระบวนการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ทั้งในบ่อดูดและบ่อควบคุม จากผลการวิเคราะห์ไม่พบ nitrifying bacteria แสดงว่าไม่เกิดกระบวนการ Nitrification และ Denitrification นอกจากนี้ยังพบ Spirochetes มักจะพบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งซึ่งแสดงถึงสภาพไร้อากาศในระบบ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงชนิดของสายพันธุ์แบคทีเรียในด้านล่างของระบบ SFCW

3.3 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ใหม่

การทดลองปลูกพืชในโรงเรือน ณ โรงเรียนธารทองพิทยาคม โดยการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดในการคัดเลือกชนิดพืชสำหรับการทดลองที่มีลักษณะดังนี้คือ ปลูกง่าย ขยายคล่อง ราคาดี และเป็นที่ยอมรับประทานของประชาชน จึงเลือกปลูกเมล่อนสายพันธุ์คิมิจากประเทศญี่ปุ่นจำนวน 20 ต้นในโรงเรือน ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 เดือน จะได้ผลผลิตจำนวน 23 ผลในการเก็บเกี่ยวรอบแรก เมล่อนมีความหวานระหว่าง 14 - 15 Brix มีน้ำหนักของผลระหว่าง 0.60 - 1.91 กิโลกรัม

การปลูกพืชผักสวนครัวด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัด ทำการตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อโรคเปรียบเทียบกับพืชผักสวนครัวที่วางขายในตลาดสดของเทศบาลตำบลลำปลายมาศ โดยใช้ดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของอีโคไล พบว่ามะนาว พริกชี้ฟ้า มะเขือเทศ มะเขือม่วง พริกหยวก และกะเพราที่ปลูกด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดและจากตลาดสดลำปลายมาศไม่ปนเปื้อนอีโคไล เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อย่างปลอดภัยสำหรับการเกษตรตามเกณฑ์แนะนำในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ของประเทศไทย ที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้จัดทำไว้เมื่อปี พ.ศ. 2556²¹

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SFCW เป็นระบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม น้ำไหลใต้พื้นผิวทำให้ไม่เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงและสัตว์นำโรค การดูแลระบบง่าย การตัดแต่งต้นกกจากระบบ สามารถนำมาใช้ทำเครื่องจักสานได้ เช่น เสื่อ และกระเป่า

4.1.1 ระบบ SFCW ใช้หินภูเขาไฟในจังหวัดบุรีรัมย์เป็นตัวกรองในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ลดการอุดตัน ยืดอายุการใช้งานของระบบและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

4.1.2 การใช้พืชในท้องถิ่น ได้แก่ กกกลมปลูกในระบบ SFCW เพื่อให้ทนต่อสภาพภูมิอากาศและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้พื้นผิว

4.1.3 ระบบ SFCW จะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระยะเวลาในการกักเก็บทางชลศาสตร์ที่ 5 วัน

4.1.4 ต้นกกกลมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอาหารพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ผ่านกระบวนการดูดซึมผ่านระบบราก

4.1.5 การบำบัดสารซักล้างจากน้ำเสียครัวเรือนควรใช้ระบบอื่น เช่น ระบบเยื่อกรอง ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรอง เป็นต้น

4.1.6 ไม่พบ nitrifying bacteria จึงไม่เกิดกระบวนการ Nitrification และ Denitrification แสดงถึงสภาพไร้อากาศของระบบ SFCW

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ควรมีระยะเวลาในการเดินระบบ SFCW อย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้ระบบคงที่และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมากขึ้น แต่เนื่องจากการแพร่ระบาดของโควิด-19 ในปี พ.ศ. 2563 ทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบการเดินระบบเพิ่มเติมได้

4.2.2 การคัดเลือกพื้นที่วิจัยควรสำรวจความต้องการของพื้นที่ และความพร้อมของผู้ร่วมวิจัย

4.2.3 เนื่องจากน้ำเสียจากโรงอาหารมีสารอินทรีย์ในรูปของ COD และ BOD สูง ควรมีการบำบัดเบื้องต้นก่อนเข้าระบบ SFCW

4.2.4 ควรศึกษาเพิ่มเติมว่าระบบ SFCW สามารถปรับค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำเสียให้เป็นกลางมากขึ้นด้วยกระบวนการใดนอกจากกระบวนการที่เกิดจากจุลินทรีย์

4.2.5 การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบ SFCW และนำกลับมาใช้ใหม่ในการปลูกพืช ถ้าตรวจพบการปนเปื้อนของอีโคโลควรมีการตรวจการปนเปื้อนของไขพยาธิเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดบุรีรัมย์ นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลลำปลายมาศและเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ผู้อำนวยการโรงเรียนธารทองพิทยาคม คณะครูและเจ้าหน้าที่ ในการอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและร่วมปฏิบัติงานของโครงการวิจัย พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Paulo PL, Azevedo C, Begosso L, Galbiati AF, Boncz MA. Natural systems treating greywater and blackwater on - site: Integrating treatment, reuse and landscaping. Ecol. Eng 2013;50:95-100.

2. Matos C, Pereira S, Amorima EV, Bentes I, Briga-Sáab V. Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems, an integrated approach on water quality, energy consumption and CO₂ emissions. *Sci. Total Environ* 2014;493:463-71.
3. Harju V. Assembling and testing of laboratory scale greywater treatment system. [Dissertation], Tampere: Tampere University of Applied Science; 2010.
4. Kadlec R. Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands. *Ecol. Eng* 2009;35(2):159-74.
5. Zhang D, Gersberg RM, Ng WJ, Tan SK. Removal of pharmaceuticals and personal care products in aquatic plantbased systems: a review. *Environ Pollut* 2014;184:620-39.
6. A Sajn Slak, TG Bulc, D Vrhovsek. Comparison of nutrient cycling in a surface-flow constructed wetland and in a facultative pond treating secondary effluent. *Water Sci Technol* 2005; 51(12):291-98.
7. Jing S. Removal of Nitrogen and Phosphorus from Municipal Wastewater Using Microalgae Immobilized on Twin-Layer System. [Dissertation]. Köln: Universität zu Köln; 2011.
8. Lin Y-F, Jing S-R, Wang T-W, Lee, D-Y. Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands. *Environ Pollut* 2002;119(3):413-20.
9. Taylor CR, Hook PB, Stein OR, Zabinski CA. Seasonal effects of 19 plant species on cod removal in subsurface treatment wetland microcosms. *Ecol Eng* 2011;37(5):703-710.
10. Hu L, Hu W, Deng J, Li Q, Gao F, Zhu J, Han T. Nutrient removal in wetlands with different macrophyte structures in eastern Lake Taihu, China. *Ecol Eng* 2010;36(12):1725-32.
11. Reddy K, D'angelo E. Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands. *Water Sci Technol* 1997;35(5):1-10.
12. Nungesser MK, Chimney MJ. Evaluation of phosphorus retention in a south Florida treatment wetland. In: 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Lake Buena Vista, Florida, USA; 2000. p. 179-86
13. Kadlec RH, Knight RL, Vymazal J, Brix H, Cooper P, Haberl R. *Constructed wetlands for pollution control*. London: IWA Publishing; 2000.
14. Oopkaup K, Truu M, Nolvak H, Ligi T, Preem J-K, Mander Ü, Truu J. Dynamics of Bacterial Community Abundance and Structure in horizontal Subsurface Flow Wetland Mesocosms Treating Municipal Wastewater. *Water* [Internet]. 2016 Oct [cited 2020 Aug 24]; 8(10): 457. Available from: www.mdpi.com/journal/water
15. Mohamed RM, Chee-Ming C, Hasyimah G, Mohd AM Y, Amir HM K. Application of peat filter media in treating kitchen wastewater. *Int. J. Zero Waste Generation* 2014;1(1):11-16
16. Lalander C, Dalahmeh S, Jönsson H, Vinnerås B. Hygienic quality of artificial greywater subjected to aerobic treatment: a comparison of three filter media at increasing organic loading rates. *Environ Technol* 2013;34:2657-62.
17. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่. การนำเส้นใยจากหินบะซอลต์มาใช้เป็นวัสดุเติมในภาคอุตสาหกรรม [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 9 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก http://www5.dpim.go.th/service7_9/



18. Slak S, Bulc TG, Vrhovsek D. Comparison of nutrient cycling in a surface-flow constructed wetland and in a facultative pond treating secondary effluent, *Water Sci Technol* 2005; 51(12):291-98.
19. Kadlec RH, Knight RL. *Treatment Wetlands*. Boca Raton: Lewis Publishers; 1996.
20. Abbasi HN, Xie J, Hussain SI, Lu X. Nutrient removal in hybrid constructed wetlands: spatial-seasonal variation and the effect of vegetation. *Water Sci Technol* [Internet]. 2019 [cited 2021Feb 3]. Available from <https://iwaponline.com/wst/article/79/10/1985/67941/Nutrient-removal-in-hybrid-constructed-wetlands>
21. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556.

การพัฒนาถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับตลาดสด

Development of On-Site wastewater treatment tank for the fresh market

สุเทียบ ศรีลาชัย* ชัชชัย โทปัญญา ชวลา เสี่ยงล้ำ ชรินทร์ โมฬี

อนุพงษ์ ปุณโณทก นริศนีย์ นวลไม้ ปัญญา ไยถาวร

Sutiab Srilachai*, Chatchai Thopanya, Chawala Sienglum, Charintorn Molee,

Anupong Poonnotok, Narissanee Naulmai, Panja Yaithavorn

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: Ssrilachai@gmail.com*

บทคัดย่อ

การพัฒนาถังบำบัดน้ำเสียสำหรับตลาดสดโดยทำการเพิ่มส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์ด้วยฟองอากาศขนาดเล็ก (Micro bubble) แทนส่วนเกราะ (Septic tank) ตามต้นแบบถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอาคารหรือบ้านเรือน สามารถที่จะลดความสกปรกของไขมันและสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากฟองอากาศขนาดเล็กมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ในขณะที่ไขมันมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก จึงทำให้ทั้งสองส่วนนี้ดูดซับกันเพื่อปรับสภาพให้เป็นกลางทางไฟฟ้าและแยกออกจากน้ำเสียแล้วลอยขึ้นด้านบน นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มสื่อตัวกลางสำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ (Biological media) ให้มีพื้นที่เพียงพอ ปรับปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ถังบำบัดให้สอดคล้องกับช่วงเวลาของการเกิดน้ำเสีย และควบคุมปริมาณการเติมอากาศสำหรับส่วนของการเติมอากาศให้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ที่เหมาะสม ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากตลาดสดเทศบาลตำบลป่าปายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ ครั้งสุดท้ายก่อนเกิดการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) พบว่า สามารถลดความสกปรกในรูปของบีโอดี สารแขวนลอย ทีเคเอ็น น้ำมันและไขมัน จาก 821 223 106 และ 54.7 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 17 32 25 และ 2.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของค่าดังกล่าวนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด โดยต้นแบบถังบำบัดน้ำเสียดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งประมาณ 300,000 บาท ค่าเดินระบบประมาณ 8 - 12 บาท/ลูกบาศก์เมตร เหมาะสมสำหรับแหล่งกำเนิดน้ำเสียไม่เกิน 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน และมีความสกปรกของไขมันและสารอินทรีย์สูง เช่น ตลาดสด ร้านอาหารขนาดใหญ่ เป็นต้น

คำสำคัญ : ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป ตลาดสด

Abstract

Development of on-site wastewater treatment tank for a fresh market by separating grease and organic substances using micro bubbles to replace a septic tank. This on-site wastewater treatment tank was designed from the common septic tank of on-site wastewater treatment tanks that are popularly used for treating wastewater from buildings or houses. However, this on-site wastewater treatment tank developed by ERTC are capable of reducing the concentrations of grease and organic substances because these small bubbles carry negative electrical charge, while grease has a positive electrical charge. Therefore, these two parts absorb each other to produce neutral electricity and separate grease and organic substances from the wastewater and float to the surface of wastewater. It also provides additional surface area for the adhesion of biological



media. Adjust the amount of wastewater entering the treatment tank to be in accordance with the time of wastewater generation. And control the aeration volume for the aeration part to provide suitable amount of dissolved oxygen (DO). It was found that concentrations of BOD, TKN, suspended solid, oil and grease which were originally at 821 mg/l, 223 mg/l, 106 mg/l, and 54.7 mg/l decreased to 17 mg/l, 32 mg/l, 25 mg/l, and 2.8 mg/l, respectively. These values are within the standard values for controlling the sewerage discarded from certain types and sizes of buildings. The prototype of the aforementioned septic tank has an installation cost of approximately 300,000 baht, a maintenance costs is approximately 8-12 baht/m³, and it is suitable for low input of wastewater which does not exceed 10 m³/day with high concentration levels of pollutants especially fats and organic substances which are commonly found in wastewater discarded from fresh markets, large restaurants, etc.

Keywords : On-Site wastewater treatment tank, Fresh market

1. บทนำ

ตลาด เป็นอาคารที่ต้องควบคุมการระบายน้ำทิ้งให้เป็นไปตามมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุม¹ จากข้อมูลการสำรวจของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม พบว่า น้ำเสียจากตลาดสดมีความสกปรกของสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดี ประมาณ 800 - 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าที่เคเอ็น ประมาณ 90 - 110 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อมีการระบายน้ำเสียดังกล่าวออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ ก็จะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติเกิดการเน่าเสียเนื่องจากรังสีของการตกค้างของสารอินทรีย์ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้ตลาดเหล่านี้ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ที่เหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพก็เนื่องจากตลาดมักตั้งอยู่ในชุมชนเมือง ทำให้มีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย และนอกจากนี้ยังพบว่าหากจะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียตามแบบดั้งเดิมและเต็มรูปแบบนั้น จะต้องมีขั้นตอนหลายอย่าง เช่น การศึกษาความเหมาะสม การออกแบบ การขออนุญาต รวมทั้งทักษะและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง การดูแลและบำรุงรักษาระบบที่ค่อนข้างสูงตามไปด้วย

ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ (On-site wastewater treatment tank)² หมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการก่อสร้างหรือติดตั้งเพื่อบำบัดน้ำเสียจากอาคารเดี่ยวๆ เช่น บ้านพักอาศัย อาคารชุด โรงเรียน หรืออาคารสถานที่ทำการ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสกปรกของน้ำเสียก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่สำหรับบ้านพักอาศัยที่นิยมใช้กัน ได้แก่ บ่อดักไขมัน (Grease Trap) ระบบบ่อเกราะ (Septic Tank) ระบบบ่อกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

ในปัจจุบันมีการผลิตและจำหน่ายถังสำเร็จรูปในท้องตลาดทั่วไป ทำให้สะดวกในการจัดหาและติดตั้ง โดยถังบำบัดน้ำเสียที่จำหน่ายในท้องตลาดมีหลายยี่ห้อและหลายขนาด³ ตั้งแต่ขนาด 600 ลิตร สำหรับบำบัดน้ำเสียสำหรับ 2 คน กระทั่งขนาด 3,000 ลิตร สำหรับบำบัดน้ำเสียสำหรับ 10 คน ซึ่งองค์ประกอบและหลักการทำงานส่วนมากจะแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเกราะ (Septic zone) และส่วนกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter zone) การบำบัดจะเริ่มต้นโดยระบบหรือถังจะรับน้ำเสียเข้าสู่ส่วนบ่อเกราะเพื่อทำการแยกส่วนของกากตะกอนและน้ำออกเป็น 2 ส่วน จากนั้นส่วนที่เป็นน้ำจะถูกส่งให้ไหลผ่านแผ่นกรองเข้าสู่ส่วนกรองไร้อากาศ โดยมีแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) ซึ่งถูกเพาะเลี้ยงอยู่ในสื่อชีวภาพ (Biological media) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งอยู่ในน้ำเสียและปล่อยน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดกลับสู่สภาพแวดล้อม

การทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบไร้อากาศ ขนาด 1,600 ลิตร จากผู้ผลิตถึงจำนวน 9 ราย ของสุดา อิทธิสุนทรณ์รัตน์ และคณะ⁴ โดยใช้ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของทัศนสถานวัยหนุ่มกลางตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี พบว่า ค่าเฉลี่ยของบีโอดี สารแขวนลอย ทีเคเอ็น น้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียที่เข้าสู่ถัง 9 ถังที่ทดสอบเท่ากับ 122 65 67 และ 6.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำออกของถังชนิดต่างๆ ดังกล่าวมีค่า เท่ากับ 42 26 63 และ 4.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ในรูปของบีโอดี โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 72 - 77 หลังจากนั้นจึงมีการทดสอบประสิทธิภาพของถังบำบัดดังกล่าวอีกครั้งโดยมีการเติมอากาศให้ถังบำบัดน้ำเสียที่ทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 77 - 88 โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยของแต่ละถังอยู่ในช่วง 11 - 26 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปโดยทั่วไปที่จำหน่ายในท้องตลาดที่เป็นแบบไร้อากาศยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอที่จะบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีได้มากนัก แต่เมื่อมีการเติมอากาศเข้าไปช่วยจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดบีโอดีได้เพิ่มขึ้น การศึกษาของจิตติมา จารุเดชา และคณะ⁵ เรื่องการบำบัดน้ำเสียจากการซักล้าง (Grey water) ด้วยถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ถังขนาด 1,600 ลิตร พบว่า ถังบำบัดน้ำเสียดังกล่าวสามารถที่จะลดความสกปรกในรูปของบีโอดี สารแขวนลอย และไนโตรเจนทั้งหมด ได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะการบำบัดบีโอดี และสารแขวนลอย ได้มากกว่าร้อยละ 80

นอกจากการเติมอากาศที่สามารถจะเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบถังกรองไร้อากาศแล้ว ระยะเวลาการกักเก็บที่แตกต่างกันก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย เช่น การศึกษาของสายชล มือขุนทด⁶ เรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังกรองไร้อากาศ โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี (COD) และสารแขวนลอยที่ระยะเวลาการกักเก็บ 36 ชั่วโมง (อยู่ในส่วนเกราะ 24 ชั่วโมง และส่วนกรองอากาศ 12 ชั่วโมง) และระยะเวลาการกักเก็บ 72 ชั่วโมง (อยู่ในส่วนเกราะ 48 ชั่วโมง และส่วนกรองอากาศ 24 ชั่วโมง) พบว่า สามารถลดความสกปรกในรูปซีโอดี และสารแขวนลอย ของระยะการกักเก็บ 36 ชั่วโมง จาก 845.02 และ 167.13 เหลือ 365.72 และ 53.87 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ ร้อยละ 56.65 และ 67.73 ตามลำดับ ส่วนระยะการกักเก็บ 72 ชั่วโมง สามารถลดจาก 874.90 และ 174.53 เหลือ 282.78 และ 34.73 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับหรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ ร้อยละ 67.66 และ 79.93 ตามลำดับ

Micro bubble⁷ เป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 - 60 ไมครอน ถูกสร้างขึ้นโดยการผสมกันระหว่างน้ำและอากาศทำให้น้ำเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่น ซึ่งฟองอากาศทั่วไปจะมีขนาดไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึงเซนติเมตร จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการลอยตัวต่ำและอยู่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นภายในน้ำ เนื่องจาก Micro bubble มีประจุไฟฟ้าลบ จึงทำให้ฟองอากาศไม่เกาะติดกันภายในน้ำและกระจายตัวเป็นวงกว้าง โดยไม่สลายหายไปทันที อีกทั้ง Micro bubble ซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบจะถูกทำให้เป็นกลางทางไฟฟ้าผ่านการดูดซับคราบไขมันที่มีประจุไฟฟ้าบวก ทำให้เกิดการแยกตัวของคราบไขมันและแยกตัวออกจากน้ำเสีย

ดังนั้น จึงได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่มีการใช้สำหรับการบำบัดน้ำทิ้งจากอาคาร บ้านเรือน หรือสำนักงาน โดยการเพิ่มส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์แทนส่วนเกราะ การเพิ่มส่วนของการเติมอากาศ การปรับปรุงสื่อตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะ การควบคุมปริมาณน้ำเสีย และการปรับปริมาณการเติมอากาศ เพื่อให้ถังบำบัดน้ำเสียต้นแบบมีความเหมาะสมและประสิทธิภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากตลาดสดและแหล่งอื่นๆ ที่มีความสกปรกโดยเฉพาะไขมันและสารอินทรีย์สูง

2. วิธีการวิจัย

ในการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับตลาดสดได้ดำเนินการศึกษาและสามารถแยกเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้ดังนี้

2.1 คัดเลือกพื้นที่ของตลาดสดเทศบาลตำบลลำปลายมาศ เป็นพื้นที่ในการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียจากตลาดสด เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น มีพื้นที่สำหรับการติดตั้งถังบำบัดน้ำเสีย มีระบบรางรวบรวมน้ำเสีย มีปริมาณและคุณภาพของน้ำเสียตามเกณฑ์ที่ต้องการทดสอบ โดยรายละเอียดจากการสำรวจ พบว่า ตลาดสดของเทศบาลตำบลลำปลายมาศมีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 2,400 ตารางเมตร มีน้ำเสียประมาณวันละ 10 ลูกบาศก์เมตร น้ำเสียจะระบายออกทั้งสี่ด้านของตลาดสด โดยในแต่ละด้านจะมีน้ำเสียระบายออกประมาณ 2-3 ลูกบาศก์เมตร/วัน และผลจากการเก็บและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่ามีค่าความสกปรกในรูปของบีโอดี สารแขวนลอย และไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น ประมาณ 800 - 1,200 200 - 600 และ 100 - 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

2.2 ออกแบบและติดตั้งถังบำบัดน้ำเสีย โดยได้ออกแบบต่อยอดจากรูปแบบของถังบำบัดสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนหรืออาคารทั่วไปที่จะมีแค่ 2 ส่วน คือ ส่วนเกราะ กับส่วนกรองไร้อากาศ ซึ่งจากข้อมูลที่รวบรวมมาพบว่าส่วนประกอบดังกล่าวยังไม่มียุทธศาสตร์เพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำเสียของเทศบาลตำบลลำปลายมาศที่มีความสกปรกของบีโอดีประมาณ 800 - 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน จึงได้ออกแบบและปรับปรุงส่วนต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด โดยรูปแบบของถังบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบและปรับปรุงเพิ่มเติมจากแบบเดิมมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

2.2.1 เพิ่มส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์โดยปั๊มสร้างฟองอากาศขนาดเล็ก (Micro bubble) เป็นส่วนแรกของถังบำบัดน้ำเสียที่ทำการปรับปรุงแทนส่วนเกราะตามแบบเดิมที่ปกติจะสามารถลดความสกปรกของไขมันและสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีได้ไม่มากนัก ซึ่งส่วนนี้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกไขมันและสารอินทรีย์ให้ลดลงและเหมาะสมก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนกรองไร้อากาศตามแบบเดิม ส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์จะมีการติดตั้งปั๊มสำหรับทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็ก (รูปที่ 1) ซึ่งการบำบัดในส่วนนี้หากมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียประมาณ 8 ชั่วโมงจะสามารถลดความสกปรกในรูปของบีโอดีได้ร้อยละ 60° โดยระบบที่ออกแบบไว้จะบำบัดน้ำเสียประมาณวันละ 2-3 ลูกบาศก์เมตร และถังแยกไขมันมีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ส่วนนี้จะสามารถลดบีโอดีจาก 800 - 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือประมาณ 300 - 500 มิลลิกรัม/ลิตร และกลไกการแยกโดยฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบจะไปรวมตัวกับไขมันซึ่งมีประจุเป็นบวกเพื่อให้มีสภาพเป็นกลางแล้วแยกออกจากน้ำเสียและลอยขึ้นด้านบนของถังแยกไขมันและสารอินทรีย์ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2

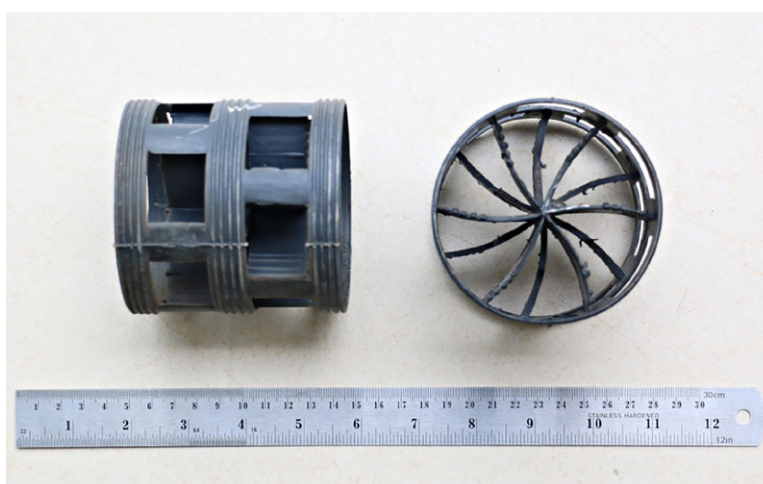


รูปที่ 1 แสดงปั๊มสร้างฟองอากาศขนาดเล็ก



รูปที่ 2 แสดงไขมันที่แยกจากน้ำเสียโดยฟองอากาศ

2.2.2 ส่วนกรองไร้อากาศ (Anaerobic filtration) ส่วนนี้เป็นส่วนที่มีอยู่ตามแบบเดิมแล้ว โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากส่วนแรกหรือส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์แล้วจะเข้าสู่ส่วนกรองไร้อากาศ ขนาดความจุ 1.50 ลูกบาศก์เมตร ตามแบบเดิมจะบรรจุสื่อตัวกลางชนิด Big biological media (รูปที่ 3) เพื่อให้จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายของเสียยึดเกาะเป็นที่อยู่อาศัยประมาณ 2/3 ของปริมาตรความจุ หรือประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ผิวประมาณ 100 ตารางเมตร⁹ ปกติส่วนนี้จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ประมาณร้อยละ 40 จะทำให้น้ำเสียที่ไหลมาจากส่วนแรกและเมื่อผ่านส่วนนี้แล้วสามารถลดบีโอดีเหลือประมาณ 180 - 300 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในการออกแบบและทดสอบครั้งนี้ ได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดโดยการใส่สื่อตัวกลางขนาดเล็ก (รูปที่ 4) ที่มีพื้นที่ผิวประมาณ 600 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร อีกประมาณ 300 ลิตร หรือคิดเป็นพื้นที่อีกประมาณ 180 ตารางเมตร สื่อตัวกลางขนาดเล็กนี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของสื่อตัวกลางขนาดใหญ่ ทำให้พื้นที่ผิวรวมของสื่อตัวกลางในส่วนนี้เพิ่มเป็นประมาณ 280 ตารางเมตร



รูปที่ 3 แสดงสื่อตัวกลางชนิด Big biological media



รูปที่ 4 แสดงสื่อตัวกลางขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่มากกว่า

2.2.3 ส่วนของการเติมอากาศ (Aeration tank) ส่วนนี้เป็นส่วนที่ปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของตลาดสด โดยมีขนาดความจุประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร มีการใส่สื่อตัวกลางชนิด Big biological media พื้นที่ผิวประมาณ 60 ตารางเมตร และสื่อตัวกลางขนาดเล็กอีกประมาณ 200 ลิตร หรือคิดเป็นพื้นที่อีกประมาณ 120 ตารางเมตร ส่วนรวมพื้นที่ผิวของสื่อตัวกลางในส่วนนี้ประมาณ 180 ตารางเมตร พร้อมทั้งติดตั้งปั๊มเติมอากาศ โดยให้มีการเติมอากาศลงไปในน้ำเสียที่จะบำบัดอย่างเพียงพอหรือประมาณ 2-4 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ซึ่งในการทดสอบได้ทำการติดตั้งเครื่องเติมอากาศ จำนวน 2 ตัว คือ ขนาด 60 และ 100 ลิตร/นาที่ ทำการตั้งเวลาการทำงานของเครื่องเติมอากาศให้มีช่วงเวลาทำงานทับซ้อนกัน (Overlap) เพื่อให้มีปริมาณการเติมอากาศสัมพันธ์กับการเกิดน้ำเสียโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีน้ำเสียเข้าสู่ถังบำบัดน้ำเสียมากๆ ตั้งแต่เวลา 02.00 - 10.00 น. โดยตั้งเวลาให้เครื่องเติมอากาศแต่ละตัวทำงานตัวละ 18 ชั่วโมง/วัน ตัวที่มีปริมาณการเติมอากาศ 100 ลิตร/นาที่ จะให้ทำงานตั้งแต่เวลา 0.00 - 18.00 น. ส่วนตัวที่มีปริมาตรการเติมอากาศ 60 ลิตร/นาที่ จะให้ทำงานตั้งแต่เวลา 18.00 - 12.00 น. ซึ่งจะทำให้ในช่วงเวลา 0.00 - 12.00 น. เป็นช่วงเวลาที่เกิดน้ำเสียขึ้นมาก เครื่องเติมอากาศทั้งสองตัวจะทำงานร่วมกัน (ตารางที่ 1) และนอกจากนี้ได้ดำเนินการติดตั้งปั๊มสูบน้ำเสียสำหรับปรับปริมาตรน้ำเสียที่เข้าสู่ถังบำบัดน้ำเสียโดยการติดตั้งเครื่องควบคุมเวลา (Timer) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำเสียที่จะเข้าสู่ถังบำบัดให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ โดยในช่วงที่เกิดน้ำเสียขึ้นมากคือช่วง 02.00 - 10.00 น. จะตั้งเวลาให้ปั๊มน้ำเสียสูบน้ำเข้าสู่ถังบำบัดน้ำเสียชั่วโมงละ 2 ครั้ง ครั้งละประมาณ 100 - 150 ลิตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะทำให้มีการสูบน้ำเข้าสู่ถังบำบัดน้ำเสียจำนวน 16 ครั้งคิดเป็นปริมาตรน้ำเสียประมาณ 1.6 - 2.4 ลูกบาศก์เมตร ส่วนช่วงเวลาที่เหลือซึ่งจะมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นน้อย จะตั้งเวลาให้ปั๊มสูบน้ำเสียเข้าถังบำบัด 4 ชั่วโมง/ครั้ง จำนวน 4 ครั้ง จะทำให้ได้น้ำเสียอีกประมาณ 0.4 - 0.6 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น จะทำให้ได้น้ำเสียเข้าสู่ถังบำบัดน้ำเสียประมาณ 2 - 3 ลูกบาศก์เมตร/วัน (ตารางที่ 2) ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งโดยปกติส่วนนี้ จะเป็นส่วนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงที่สุด โดยจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณร้อยละ 90 ดังนั้น น้ำเสียที่ผ่านส่วนนี้แล้วจะสามารถลดความสกปรกในรูปบีโอดีเหลือประมาณ 20 - 30 มิลลิกรัม/ลิตร

2.4 การคิดต้นทุนและค่าใช้จ่าย ในการติดตั้งและทดสอบครั้งนี้ มีค่าใช้จ่าย จำแนกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

2.4.1 ค่าจัดทำและอุปกรณ์ประกอบพร้อมติดตั้ง เช่น ถังบำบัดและส่วนประกอบระบบท่อและบ่อรวบรวมน้ำเสีย ระบบไฟฟ้าและตู้ควบคุม ถังแยกไขมันและสารอินทรีย์ ปิมน้ำ เครื่องเติมอากาศ เป็นต้น จำนวนประมาณ 300,000 บาท

2.4.2 ค่าไฟฟ้าสำหรับเดินระบบ

(1) ปิมน้ำฟองอากาศ ขนาด 750 วัตต์ ทำงานวันละ 16 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 2,000 วัตต์ต่อวัน

(2) ปิมน้ำสูบน้ำ ขนาด 400 วัตต์ ทำงานวันละ 16 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 212 วัตต์ต่อวัน

(3) ปิมน้ำตะกอน ขนาด 400 วัตต์ ทำงานวันละ 16 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 106 วัตต์ต่อวัน

(4) ปิมน้ำเติมอากาศ ขนาด 46 วัตต์ ทำงานวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 18 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 828 วัตต์ต่อวัน

(5) ปิมน้ำเติมอากาศ ขนาด 98 วัตต์ ทำงานวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 18 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 1,764 วัตต์ต่อวัน

จากรายละเอียดดังกล่าวข้างต้น จะทำให้ระบบที่ติดตั้งนี้ใช้ไฟฟ้าประมาณวันละ 4,910 วัตต์ หรือประมาณ 5 หน่วย หากค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท จะคิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 25 บาท/วัน และในแต่ละวันสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 2 - 3 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 8 - 12 บาท/ลูกบาศก์เมตร

3. ผลการวิจัย

หลังจากการออกแบบ จัดทำ และติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียของตลาดสดเทศบาลตำบลลำปลายมาศ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ จึงได้ทำการทดสอบเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมเป็นระยะ โดยผลการทดสอบการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียหลังจากการปรับปรุงและพัฒนาในรูปแบบครั้งสุดท้ายก่อนเกิดการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

จุดเก็บตัวอย่าง	กรด - ด่าง	บีโอดี	สารแขวนลอย	ทีเคเอ็น	น้ำมันและไขมัน
		มก./ล.			
น้ำเสียก่อนการบำบัด	6.4	821	223	106	54.7
น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	7.2	17	32	25	2.8
ประสิทธิภาพ (%)	-	98	86	76	95
มาตรฐาน*	5 - 9	30	40	35	20

*ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

จากตารางที่ 3 เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพของถังบำบัดน้ำเสียสำหรับตลาดสดที่มีการปรับปรุงและพัฒนาจากถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปสำหรับครัวเรือนและชุมชน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยผลจากการทดสอบ พบว่าค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีสามารถลดลงจาก 821 มิลลิกรัม/ต่อลิตร เหลือ 17 มิลลิกรัม/ลิตร หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณร้อยละ 98 และลดความสกปรกในรูปของสารแขวนลอย ทีเคเอ็น น้ำมันและไขมัน

จาก 223 106 และ 54.7 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 32 25 และ 2.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดในประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ที่กำหนดให้ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,500 ตารางเมตร ต้องมีค่าดังกล่าวไม่เกิน 30 40 35 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนจาก 6.4 เป็น 7.2 โดยค่ามาตรฐานมีค่า 5-9 นอกจากนี้ยังได้ทดลองนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วใช้สำหรับการล้างถังขยะของเจ้าหน้าที่เทศบาลที่ดูแลพื้นที่ตลาดสดด้วย

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

4.1.1 น้ำเสียจากตลาดสดมีความสกปรกโดยเฉพาะสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง หากใช้การแยกสารอินทรีย์ออกโดยมีเพียงส่วนเกรอะตามแบบของถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนทั่วไป จึงยังไม่เพียงพอ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงได้ปรับปรุงและพัฒนาส่วนเกรอะให้เป็นส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์ด้วยการใช้ฟองอากาศขนาดเล็กที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกไขมันและสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งกลไกการแยกไขมันด้วยฟองอากาศขนาดเล็กทำได้โดยเมื่อปั๊มสร้างฟองอากาศขนาดเล็กภายในถังที่พักน้ำเสีย ด้วยคุณลักษณะของฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้อัตราการลอยตัวต่ำหรือว่ามีระยะเวลาอยู่ในน้ำนานขึ้น และนอกจากนี้ ฟองอากาศขนาดเล็กยังมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ในขณะที่ไขมันมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก จึงทำให้ทั้งสองส่วนนี้ดูดซับกันเพื่อปรับสภาพให้เป็นกลางทางไฟฟ้า แล้วลอยขึ้นด้านบนของถังแยกไขมันและสารอินทรีย์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการตกตะกอนลอยดังกล่าวไปกำจัดต่อไป โดยกลไกนี้จะสามารถลดความสกปรกของไขมันและสารอินทรีย์ได้ดี และจะส่งผลดีต่อการทำงานของส่วนกรองไร้อากาศที่จะรับน้ำเสียเพื่อการบำบัดต่อไป

4.1.2 การเพิ่มส่วนของถังเติมอากาศหลังจากรองไร้อากาศแล้ว รวมทั้งการเพิ่มหรือเปลี่ยนสื่อตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ยึดเกาะจากขนาดใหญ่เป็นขนาดเล็กก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีขึ้น เนื่องจากหากปริมาตรของถังขนาดเท่ากัน การเปลี่ยนสื่อตัวกลางจากขนาดใหญ่เป็นขนาดเล็กจะสามารถเพิ่มพื้นที่หรือพื้นผิวในการยึดเกาะของจุลินทรีย์มากขึ้นประมาณ 6 เท่า ซึ่งก็จะส่งผลให้มีปริมาณของจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายของเสียได้มากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

4.1.3 น้ำเสียของตลาดสดเทศบาลตำบลลำปลายมาศประมาณร้อยละ 80 จะเกิดในช่วงหลังเที่ยงคืน ถึงก่อนเที่ยงวัน โดยกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดน้ำเสียคือการชำระและทำความสะอาดปลา ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว จึงได้มีการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบการสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังบำบัดร่วมกับการเติมอากาศให้มีความเหมาะสมกับปริมาณ คุณลักษณะ และเวลาของการเกิดน้ำเสีย โดยการปรับค่าดังกล่าวนี้จะมีผลต่อระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย (Retention time) และปริมาณของอากาศที่เติมให้ถังบำบัดน้ำเสีย ซึ่งรูปแบบที่เหมาะสมนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น

4.1.4 น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังบำบัดน้ำเสียสำหรับตลาดสดที่ผ่านการปรับปรุงและพัฒนาแล้ว มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าที่สุด เช่น ล้างพื้นตลาด ล้างถังขยะ รดน้ำต้นไม้ เป็นต้น

4.1.5 ค่าใช้จ่ายในการจัดทำและติดตั้งพร้อมอุปกรณ์อาจจะสามารถลดลงได้หากมีการผลิตในปริมาณที่มากขึ้น ส่วนค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 10 บาท/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนบางระบบ เช่น ข้อมูลค่าใช้จ่ายของการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed wetland) ซึ่งต้องมีการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบและระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ (Compact aeration) ของหอพักศูนย์วิจัย



และฝีกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ที่มีค่าใช้จ่ายประมาณ 0.5 และ 5 บาท/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม น้ำเสียของหอพักฯ มีความสกปรกของบีโอดีประมาณ 75 - 125 มิลลิกรัม/ลิตร เท่านั้น ในขณะที่น้ำเสียจากตลาดสด มีค่าบีโอดีสูงถึง 800 - 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งปั๊มสร้างฟองอากาศขนาดเล็กที่มีค่าใช้จ่าย ในการเดินระบบสูงเพื่อลดความสกปรกของบีโอดีลงก่อน

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ตลาดสดส่วนมากยังไม่มียุทธศาสตร์บำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ตลาดสด เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีการปล่อยน้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง โดยสาเหตุหลัก ที่ทำให้ตลาดสดเหล่านี้ยังไม่สามารถที่จะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพได้ก็เนื่องมาจาก ตลาดสดส่วนมากมักจะตั้งอยู่ในชุมชนเมือง ทำให้มีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย และนอกจากนี้ ยังพบว่าหากจะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียตามแบบดั้งเดิมนั้นจะต้องมีขั้นตอนหลายอย่าง เช่น การศึกษา ความเหมาะสม การออกแบบ การขออนุญาต รวมทั้งทักษะและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง การดูแลและบำรุงรักษาระบบ ที่ค่อนข้างสูงตามไปด้วย ทำให้ยังมีน้ำเสียจากตลาดสดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและเกิดความเสื่อมโทรมมากขึ้น ดังนั้น การประยุกต์ใช้รูปแบบและวิธีการออกแบบ ติดตั้ง และเดินระบบถึงบำบัดน้ำเสียสำหรับตลาดสดตามที่ได้ ปรับปรุงและพัฒนาขึ้นมาใหม่ สามารถใช้เป็นทางเลือกในการจัดการและบำบัดน้ำเสียจากตลาดสด หรือร้านอาหาร ขนาดใหญ่ ที่มีความสกปรกของไขมันและสารอินทรีย์สูง

4.2.2 ชนิด ปริมาณ คุณลักษณะ และช่วงเวลาในการเกิดน้ำเสียของตลาดสดแต่ละแห่งจะมีความ แตกต่างกันอย่างออกไป ดังนั้น หากต้องการการออกแบบ ติดตั้ง และเดินระบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ จำเป็น ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ให้ถูกต้องและครอบคลุม

4.2.3 การกำจัดตะกอนลอยที่เกิดขึ้นจากส่วนแยกไขมันและสารอินทรีย์ในปัจจุบันนั้น ทำได้โดยการ ใช้แรงงานคนเท่านั้น ทำให้บางครั้งที่เจ้าหน้าที่ไม่สะดวกหรือลืมน จะทำให้มีตะกอนลอยสะสมในถังและบางส่วน จะผ่านไปยั้งถึงเกราะ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดตั้งระบบกวาดตะกอนลอยอัตโนมัติ หรือ ระบบอื่นๆ ที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อีก

4.2.4 แม้ว่าผลการทดสอบประสิทธิภาพการปรับปรุงและพัฒนาถึงบำบัดน้ำเสียสำหรับตลาดสด เทศบาลตำบลลำปลายมาศจะสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องแล้ว แต่ผลที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพ ถึงบำบัดมีระยะเวลาที่จำกัด เนื่องจากในระหว่างที่ทำการทดสอบเกิดปัญหาการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัส โควิด 2019 (COVID-19) ทำให้การดำเนินการตรวจสอบประสิทธิภาพได้หยุดดำเนินการลง ซึ่งผลที่ได้อาจจะยัง ไม่ใช่ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดของถึงบำบัดนี้ ดังนั้น ควรมีการติดตามและตรวจสอบประสิทธิภาพเป็นระยะ ต่อไป และหากผลการศึกษาเพิ่มเติมยืนยันประสิทธิภาพการบำบัดได้ดี สามารถที่จะนำรูปแบบนี้มาเสนอหรือผลักดัน ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงมหาดไทย กระทรวงสาธารณสุข นำไปใช้เป็นต้นแบบในการขยายผลต่อไปได้

4.2.5 การดำเนินการดังกล่าวนับว่าเป็นสิ่งที่ชาวบ้าน หรือพ่อค้า แม่ค้า ยังไม่ค่อยคุ้นเคย ทำให้ ยังมีหลายคนเกิดความไม่เข้าใจถึงความจำเป็น หรือประโยชน์ที่จะได้รับ ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องพยายาม ประชาสัมพันธ์หรือสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรการในการควบคุมและการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาดที่มีการกำหนดให้ตลาดสดที่เข้าตามเกณฑ์ต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดบุรีรัมย์ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนข้อมูลและการประสานงานต่างๆ รวมทั้งสำนักงานเทศบาลตำบลลำปลายมาศ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ ที่อนุเคราะห์สถานที่สำหรับการติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียจากตลาดสด กระทั่งการศึกษาแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 122, ตอนที่ 125 ง (ลงวันที่ 29 ธันวาคม 2548).
2. กรมควบคุมมลพิษ. ระบบบำบัดน้ำเสีย [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2561 [เข้าถึงเมื่อ 26 สิงหาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html
3. บริษัท ธรรมสรณ์ จำกัด. ถังบำบัดน้ำเสีย Dos Compact [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: บริษัท ธรรมสรณ์ จำกัด; 2564 [เข้าถึงเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://dos.co.th/products/dos-compact>
4. สุธา อธิธิสุภรณ์รัตน์ และคนอื่นๆ. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการทดสอบประสิทธิภาพถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2552.
5. จิตติมา จารุเดชา และคนอื่นๆ. เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง Development of community - based water reuse system. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2556.
6. สายชล มือขุนทด. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังเกรอะ - กรองไร้อากาศ. ว. วิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2546;8(2):53-65.
7. บริษัท ไทยนิตโต เซโก แมชชีนเนอรี จำกัด. อุปกรณ์ล้างทำความสะอาดแบบ Micro-bubble สำหรับงานภาคอุตสาหกรรม. ปทุมธานี: บริษัท ไทยนิตโต เซโก แมชชีนเนอรี จำกัด; 2564 [เข้าถึงเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.smri.asia/th/nitto/news/2186/>
8. บริษัท อาควา นิซิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น จำกัด. เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง Jokhaso System ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปสำหรับชุมชน. กรุงเทพฯ: บริษัท อาควา นิซิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น จำกัด; 2554.
9. บริษัท ไบโอมิเดีย แอนด์ วอเตอร์ ซิสเต็ม จำกัด. ตัวกลางทางชีวภาพ (Media). กรุงเทพฯ: บริษัท ไบโอมิเดีย แอนด์ วอเตอร์ ซิสเต็ม จำกัด; 2556 [เข้าถึงเมื่อ 26 สิงหาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.biomed iaandwatersystem.com/product-media.html>



ศึกษาประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนด้วยฟองอากาศแบบละเอียด
Study on the efficiency of fine air Bubbles to separate fat, oil
and grease from domestic wastewater

ชัชชัย โทปัญญา* วาลิกา เศวตโยธิน สุดา อิทธิสุภรณ์รัตน์
ชญาณิน น้ำเยื้อง ชวลา เสียงล้ำ ปัญญา ไยถาวร

Chatchai Thopanya*, Variga Sawaittayotin, Suda Ittisupornrat, Chayanin Namyuang,
Chawala Sienglum, Panja Yaithavorn

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
Environmental research and training center, Department of environmental quality promotion
E-mail: topanya136@gmail.com*

บทคัดย่อ

ถังดักไขมันมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนได้ประมาณร้อยละ 60 โดยทั่วไป จะใช้เวลานานหลายชั่วโมง ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้จัดสร้างต้นแบบเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด (Fine Air Bubble) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมัน (fat, oil and grease) ในน้ำเสียชุมชนด้วยฟองอากาศแบบละเอียด การดำเนินการวิจัยได้ทำการทดสอบการแยกน้ำมันและไขมันในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เปรียบเทียบประสิทธิภาพ ระยะเวลาในการแยกตัวของน้ำมันและไขมัน โดยวิธีการลอยตัวตามธรรมชาติและวิธีการใช้ฟองอากาศแบบละเอียด ในภาชนะถึงสี่เหลี่ยมขนาด 120 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และติดตั้งทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด ภาคสนามในสถานะใช้งานจริง โดยได้ดำเนินการวิจัยร่วมกับโครงการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ เพื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่บริเวณโรงอาหารโรงเรียนธาทองพิทยาคม วิจัยร่วมกับโครงการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากตลาดสดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่ตลาดสดเทศบาลลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ และตลาดไนท์บาซาร์เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ จำนวน 3 พื้นที่ ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ปรากฏว่า ในเวลา 1 ชั่วโมงประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันในน้ำเสียด้วยวิธีลอยตัวตามธรรมชาติ 59% การแยกด้วยฟองอากาศแบบละเอียด 89% ในเวลา 10 นาที ส่วนการทดสอบภาคสนามนั้น พบว่าฟองอากาศแบบละเอียดมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียโรงอาหารโรงเรียนธาทองพิทยาคม 85% ตลาดสดเทศบาลลำปลายมาศ 87% และตลาดไนท์บาซาร์เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ 73% น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ช่วยลดการปนเปื้อนจากน้ำเสียชุมชนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ

คำสำคัญ : ฟองอากาศแบบละเอียด น้ำมันและไขมัน การแยก

Abstract

Grease trap is approximately 60% efficient in separating fat, oil and grease in domestic waste water, and typically takes several hours. The Environmental Research and Training Center has built a prototype Fine Air Bubbles to increase the efficiency in separating fat, oil and grease in domestic waste water. Initially, fat, oil and grease separation tests were conducted in laboratories of the Environmental Research and Training Center to compare the time efficiency between fat, oil and grease separation by natural flotation method and fat, oil and grease by fine air bubble separation method using a rectangular container with a volume of 120 liters for a period of

1 hour. The efficiency of fat, oil and grease separation by fine air bubbles was also tested on site in 3 areas during actual conditions through a joint research project with the Research using Household Graywater Treatment by Subsurface Flow Constructed Wetland for Water Reuse the canteen area of Than Thong Pittayakom School. Another joint on-site research was also conducted using wastewater treatment tank from the Lam Plai Mat Municipal fresh market, and Night Bazaar market located at Buriram province. The results from laboratory experiment showed that at 1 hour period, the efficiency of fat, oil and grease separation in wastewater by natural floating method was 59%, fat, oil and grease separation with fine air bubbles was 89% within the period of 10 minutes. The results from 3 on site experiments also showed that the efficiency of fine air bubbles in separating fat, oil and grease from wastewater at Than thong Pittayakom School Canteen was 85%, Lam Plai Mat Municipal fresh market was 87% and Night Bazaar Market, Buriram province was 73%. The treated wastewater showed concentration values for fat, oil and grease were within the standards for waste water quality standard for community effluent in Thailand which helps reduce water contamination from community wastewater to natural water sources with efficiency and low cost.

Keyword : Air Fine Bubble, fat, oil and grease, Separation

1. บทนำ

น้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่พบในน้ำเสียชุมชน โดยมีปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด¹ น้ำเสียชุมชนที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนนี้ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การประกอบอาหารตามครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร อุ้ช่อมรถ และจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งไขมันเหล่านี้หากปล่อยให้ออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากโดยไม่มีการจัดการอย่างถูกต้อง อาจก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนมลพิษสู่แหล่งน้ำผิวดิน ทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและกีดขวางการซึมผ่านของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียตามมา

น้ำเสียจากครัวของบ้านพักอาศัย ห้องอาหารหรือภัตตาคาร² จะมีน้ำมันและไขมันปนอยู่มากโดยลักษณะน้ำเสียจากครัวของบ้านพักอาศัยกรณีที่ไม่ผ่านตะแกรงจะมีน้ำมันและไขมันประมาณ 2,700 มิลลิกรัม/ลิตร หากผ่านตะแกรงจะมีน้ำมันและไขมันประมาณ 500 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับลักษณะน้ำเสียจากครัวของภัตตาคารจะมีน้ำมันและไขมันประมาณ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร

บ่อดักไขมัน เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งสำหรับแยกไขมันไม่ให้ไหลปนไปกับน้ำทิ้ง ช่วยลดปริมาณของเสียรักษาสภาพน้ำในขั้นต้นก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ บ่อดักไขมันมีทั้งแบบสำเร็จรูป³ ที่สามารถซื้อและติดตั้งได้ง่าย หรือสามารถสร้างเองได้โดยใช้วงขอบซีเมนต์หรือถังซีเมนต์หินขัด⁴ ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าแบบสำเร็จรูป และสามารถปรับให้เหมาะสมกับพื้นที่และปริมาณน้ำที่ใช่ การจัดการน้ำมันและไขมันโดยใช้บ่อดักไขมันเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและขอแนะนำสำหรับการออกแบบบ่อดักไขมันสำหรับประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิสูง การจับตัวของไขมันค่อนข้างช้า ดังนั้นระยะเวลาที่พักของบ่อดักไขมันจึงไม่ควรน้อยกว่า 6 ชั่วโมง⁵ เพื่อให้ไขมันและไขมันแยกตัวออกจากกัน และลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ

น้ำเสียชุมชนจะมีน้ำมันและไขมันที่อยู่ในรูปของอิมัลชัน (Emulsion) ที่ประกอบด้วยของเหลวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งปกติจะไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำกับน้ำมัน ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยไม่แยกชั้น ซึ่งอิมัลชันนี้จะไม่ลอยตัวที่ผิวน้ำทำให้ถังดักไขมันไม่สามารถแยกอิมัลชันออกจากน้ำเสียได้ เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ



เติมอากาศ อิมัลชันจะไปห่อหุ้มตะกอนจุลินทรีย์ทำให้ไม่สามารถรับออกซิเจนได้เพียงพอมีผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและลดประสิทธิภาพของบ่อเติมอากาศและเมื่อน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศผ่านมาบ่อตกตะกอนตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกอิมัลชันห่อหุ้มจะลอยอยู่ที่ผิวน้ำทำให้เกิดก๊าซไข่เน่าลอยเหม็นไปทั่วบริเวณทำให้น้ำเสียที่ออกมาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

Micro-bubble⁶ เป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 - 60 ไมครอน ถูกสร้างขึ้นโดยการผสมกันระหว่างน้ำและอากาศทำให้น้ำเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการลอยตัวต่ำและอยู่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นภายในน้ำเนื่องจาก Micro-bubble มีประจุไฟฟ้าลบจึงทำให้ฟองอากาศไม่เกาะติดกันภายในน้ำและกระจายตัวเป็นวงกว้าง โดยไม่สลายหายไปทันที อีกทั้ง Micro-bubble ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบจะถูกทำให้เป็นกลางทางไฟฟ้าผ่านการดูดซับคราบไขมันที่มีประจุไฟฟ้าบวก ทำให้เกิดการแยกตัวของไขมันและไขมันออกจากน้ำเสียได้

การศึกษาของ YANG LU พร้อมคณะ⁷ เรื่อง Research of oily wastewater treatment by micro-bubble flotation experimental device ทดสอบประสิทธิภาพการลอยตัวของไขมันในน้ำเสียด้วยฟองอากาศขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันสามารถเข้าถึงได้สูงกว่า 90%

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้จัดสร้างต้นแบบเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น 1/2 แรงม้า ที่อัตราการให้ฟองอากาศที่ 1 - 2 ลิตรต่อนาที มีอัตราการไหลของน้ำที่ 10 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง และรุ่น 1 แรงม้า ที่อัตราการให้ฟองอากาศที่ 2 - 3 ลิตรต่อนาที มีอัตราการไหลของน้ำที่ 15 - 20 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง จากการทดสอบทั้ง 2 รุ่นพบว่าสามารถสร้างฟองอากาศแบบละเอียดได้เป็นอย่างดีและฟองอากาศแบบละเอียดสามารถคงสภาพอยู่ในน้ำได้นาน 4 - 5 นาที

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการแยกไขมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดในน้ำเสียชุมชนเพื่อเป็นข้อมูลแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ฟองอากาศแบบละเอียดเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นแบบให้ร้านอาหาร ภัตตาคาร ผู้ประกอบการและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ที่ประสบปัญหาด้านการจัดการไขมันในพื้นที่พิจารณานำเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดไปประยุกต์ใช้ในการจัดการน้ำมันและไขมันต่อไป

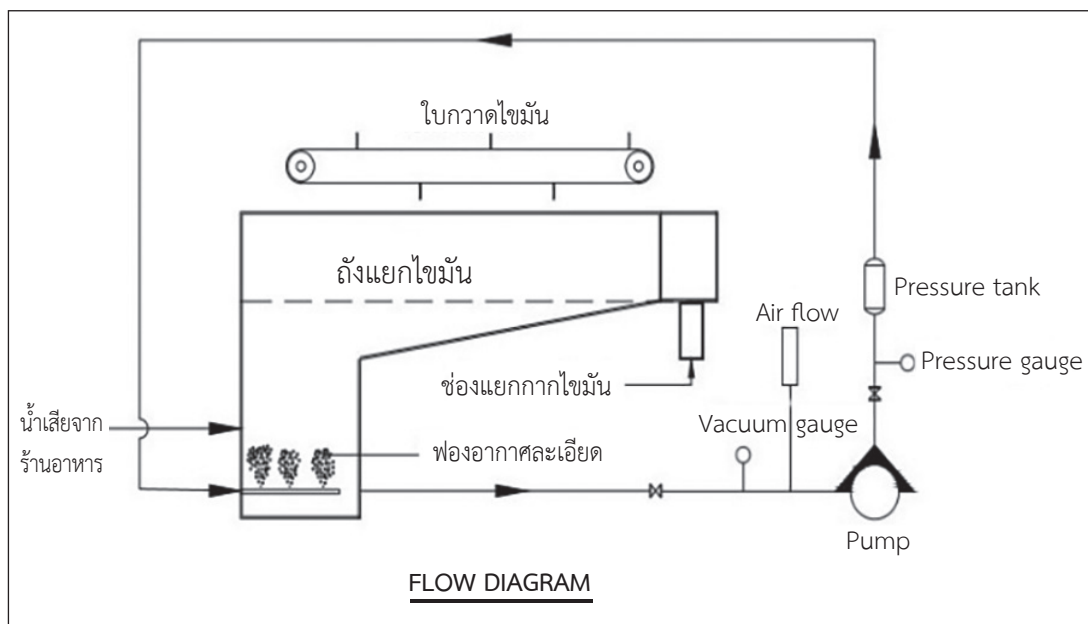
2. วิธีการวิจัย

ในการศึกษาประสิทธิภาพการแยกไขมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนด้วยฟองอากาศแบบละเอียดได้ดำเนินการศึกษาและแยกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

2.1 ทดสอบการแยกไขมันและไขมันในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการลอยตัวตามธรรมชาติและวิธีการแยกตัวของไขมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดในลักษณะทรงสี่เหลี่ยม ต้นแบบถังแยกไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดที่มีโครงสร้างถังขนาดกว้าง 0.60 x สูง 0.80 x ยาว 1.20 เมตร ความจุขนาด 120 ลิตร อัตราการให้ฟองอากาศที่ 2 - 3 ลิตรต่อนาที และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 15 - 20 ลิตรต่อนาที พร้อมด้วยชุดเครื่องกวาดตะกอนไขมันที่ลอยตัวแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 1 ถังแยกไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด



รูปที่ 2 ไตอะแกรมการทำงานของถังแยกไขมัน

การทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันในห้องปฏิบัติการมีขั้นตอนดังนี้

1. นำน้ำมันและไขมันที่ใช้แล้วจากการประกอบอาหารในครัวเรือนมาเทลงในถังแยกไขมันในอัตราส่วน 0.30 ลิตร ต่อ น้ำในถังแยกไขมันที่มีปริมาตรความจุ 120 ลิตร แล้วกวนผสมด้วยเครื่องปั่นมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้เวลาในการกวนผสมประมาณ 10 นาที

2. การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำมันและไขมัน

การทดสอบครั้งที่ 1 ปล่อยให้ไขมันและน้ำมันในถังลอยตัวตามธรรมชาติ โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ นาที ที่ 1 10 20 30 40 50 60 จำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย โดยให้ตัวอย่างน้ำนาทีที่ 1 เป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลอยตัวของน้ำมันและไขมันกับตัวอย่างน้ำ ณ ช่วงเวลาอื่นๆ

การทดสอบครั้งที่ 2 ปล่อยให้ไขมันและน้ำมันในถังลอยตัวด้วยการใช้ฟองอากาศแบบละเอียดโดยเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ นาทีที่ 1 10 20 30 40 50 60 จำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย โดยให้ตัวอย่างน้ำนาทีที่ 1 เป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลอยตัวของน้ำมันและไขมันกับตัวอย่างน้ำ ณ ช่วงเวลาอื่นๆ

2.2 ทดสอบภาคสนามในสภาวะใช้งานจริงจำนวน 3 พื้นที่ในจังหวัดบุรีรัมย์ ภายใต้โครงการวิจัย พัฒนา เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการจัดการมลพิษสิ่งแวดล้อมเมือง ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

2.2.1 การคัดเลือกพื้นที่

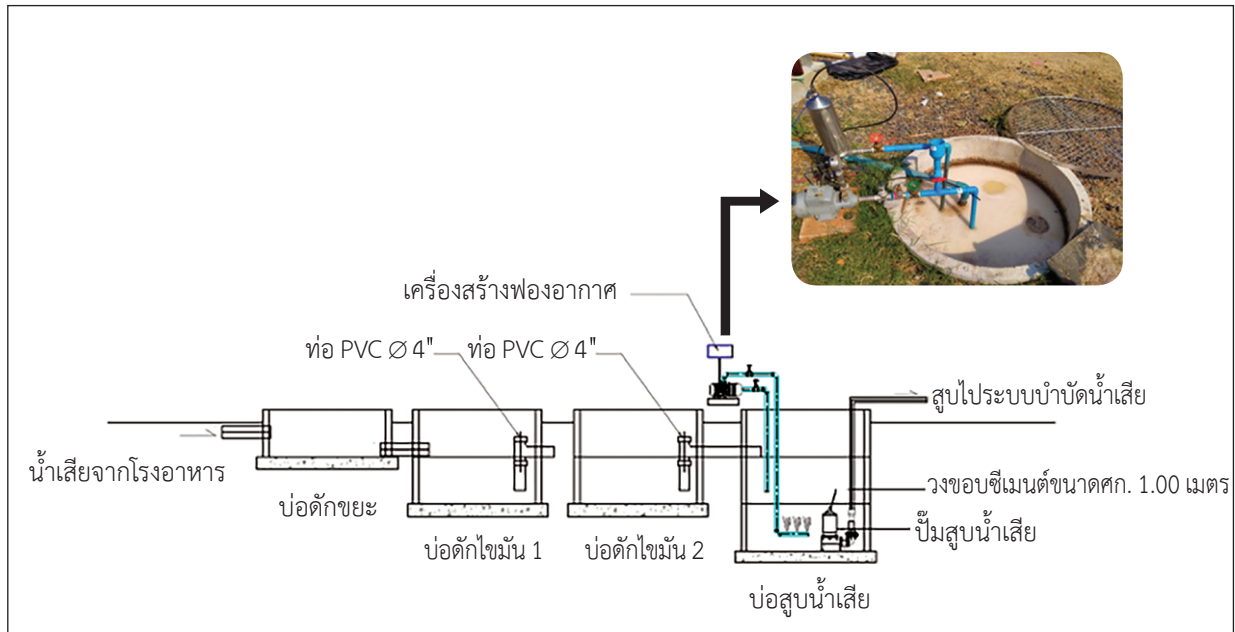
1) บริเวณโรงอาหารโรงเรียนธรรมาทศพิทยาคม อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นพื้นที่ที่ศึกษาวิจัย ร่วมกับโครงการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์เพื่อการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น มีพื้นที่สำหรับการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องสร้าง ฟองอากาศแบบละเอียด มีรางรวบรวมน้ำเสีย มีปริมาณและคุณลักษณะสมบัติของน้ำเสียตามเกณฑ์ที่ต้องการ ทดสอบคือ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากร้านอาหารที่มีทั้งหมด 6 ร้านแต่ละร้านใช้น้ำในการซักล้างประมาณ 300 - 400 ลิตร ประมาณการน้ำเสียทั้งหมดจะเกิดขึ้นประมาณ 2,000 ลิตร/วัน จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียวิเคราะห์ คุณภาพน้ำเบื้องต้นพบว่ามีความสกปรกในรูปของค่า BOD = 1,636 mg/l ค่า SS = 447 mg/l และค่า Fat, oil and Grease = 1,009 mg/l

2) ตลาดสดเทศบาลลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นพื้นที่ที่ศึกษาวิจัยร่วมกับการศึกษาวิจัยการบำบัด น้ำเสียจากตลาดสดเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากมีความพร้อมของบุคลากรของเทศบาลลำปลายมาศ ในการร่วมดำเนินการวิจัย มีพื้นที่สำหรับการทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียและเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด มีระบบรางรวบรวมน้ำเสีย มีปริมาณน้ำเสียที่เหมาะสม และผลจากการเก็บวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้น พบว่า มีความสกปรกในรูปของค่า BOD = 1,827 mg/l ค่า SS = 1,420 mg/l และค่า Fat, oil and Grease = 168 mg/l

3) ตลาดไนท์บาซาร์ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เป็นพื้นที่ที่ศึกษาวิจัยเนื่องจากเป็นตลาดประเภทขายอาหาร สำเร็จรูป อาหารตามสั่งและเครื่องดื่มต่างๆ จากการลงพื้นที่เพื่อสำรวจปัญหาน้ำเสียและไขมันพบว่าน้ำเสียส่วนใหญ่ เกิดจากกระบวนการล้างพื้นตลาด ล้างภาชนะที่มีการปนเปื้อนคราบไขมันและไขมันเป็นจำนวนมากเกิดปัญหา ไขมันอุดตันในแนวท่อระบายน้ำเสียเทศบาลทำให้เทศบาลจะต้องลอกตะกอนไขมันในแนวท่อทุก 2 - 3 เดือน และ สำหรับโครงการวิจัยนี้เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ยินดีให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกเรื่องสถานที่ในการดำเนินการ

2.2.2 การออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบการแยกน้ำมันและไขมันด้วยเครื่องสร้างฟองอากาศ แบบละเอียด

1) น้ำเสียจากโรงอาหารโรงเรียนธรรมาทศพิทยาคมมีคุณลักษณะทางกายภาพที่มีเศษขยะ เศษอาหาร น้ำมันและไขมันจำนวนมาก การทดสอบการแยกน้ำมันและไขมันด้วยเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดมีข้อจำกัด คือ น้ำที่จะนำเข้าไปผสมกับอากาศในการสร้างฟองอากาศแบบละเอียดเพื่อแยกน้ำมันและไขมันนั้นจะต้องไม่มี ตะกอนขนาดใหญ่ หรือเศษอาหารปะปนมาในน้ำเพราะจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบวาล์วควบคุมแรงดันทำให้ ไม่สามารถสร้างฟองอากาศได้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบและติดตั้งบ่อดักขยะจำนวน 1 บ่อ เพื่อแยกขยะเศษอาหาร ออกก่อน บ่อดักไขมันจำนวน 2 บ่อ เพื่อดักเศษตะกอนและไขมันชั้นต้น และบ่อสูบน้ำเสียจำนวน 1 บ่อ โดยใน บ่อสูบน้ำเสียจะติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันขั้น สุดท้าย น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นนี้แล้วจะนำไปบำบัดขั้นที่สองด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ต่อไป



รูปที่ 3 ระบบทดสอบการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดโรงเรียนธรรมาภิบาลวิทยาลัยเกษตรกรรม

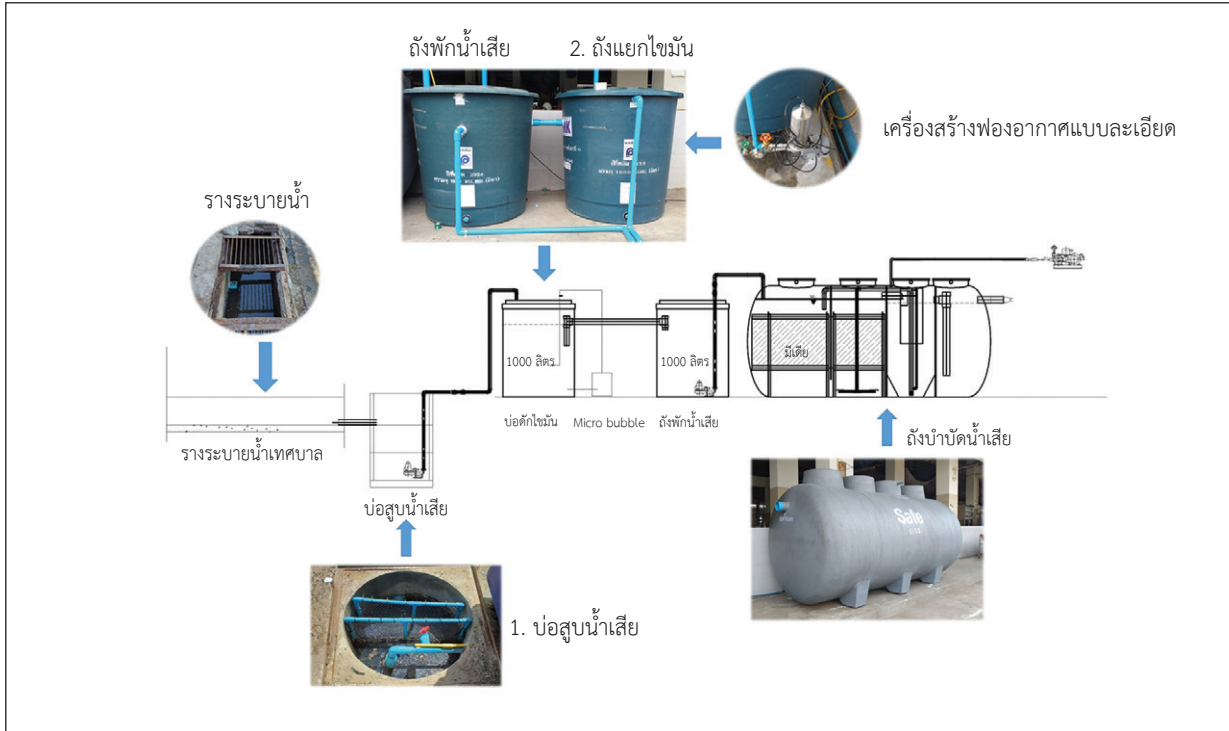
การทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด 1/2 แรงม้า อัตราการให้ฟองอากาศที่ 1 - 2 ลิตรต่อนาที และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 10 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง ในบ่อสูบน้ำเสียเพื่อทำการแยกน้ำมันและไขมันออกก่อนที่จะนำน้ำที่ผ่านการแยกน้ำมันและไขมันแล้วไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ต่อไป การทดสอบการแยกน้ำมันและไขมันนี้เป็นระบบแบบ Manual ทดสอบชั่วคราวร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์เพื่อการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่

การทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาค่าไขมันและไขมัน บริเวณบ่อดักขยะ จำนวน 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำมันและไขมันก่อนการบำบัด
2. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาค่าไขมันและไขมัน บริเวณบ่อสูบน้ำเสียก่อนที่จะเปิดใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด จำนวน 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันโดยวิธีลอยตัวตามธรรมชาติ
3. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาค่าไขมันและไขมัน บริเวณบ่อสูบน้ำเสียหลังจากที่ได้เปิดใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดเป็นเวลา 15 นาที จำนวน 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด

2) ตลาดสดเทศบาลลำปลายมาศมีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 2,400 ตารางเมตร มีน้ำเสียประมาณวันละ 10 ลูกบาศก์เมตร น้ำเสียจะระบายออกทั้งสี่ด้านของตลาดสด โดยในแต่ละด้านจะมีน้ำเสีย ระบายออกประมาณ 2 - 3 ลูกบาศก์เมตร/วัน น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการซักร้างภาชนะต่างๆ และการล้างปลาที่เกิดจากการชำแหละซึ่งจากการสังเกตคุณลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการล้างปลาค่อนข้างมีความสกปรกมาก มีการล้างเลือดปลา ขอดเกล็ดปลา และมีเกล็ดปลาบางส่วนตกลงไปในรางระบายน้ำเทศบาลทำให้เกิดปัญหาการหมักหมมมีกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรค ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศ

แบบละเอียดตลาดสดลำปลายมาศจึงได้ออกแบบเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นซึ่งประกอบไปด้วย 1. บ่อรวบรวม น้ำเสียหรือบ่อสูบน้ำเพื่อรวบรวมน้ำเสียไปยังถังแยกไขมัน ภายในบ่อสูบน้ำได้ทำการติดตั้งตะแกรงคัดแยกเศษขยะและ ก่อเกิดปลาไม่ให้ปะปนเข้าไปในระบบบำบัดน้ำเสีย 2. ถังแยกไขมันที่มีการติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด 1 ชุด เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด รายละเอียดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบบำบัดน้ำเสียตลาดสด

การทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด 1 แรงม้า อัตราการให้ฟองอากาศที่ 2 - 3 ลิตรต่อนาที และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 15 - 20 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง ในถังแยกไขมันที่มีขนาด 1,000 ลิตร เพื่อทำการแยกน้ำมันและไขมันออกก่อนที่จะนำน้ำที่ผ่านการแยกน้ำมันและไขมันแล้วไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป การทดสอบด้วยเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดนี้เป็นระบบแบบกึ่ง Auto-Manual ตั้งเวลาให้ทำงานพร้อมกับเครื่องสูบน้ำเสียจากบ่อสูบน้ำเสีย ติดตั้งแบบถาวรร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังสำเร็จรูปเพื่อการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ การทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาค่าไขมันและไขมันบริเวณบ่อสูบน้ำเสีย จำนวน 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำมันและไขมันก่อนการบำบัด
2. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาค่าไขมันและไขมันบริเวณถังพักน้ำเสียก่อนที่จะสูบส่งไปยังถังบำบัดสำเร็จรูป จำนวน 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด



รูปที่ 5 ติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดในถังแยกไขมัน

2.2.3 ตลาดไนท์บาซาร์เทศบาลเมืองบุรีรัมย์

ตลาดไนท์บาซาร์เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ มีพื้นที่ประมาณ 3,500 ตารางเมตร เปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 11.00 - 05.00 น. ทุกวัน จากการประเมินน้ำเสียที่เกิดขึ้นในตลาดไนท์บาซาร์และพื้นที่โดยรอบมีน้ำเสียประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบติดตั้งถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติ Automatic ขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 3.0 เมตร สูง 1.50 เมตร ภายในติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด 1 แรงม้า ที่อัตราการสร้างฟองที่ 2 - 3 ลิตรต่อนาที จำนวน 2 ชุด พร้อมด้วยชุดใบกวาดตะกอนที่มีขนาดกำลังขับ 0.5 แรงม้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับควบคุม ซึ่งถังแยกไขมันแบบอัตโนมัตินี้ออกแบบมาสำหรับการแยกน้ำมันและไขมันที่มีอัตราไหลของน้ำเสียไม่น้อยกว่า 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

การทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกบ่อกักน้ำเสียบริเวณลานจอดรถข้างตลาดไนท์บาซาร์ซึ่งเป็นบ่อกักที่รวบรวมน้ำเสียในตลาดและบริเวณข้างเคียงเพื่อไปยังบ่อสูบน้ำเสียของเทศบาล เป็นบ่อสำหรับนำน้ำเสียขึ้นมาแยกไขมัน โดยภายในบ่อกักน้ำเสียเทศบาลได้นำกระสอบทรายมาวางกั้นลักษณะเป็นสันฝายเพื่อเก็บกักน้ำไม่ให้ไหลออกไป เพื่อประโยชน์ในการนำน้ำขึ้นมาแยกไขมัน

2. ติดตั้งเครื่องสูบน้ำเสียในบ่อกักน้ำเสียเทศบาลเมืองบุรีรัมย์จำนวน 1 เครื่อง เพื่อสูบส่งน้ำเสียไปยังถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติ

3. ในถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติจะติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด 2 เครื่องเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันจากนั้นน้ำที่ผ่านการแยกไขมันแล้วจะระบายลงท่อรวบรวมน้ำเสียเทศบาลเพื่อนำไประบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

4. เก็บตัวอย่างน้ำเข้าบริเวณบ่อกักน้ำเสีย 3 ครั้งและเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติในถัง 3 ครั้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกไขมันก่อนและหลัง



รูปที่ 6 ถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติติดตั้งบริเวณลานจอดรถตลาดไนท์บาซาร์

2.3 การคิดต้นทุนและค่าใช้จ่าย ในการติดตั้งและทดสอบของเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด มีค่าใช้จ่าย จำแนกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

2.3.1 ค่าจัดทำเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียด

1) เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด ½ แรงม้า อัตราการให้ฟองอากาศที่ 1 - 2 ลิตรต่อนาที และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 10 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง ราคา 23,000 บาท

2) เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด 1 แรงม้า อัตราการให้ฟองอากาศที่ 2 - 3 ลิตรต่อนาที และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 15 - 20 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง ราคา 30,000 บาท

3) ถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 3.0 เมตร สูง 1.50 เมตร ติดตั้งเครื่องสร้างฟองอากาศขนาด 1 แรงม้า ที่อัตราการสร้างฟองที่ไม่น้อยกว่า 2 - 3 ลิตรต่อนาที จำนวน 2 ชุด พร้อมด้วยชุดไบกวาดตะกอนที่มีขนาดกำลังขับ 0.5 แรงม้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับควบคุม สามารถแยกไขมันได้ที่มีอัตราไหลของน้ำเสียไม่น้อยกว่า 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ราคา 350,000 บาท

2.3.2 ค่าไฟฟ้าสำหรับเดินระบบ

1) เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด ½ แรงม้า กำลัง 400 วัตต์ สมมุติค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.6 บาท จะใช้ไฟฟ้าชั่วโมงละ $(400 \times 3.6) / 1000 = 1.42$ บาท

2) เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดขนาด 1 แรงม้า กำลัง 750 วัตต์ สมมุติค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.6 บาท จะใช้ไฟฟ้าชั่วโมงละ $(750 \times 3.6) / 1000 = 2.70$ บาท

3) ถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติขนาด 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สมมุติค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.6 บาท เครื่องแยกไขมันจะใช้ไฟฟ้าชั่วโมงละ = 6.82 บาท

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการลอยตัวตามธรรมชาติ และวิธีการแยกตัวของน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด

วิธีการทดสอบ	ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมัน %					
	นาทีที่ 10	นาทีที่ 20	นาทีที่ 30	นาทีที่ 40	นาทีที่ 50	นาทีที่ 60
1. การลอยตัวของไขมันตามธรรมชาติ	22.68	59.58	54.95	63.41	58.14	59.1
2. การลอยตัวของไขมันโดยใช้ฟองอากาศแบบละเอียด	89.67	90.23	90.36	91.48	91.27	91.48

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการลอยตัวของไขมันตามธรรมชาติเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที พบว่าประสิทธิภาพการลอยตัวของไขมันอยู่ที่ร้อยละ 59.1% ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับบ้านเรือน ประสิทธิภาพของบ่อดักไขมันอยู่ที่ร้อยละ 60 ส่วนการลอยตัวของไขมันโดยใช้ฟองอากาศแบบละเอียดประสิทธิภาพการลอยตัวของไขมันอยู่ที่ร้อยละ 89.67% ตั้งแต่นาทีที่ 10 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกไขมันสูงกว่าและเร็วกว่าการลอยตัวของไขมันตามธรรมชาติ

3.2 จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดภาคสนามกับน้ำเสียโรงอาหารโรงเรียนธรรมาภิบาล ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, oil and Grease) น้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ มีค่าเฉลี่ยที่ 1,009.5 mg/l น้ำเสียจากบ่อดักก่อนการเปิดใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดมีค่าเฉลี่ย 127 mg/l น้ำเสียจากบ่อดักที่ผ่านเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดแล้วมีค่าเฉลี่ยที่ 18 mg/l เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันในบ่อดักก่อนและหลังการใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดคิดเป็นร้อยละ 85.82

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดภาคสนามกับน้ำเสียตลาดสดเทศบาลลำปลายมาศ ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, oil and Grease) น้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ มีค่าเฉลี่ยที่ 30.75 mg/l น้ำเสียที่ผ่านเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดแล้วมีค่าเฉลี่ยที่ 3.8 mg/l เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันก่อนและหลังการใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดคิดเป็นร้อยละ 87.64

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำมันและไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียดภาคสนามกับน้ำเสียตลาดไนท์บาซาร์เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, oil and Grease) น้ำเสียก่อนเข้าถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติมีค่าเฉลี่ยที่ 17.6 mg/l น้ำเสียที่ผ่านถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติแล้วมีค่าเฉลี่ยที่ 4.6 mg/l เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันและไขมันก่อนและหลังการใช้ถังแยกไขมันแบบอัตโนมัติคิดเป็นร้อยละ 73.86

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

4.1.1 เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดเป็นเครื่องที่มีการประยุกต์ใช้จากปั๊มสูบน้ำแบบหยอโข่ง Centrifugal Pump ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด นำมาดัดแปลงให้มีอากาศสามารถเข้าไปในห้องใบพัดสูบน้ำได้ โดยต้องควบคุมปริมาณอากาศ ปรับความดันที่เหมาะสมจึงจะสามารถสร้างฟองอากาศแบบละเอียดได้ ผู้ใช้งานจะต้องมีความชำนาญและเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องเป็นอย่างดีจึงจะสามารถควบคุมดูแลเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดได้

4.1.2 การเดินระบบเครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดจะต้องระมัดระวังอย่าให้มีเศษขยะหรือตะกอนที่มีขนาดใหญ่เข้าไปติดที่วาล์วควบคุมแรงดันหรือในห้องใบพัด เพราะเศษขยะเหล่านี้จะทำให้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดไม่สามารถสร้างฟองอากาศได้

4.1.3 การใช้ฟองอากาศแบบละเอียดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกไขมันได้เป็นอย่างดี ซึ่งกลไกการแยกไขมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด ด้วยคุณลักษณะของฟองอากาศที่มีขนาดเล็กมากๆ จึงทำให้อัตราการลอยตัวต่ำหรือว่ามีระยะเวลาอยู่ในน้ำนานขึ้น และนอกจากนี้ ฟองอากาศขนาดเล็กมากๆ นี้ยังมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ในขณะที่ไขมันมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก จึงทำให้ทั้งสองส่วนนี้ดึงดูดซึ่งกันเพื่อปรับสภาพให้เป็นกลางทางไฟฟ้า แล้วลอยขึ้นด้านบนของถังแยกไขมัน โดยกลไกนี้จะสามารถลดความสกปรกของไขมันได้ดี

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การกำจัดไขมันและตะกอนลอยที่เกิดขึ้นจากส่วนแยกไขมันในโรงเรียนธารทองพิทยาคมและตลาดสดเทศบาลลำปลายมาศปัจจุบันนั้น ทำได้โดยการใช้แรงงานคนเท่านั้น ทำให้บางครั้งผู้ที่รับผิดชอบไม่สะดวกหรือลืมนำไขมันที่ตะกอนลอยสะสมในถังและบางส่วนจะผ่านไปยังระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดตั้งระบบกวาดตะกอนลอยอัตโนมัติ หรือระบบอื่นๆ ที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้อีก

4.2.2 การประยุกต์ใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดในการแยกน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียชุมชนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกไขมันให้สูงขึ้น เร็วขึ้นกว่าถังตกไขมันที่ใช้วิธีการลอยตัวตามธรรมชาติ ลดกลิ่นเหม็นจากการใช้บ่อดักไขมันแบบเดิมๆ เหมาะสำหรับร้านอาหาร ภัตตาคาร ตลาดสด ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง ที่มีข้อจำกัดด้านการใช้พื้นที่และพนักงานที่จะต้องคอยดูแลบำรุงรักษาถังตกไขมัน การใช้เครื่องสร้างฟองอากาศแบบละเอียดในการแยกไขมันจะใช้พื้นที่น้อยกว่าติดตั้งถังตกไขมันทั่วไป ค่าใช้จ่ายในการลงทุนไม่สูงมาก ซึ่งควรนำไปขยายผลยังพื้นที่ต่างๆ เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนน้ำมันและไขมันในแหล่งน้ำธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดบุรีรัมย์ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนข้อมูลและการประสานงานต่างๆ รวมทั้งโรงเรียนธารทองพิทยาคม สำนักงานเทศบาลตำบลลำปลายมาศ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ ที่อนุเคราะห์สถานที่สำหรับการติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพการแยกไขมันและน้ำมันด้วยฟองอากาศแบบละเอียด ทำให้การศึกษาแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือแนวทางการจัดการไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2551 [เข้าถึงเมื่อ 16 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/publication/4391>
2. กรมควบคุมมลพิษ. บ่อดักไขมัน (Grease Trap) [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2551 [เข้าถึงเมื่อ 18 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <http://cac.pcd.go.th/index.php/ourservices/2017-02-05-14-04-09/2017-06-30-02-49-14/195-grease-trap>
3. บริษัท อาควา นิซิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น จำกัด. ถังตกไขมัน Oily Wastewater Treatment [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: บริษัท อาควา นิซิฮาร่า คอร์ปอเรชั่น จำกัด; 2564 [เข้าถึงเมื่อ 9 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.aqua.co.th/ถังตกไขมัน>

4. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือแนวทางการจัดการไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2551 [เข้าถึงเมื่อ 16 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/publication/4391>
5. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยตัวเอง [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2558 [เข้าถึงเมื่อ 10 มีนาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://cac.pcd.go.th/images/ptechResource/PublishDoc/2558-CAC_treatment/CAC_manual-58.pdf
6. บริษัท ไทยนิตโต เซโก แมชชีนเนอรี จำกัด. อุปกรณ์ล้างทำความสะอาดแบบ Micro-bubble สำหรับงานภาคอุตสาหกรรม [อินเทอร์เน็ต]. ปทุมธานี: บริษัท ไทยนิตโต เซโก แมชชีนเนอรี จำกัด; 2564 [เข้าถึงเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.smri.asia/th/nitto/news/2186/>
7. Lu Y, Zhang F, Zhang Y, Hu K, Wang S. Research of oily wastewater treatment by micro-bubble flotation experimental device: 2016 International Field Exploration and Development Conference (IFEDC) [Internet]. Beijing: Institution of engineering and technology; 2016 [cited 2021 Mar 22]. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8089482/proceeding>



ประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย
เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภาคการเกษตร

Removal efficiency of microbial contamination in municipal wastewater
treatment plant of Thailand for agricultural reuse

จิตติมา จารุเดชา* สุเทียบ ศรีลาชัย ชวลา เสี่ยงล้ำ อนุพงษ์ ปุณโณทก ขนิษฐา เกรียงไกร
พินทุสร อึ้งสุวรรณ นริศนีย์ นวลไม้ ปัญญา ไยถาวร

Chittima Charudacha*, Sutiab Srilachai, Chawala Sienglum, Anupong Poonnotok,
Kanitha Kriangkrai, Pintusorn Ouengsuwan, Narissanee Naulmai, Panja Yaithavorn

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: jjarudacha@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน จำนวนทั้งสิ้น 105 แห่ง สามารถรองรับน้ำเสียได้ 3.27 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน หากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในภาคเกษตรได้ก็จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำได้ แต่เนื่องจากน้ำผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ได้ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย เพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภาคการเกษตร เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนให้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในภาคเกษตรกรรม ได้จุลินทรีย์ชี้แนะที่ชี้แสดงถึงการก่อโรคในน้ำเสีย ได้แก่ Total Coliform และ E. coli โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน จำนวน 27 แห่ง ซึ่งเป็นตัวแทนระบบ 4 ประเภทหลัก คือ ระบบบำบัดปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบคลองวนเวียน และระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ จำนวน 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจุลินทรีย์ชี้แนะ Total Coliform และ E. coli ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบำบัดปรับเสถียร เฉลี่ย 96.26% และ 99.32% ระบบสระเติมอากาศ เฉลี่ย 98.96% และ 99.84% ระบบคลองวนเวียน เฉลี่ย 87.63% และ 93.69% และระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ เฉลี่ย 90.58% และ 92.71% และมีค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดปรับเสถียร สระเติมอากาศ คลองวนเวียน และแอกติเวเตดสลัดจ์ เฉลี่ย 2.53 12.54 12.93 และ 13.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ของกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดไว้ที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับไปใช้ใหม่ในการเกษตรกำหนดค่า E. coli ที่ 20 cfu/100 ml. พบว่า น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบำบัดปรับเสถียร และสระเติมอากาศ มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำกลับไปใช้ในการเกษตรมากกว่าระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ และคลองวนเวียนที่อาจจะต้องมีการเพิ่มเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน ยูวี หรือคลอรีน ก่อนนำน้ำไปใช้ใหม่ เพื่อความปลอดภัยของประชาชน

คำสำคัญ : เชื้อจุลินทรีย์ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ภาคการเกษตร

Abstract

In Thailand, there were about 105 Municipal Wastewater Treatment Plants which could receive wastewater at about 3.27 million cubic meters per day. Treated waste water can be reuse for agricultural purposes, so it can solve issues related to water shortage. However, treated wastewater may contain various microorganisms that can cause human diseases. This research was conducted to study the removal efficiency of microbial contamination in municipal wastewater treatment plant in Thailand for agricultural reuse. Most microorganisms identified in wastewater were Total Coliform and E. coli. This study selected 27 municipal wastewater treatment plants to represent of 4 main types of wastewater treatment plants in Thailand such as stabilization pond, aeration pond, oxidation pond and activated sludge. Wastewater samples were collected for 3 periods, and were analyzed for indicator bacteria such as Total coliform and E. coli. The results of the study revealed that average removal of Total coliform and E. coli from the stabilization pond were 96.26% and 99.32%, the aeration pond were 98.96% and 99.84%, the oxidation pond were 87.63% and 93.69% and activated sludge were 90.58% and 92.71%. The average BOD of wastewater effluents of the stabilization pond, aeration pond, oxidation pond and activated sludge were 2.53, 12.54, 12.93 and 13.83 mg/l. respectively and all the values were within the effluent standards for municipal wastewater treatment plant issued by PCD that was set to 20 mg/l. The Water quality standards for E. coli for Agricultural reuse should be lower than 20 cfu/100 ml. The results from this study revealed that the water quality from treated water of stabilization pond and aeration pond were suitable for agricultural reuse while the water quality of the treated water in the activated sludge and oxidation pond showed poor quality. Therefore, the wastewater from the activated sludge and oxidation pond needs further disinfection technology such as ozone, ultraviolet or chlorination before water reuse water to save public health.

Keywords : bacteria, municipal wastewater treatment, wastewater reuse, agricultural

1. บทนำ

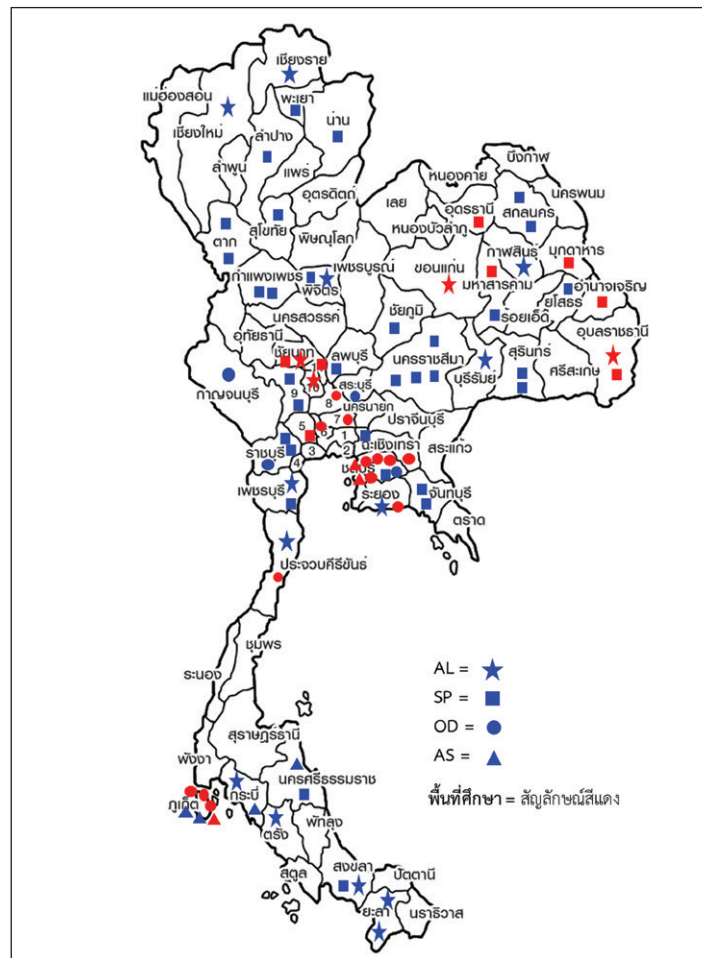
ประเทศไทยมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน จำนวนทั้งสิ้น 105 แห่ง สามารถรองรับน้ำเสียได้ 3.27 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถแบ่งตามประเภทของระบบได้ 5 ประเภทหลัก คือ ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond; SP) จำนวน 47 แห่ง ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon; AL) จำนวน 17 แห่ง ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge; AS) จำนวน 39 แห่ง ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland; CW) จำนวน 1 แห่ง และระบบแผ่นหมุนเวียน (Rotating Biological Contactor; RBC) จำนวน 1 แห่ง พบว่ามีระบบบำบัดน้ำเสียที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและเดินระบบ จำนวน 95 แห่ง¹ จะพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลต่างๆ มีปริมาณน้ำมาก และมีปริมาณธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เหลืออยู่ในน้ำ ส่งผลให้พืชที่เพาะปลูกด้วยน้ำดังกล่าวมีการเจริญเติบโตที่ดี ลดการใช้ปุ๋ยเคมี แต่น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย ไวรัส และโปรโตซัว เป็นองค์ประกอบ³ ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ อีกทั้งประเทศไทยยังไม่มีค่ามาตรฐานของจุลินทรีย์ชี้แนะ ได้แก่ ค่าจุลินทรีย์ทั้งหมด ค่าอีโคไล จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เพราะมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรมควบคุมมลพิษ มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบบำบัด



น้ำเสียชุมชนเพียง 6 พารามิเตอร์เท่านั้น คือ ความเป็นกรดและด่าง บีโอดี ของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมัน ฟอสฟอรัสทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมด เท่านั้น⁴ ดังนั้นการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ใหม่ในการเกษตรอาจไม่เหมาะสม มีอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน จึงควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภาคการเกษตรเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ว่ามีคุณภาพ มีความเหมาะสม และปลอดภัยต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในการเกษตรของเกษตรกร และเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในภาคเกษตรกรรม ในพื้นที่ขาดแคลนน้ำหรือในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อันจะส่งผลให้เกิดการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำและสร้างความมั่นใจต่อเกษตรกรผู้ใช้น้ำต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ดำเนินงานคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและเดินระบบจำนวน 95 แห่ง โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลักที่มีการใช้งานจำนวนมากในประเทศไทย โดยคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเพื่อเป็นตัวแทนของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในแต่ละประเภท ดังนี้ ระบบบ่อปรับเสถียร (SP)* จำนวน 8 แห่ง ระบบสระเติมอากาศ (AL)* จำนวน 4 แห่ง ระบบคลองวนเวียน (OD) จำนวน 13 แห่ง และระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (AS) จำนวน 3 แห่ง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานใน 3 ขั้นตอน คือ การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัวอย่าง และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 (* มีระบบบำบัดน้ำเสีย 1 แห่งที่มีทั้งระบบบ่อปรับเสถียรและระบบสระเติมอากาศ)



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

2.1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้ง 4 ประเภทหลัก โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำแห่งละ 3 ครั้ง เพื่อเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำในแต่ละฤดูกาล โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดเสถียรและระบบสระเติมอากาศ ในปีที่ 1 และเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์และระบบคลองวนเวียน ปีที่ 2

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่เข้าระบบ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จำนวน 3 ครั้ง โดยมีระยะเวลาห่างกันทุก 3 เดือน ตัวอย่างที่เก็บแล้วจะทำการวิเคราะห์ ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยดัชนีที่วิเคราะห์ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์พื้นฐานกลุ่ม ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) และ ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid : SS) และพารามิเตอร์กลุ่มธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนเตรต (Nitrate : NO_3^-) โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater⁶ ส่วนการวิเคราะห์ในภาคสนาม ดัชนีที่วิเคราะห์ประกอบ ค่าออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำ (Dissolved oxygen: DO) (YSI Pro 20, USA) และวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) อุณหภูมิ การนำไฟฟ้าและค่าของความเค็ม ด้วยหัวรวมวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (YSI 60, USA)

2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางชีวภาพ

วิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ ที่ก่อให้เกิดโรค จำนวน 2 ชนิด คือ Total coliform และ Escherichia coli จากตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้ง 27 แห่ง วิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะด้วยชุดทดสอบ โคลิฟอร์มและอีโคไลในน้ำ (Test Kit Microbial "Compact Dry EC" for E.coli and Coliform) ที่ได้มาตรฐาน AOAC (PTM) : No.081001 และ Microval : No.2008 - LR14 ซึ่งตัวอย่างน้ำที่เก็บมาได้จะนำมาทำการเจือจางในปริมาณ 10 เท่า จำนวน 3 ซ้ำ นำน้ำตัวอย่างเจือจางที่ได้ 1 มิลลิลิตร ไปเทใส่ในจานเพาะเชื้อของชุดทดสอบ โคลิฟอร์มและอีโคไลในน้ำ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 33 - 37 องศาเซลเซียส ครบ 20 - 24 ชั่วโมงแล้วจะทำการตรวจสอบผล ถ้ามีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จะมีจุดสีปรากฏให้เห็นคัดเลือกระดับการเจือจางที่มีโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้ออยู่ระหว่าง 20 - 200 โคโลนี และนำจำนวนโคโลนีที่นับได้ทั้ง 3 ซ้ำ มาหาค่าเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่พบในระดับการเจือจางนั้นๆ แล้วคำนวณเป็นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบเป็น CFU/ 1 มิลลิลิตร

2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละระบบ

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัดแต่ละประเภทเทียบกับแนวทางเกณฑ์การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย² เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความปลอดภัยต่อเกษตรกรผู้ใช้น้ำ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลคุณภาพน้ำทางเคมี

ค่าบีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ประเภทหลัก คือ ระบบบำบัดเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบคลองวนเวียน และระบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า

ระบบบำบัดเสถียรทั้ง 8 แห่ง ได้แก่ ของนครอุดรธานี เมืองอำนาจเจริญ เมืองวารินชำราบ เมืองมุกดาหาร เมืองมหาสารคาม นครนครปฐม เมืองสิงห์บุรี และเมืองชัยนาท มีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 27.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7.56 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกระบบมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 5.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.28 มิลลิกรัมต่อลิตร



ระบบสระเติมอากาศทั้ง 4 แห่ง ของนครขอนแก่น นครอุบลราชธานี เมืองอ่างทอง และเมืองชัยนาท มีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 24.92 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 19.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกระบบมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 19.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 8.80 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระบบคลองวนเวียนทั้ง 13 แห่ง ของนครนนทบุรี เมืองปทุมธานี นครพระนครศรีอยุธยา เมืองหัวหิน นครภูเก็ต เมืองกะทู้ เมืองป่าตอง เมืองฉะเชิงเทรา อบจ. ชลบุรี เมืองแสนสุขเหนือ* เมืองแสนสุขใต้* นครแหลมฉบัง และตำบลบ้านเพ มีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 101.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 14.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกระบบมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 20.72 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.49 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ทั้ง 3 แห่ง ของเมืองพัทยา (เหนือ) เมืองพัทยาใต้ และตำบลกระรน มีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเข้าระบบมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 36.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกระบบมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 16.65 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 12.09 มิลลิกรัมต่อลิตร

และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ของกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดไว้ที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ประเภท ผ่านค่ามาตรฐานฯ ดังกล่าว

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีของระบบบำบัดชนิดต่างๆ กับค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง

ประเภทระบบบำบัด	ค่าบีโอดีเฉลี่ยน้ำเข้าสู่ระบบ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (มก.ต่อ ล.)	ค่าบีโอดีเฉลี่ยน้ำออกจากระบบ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (มก.ต่อ ล.)	ค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (มก.ต่อ ล.)
บ่อปรับเสถียร	27.68 - 7.56	5.48 - 1.28	20
สระเติมอากาศ	24.92 - 19.54	19.12 - 8.80	20
คลองวนเวียน	101.35 - 14.78	20.72 - 1.49	20
แอ็กติเวเต็ดสลัดจ์	36.80 - 15.60	16.65 - 12.09	20

3.2 ผลคุณภาพน้ำทางชีววิทยา

ผลคุณภาพน้ำทางชีววิทยาในรูปของจุลินทรีย์ซีเนาะ พวก TC. และ EC. ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ทั้ง 4 ประเภทหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ซีเนาะ พวก TC. และ EC. ของระบบบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ

ประเภทระบบบำบัด	ค่า TC. เฉลี่ยน้ำเข้าระบบ	ค่า TC. เฉลี่ยน้ำออกระบบ	ค่า EC. เฉลี่ยน้ำเข้าระบบ	ค่า EC. เฉลี่ยน้ำออกระบบ
	ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (CFU/1ml)	ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (CFU/1ml)	ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (CFU/1ml)	ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (CFU/1ml)
บ่อปรับเสถียร	540,556 - 4,489	9,938 - 154	42,152 - 292	67 - 0
สระเติมอากาศ	268,533 - 49,567	1,424 - 273	24,117 - 3,161	16 - 1
คลองวนเวียน	492,556 - 202	8,200 - 48	26,633 - 47	1,513 - 6
แอ็กติเวเต็ดสลัดจ์	88,778 - 30,844	6,871 - 2,739	35,267 - 5,593	1,990 - 305

ผลคุณภาพน้ำของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ พวก TC. และ EC. ของระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 8 แห่ง พบว่า มีการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 540,556 CFU/ml. และ 4,489 CFU/ml. และการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 9,938 CFU/ml. และ 154 CFU/ml. ส่วน การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ EC. เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 42,152 CFU/ml. และ 292 CFU/ml. และการปนเปื้อน EC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 67 CFU/ml. และ 0 CFU/ml.

จากผลการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะทั้ง TC. และ EC. ของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 8 แห่ง จะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียแต่ละแห่งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยในการบำบัดที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะของระบบบ่อปรับเสถียร ได้แก่ การสัมผัสแสงแดด อุณหภูมิของน้ำ pH ระยะเวลาในการกักเก็บ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของบ่อ ความลึกของบ่อ จำนวนบ่อที่ต่อกันในอนุกรม ความปั่นป่วนของการไหล การสะสมของตะกอน และปริมาณสารอินทรีย์ เป็นต้น ระบบบำบัดบ่อปรับเสถียรที่จะมีค่าการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะได้ดีนั้น ระบบจะต้องมีสภาวะที่มีการสัมผัสแสงแดดสูง อุณหภูมิของน้ำสูง pH สูง มีระยะเวลาในการกักเก็บนาน อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของบ่อสูง ความลึกของบ่อต่ำ มีความลึกไม่เกิน 1 เมตร จำนวนบ่อที่ต่อกันในอนุกรมยิ่งมีมากยิ่งดี ความปั่นป่วนของการไหลสูง การสะสมของตะกอนต่ำ และปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ⁹ เป็นต้น

ผลคุณภาพน้ำของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ พวก TC. และ EC. ของระบบสระเติมอากาศทั้ง 4 แห่ง พบว่า มีการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 268,533 CFU/ml. และ 49,567 CFU/ml. และการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1,424 CFU/ml. และ 273 CFU/ml. ส่วน การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ EC. เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 24,117 CFU/ml. และ 3,161 CFU/ml. และการปนเปื้อน EC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 16 CFU/ml. และ 1 CFU/ml. เนื่องจากระบบสระเติมอากาศมีรูปแบบระบบบำบัดเหมือนกับระบบบ่อปรับเสถียร จึงมีค่าผลการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะทั้งสองชนิดใกล้เคียงกัน

ผลคุณภาพน้ำของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ พวก TC. และ EC. ของระบบคลองวนเวียนทั้ง 13 แห่ง พบว่า มีการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 492,556 CFU/ml. และ 202 CFU/ml. และการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 8,200 CFU/ml. และ 48 CFU/ml. ส่วน การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ EC. เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 26,633 CFU/ml. และ 47 CFU/ml. และการปนเปื้อน EC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1,513 CFU/ml. และ 6 CFU/ml. จะเห็นได้ว่าระบบคลองวนเวียนทั้ง 13 แห่ง จะมีค่าการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะแตกต่างกัน เนื่องจากมีปัจจัยต่าง ได้แก่ ปริมาณเชื้อโรค ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ระยะเวลาที่กักเก็บ การออกแบบ การไหลของน้ำ จุลินทรีย์ผู้ล่า ความเป็นกรด - ด่าง และค่าของแข็งแขวนลอย เป็นต้น⁷ ระบบคลองวนเวียนถือว่าเป็นระบบบำบัดแบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ประเภทหนึ่ง

ผลคุณภาพน้ำของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ พวก TC. และ EC. ของระบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ทั้ง 3 แห่ง พบว่า มีการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 88,778 CFU/ml. และ 30,844 CFU/ml. และการปนเปื้อน TC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 6,871 CFU/ml. และ 2,739 CFU/ml. ส่วนการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะ EC. เฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบ โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 35,267 CFU/ml. และ 5,593 CFU/ml. และการปนเปื้อน EC. เฉลี่ยของน้ำออกระบบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1,990 CFU/ml. และ 305 CFU/ml. จะเห็นได้ว่าระบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ ทั้ง 3 แห่ง จะมีค่าการบำบัดที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับระบบคลองวนเวียน เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อผลการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ซีแวนะเช่นเดียวกับระบบคลองวนเวียน

3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดทางชีวภาพ

ประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. ของระบบบำบัดทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ บ่อปรับเสถียร สระเติมอากาศ คลองวนเวียน และแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ มีค่าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า

ระบบบ่อปรับเสถียรทั้ง 8 แห่ง มีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 99.77 และ 84.05 และมีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ EC. มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 100 และ 95.69 ซึ่งระบบที่มีค่าประสิทธิภาพการบำบัด TC. และ EC. ต่ำสุดเนื่องจากปริมาณน้ำที่เข้าระบบมากกว่าความสามารถในการรองรับน้ำเสียได้ จึงทำให้ระยะเวลาในการบำบัดลดลง จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าที่อื่นๆ

ตารางที่ 3 แสดงผลปริมาณประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. ของระบบบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ

ประเภทระบบบำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัดชี้แนะ TC. ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการบำบัดชี้แนะ EC. ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (ร้อยละ)
บ่อปรับเสถียร	99.77 - 84.05	100 - 95.69
สระเติมอากาศ	99.90 - 97.13	100 - 99.50
คลองวนเวียน	99.72 - 21.98	99.89 - 86.63
แอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์	94.00 - 86.62	94.86 - 88.72

ระบบสระเติมอากาศทั้ง 4 แห่ง มีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. มากกว่าร้อยละ 97 และมีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ EC. มากกว่าร้อยละ 99

ระบบคลองวนเวียนทั้ง 13 แห่ง ส่วนมากมีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. มากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้น 2 แห่ง เนื่องจากมีการปิดซ่อมแซมอุปกรณ์ภายในระบบบางส่วน ทำให้การทำงานของระบบไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง และอีก 1 แห่ง พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการบำบัด TC. ต่ำซึ่งค่าเพียงร้อยละ 21 เนื่องจากระบบบำบัดตั้งอยู่ห่างจากตัวเมืองและมีปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบน้อย ทำให้น้ำที่เข้าระบบมีความสกปรกน้อย จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าต่ำ

ระบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ ทั้ง 3 แห่ง มีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ พวก TC. และ EC. มีค่ามากกว่าร้อยละ 86 และ 88

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. เฉลี่ยของทั้ง 4 ระบบพบว่าระบบบ่อปรับเสถียร สระเติมอากาศ มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. เฉลี่ยสูงกว่าคลองวนเวียน และแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะเฉลี่ยของระบบบำบัดชนิดต่างๆ

ประเภทระบบบำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด Total coliform (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการบำบัด E. coli (ร้อยละ)
บ่อปรับเสถียร	96.26	99.32
สระเติมอากาศ	98.96	99.84
คลองวนเวียน	87.63	93.69
แอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์	90.58	92.71

3.4 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมดกับแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย โดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

จากตารางที่ 5 ได้ทำการเปรียบเทียบผลคุณภาพน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 ระบบกับค่าแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย โดย กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (สส.)² ในพารามิเตอร์ บีโอดี และฟิโคลโคลิฟอร์ม (คือค่า EC.) พบว่า ระบบบ่อสระเติมอากาศและระบบบ่อปรับเสถียรสามารถนำไปใช้ปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหารที่รับประทานผลหรือเมล็ด ส่วนระบบคลองวนเวียนและระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ ควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยโอโซนหรือคลอรีน ก่อนนำกลับไปใช้ใหม่สำหรับพืชที่ไม่ได้ใช้เป็นอาหาร

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมดกับแนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

ประเภทระบบบำบัด	แนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย				
	ดัชนี (หน่วย)	พืชที่ใช้เป็นอาหาร		พืชที่ไม่ได้ใช้เป็นอาหาร	ต้องปรับปรุงระบบ
		ใบหรือหัว	ผลหรือเมล็ด		
	ค่าบีโอดี (mg/L.)	<10	<20	<30	
	ค่าฟิโคลโคลิฟอร์ม (cfu/1 ml.)	ไม่พบ	<10	<30	
บ่อปรับเสถียร (8 แห่ง)	ค่าบีโอดี (mg/L.)	8 แห่ง			
	ค่าฟิโคลโคลิฟอร์ม (cfu/1 ml.)		6 แห่ง	1 แห่ง	1 แห่ง
สระเติมอากาศ (4 แห่ง)	ค่าบีโอดี (mg/L.)	1 แห่ง	3 แห่ง		
	ค่าฟิโคลโคลิฟอร์ม (cfu/1 ml.)		3 แห่ง	1 แห่ง	
คลองวนเวียน (13 แห่ง)	ค่าบีโอดี (mg/L.)	4 แห่ง	7 แห่ง	2 แห่ง	
	ค่าฟิโคลโคลิฟอร์ม (cfu/1 ml.)		2 แห่ง	3 แห่ง	8 แห่ง
แอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ (3 แห่ง)	ค่าบีโอดี (mg/L.)		3 แห่ง		
	ค่าฟิโคลโคลิฟอร์ม (cfu/1 ml.)			1 แห่ง	2 แห่ง

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้ง 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร สระเติมอากาศ คลองวนเวียน และแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยผ่านค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ของกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดไว้ที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. เฉลี่ย ระบบบ่อปรับเสถียรและสระเติมอากาศ มีค่ามากกว่าร้อยละ 96 และ 99 ซึ่งการบำบัดน้ำเสียแต่ละแห่งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยในการบำบัดที่แตกต่างกัน เช่น การสัมผัสแสงแดด อุณหภูมิของน้ำ pH ระยะเวลาในการกักเก็บ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของบ่อ ความลึกของบ่อ จำนวนบ่อที่ต่อกัน ในอนุกรม ความปั่นป่วนของการไหล การสะสมของตะกอน และปริมาณสารอินทรีย์ เป็นต้น⁹ ส่วนระบบคลองวนเวียนและแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ TC. และ EC. เฉลี่ยร้อยละ 87 และ 92 ระบบคลองวนเวียนเป็นระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งค่าการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะของระบบจะแตกต่างกันเนื่องจากมีปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณเชื้อโรค ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ระยะเวลาการกักเก็บ การออกแบบการไหลของน้ำ จุลินทรีย์ผู้ล่า ความเป็นกรด - ด่าง และค่าของแข็งแขวนลอย เป็นต้น⁷



แนวทางที่จะนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ใหม่ในภาคการเกษตรของระบบบำบัดทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบคลองวนเวียน และแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์พบว่า ระบบบ่อปรับเสถียรและระบบสระเติมอากาศ สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในทางการเกษตรได้ โดยใช้ปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหารที่รับประทานผลหรือเมล็ด ส่วนระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์และระบบคลองวนเวียน จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำหรือเพิ่มเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อก่อนนำน้ำไปใช้ใหม่ เพื่อความปลอดภัยของประชาชนให้ผ่านเกณฑ์แนวทางการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ ก่อนที่จะนำน้ำใช้ในการเกษตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Massoud และ EL-FADEL⁸ กล่าวว่า การนำน้ำเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยการบำบัดให้มีคุณภาพที่เหมาะสมจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดและน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วน Valentina Lazarova¹⁰ และคณะพบว่า ประโยชน์ของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่นั้น นอกจากจะเป็นการอนุรักษ์และป้องกันสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น ลดปัญหาสุขภาพของชุมชน และยังเป็น การเพิ่มทางเลือกของแหล่งน้ำใช้ในสภาวะที่กำลังขาดแคลนแหล่งน้ำใช้อีกด้วย และสอดคล้องกับผลการศึกษาของเสนีย์ กาญจนวงศ์⁵ ที่ได้ทำการศึกษานำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ใหม่เพื่อการเกษตรกรรม พบว่าการใช้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยเฉพาะจากการบำบัดขั้นที่สอง ระบบสระเติมอากาศและแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ สามารถเพาะปลูกพืช ผลผลิตที่ได้ปลอดภัยต่อการบริโภค และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างจากการใช้น้ำธรรมชาติ

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การศึกษามีข้อเสนอแนะการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนประเภทต่างๆ ในประเทศไทย กลับมาใช้ใหม่ในภาคการเกษตร และต้องมีค่าการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะ กลุ่ม Total Coliform และ E. coli ผ่านเกณฑ์แนวทางเกณฑ์การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย ตามประเภทของการเพาะปลูกพืชที่ได้แนะนำไว้ ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ดังนั้นการส่งเสริมให้มีการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับไปใช้ใหม่ในภาคการเกษตร จึงควรผลักดันให้มีการกำหนดค่าจุลินทรีย์ชี้แนะเป็นค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรมควบคุมมลพิษ เพื่อความปลอดภัยและเพิ่มความมั่นใจต่อเกษตรกรผู้ใช้น้ำและประชาชนโดยทั่วไป

4.2.2 เทคนิคอย่างง่ายในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ชี้แนะเพื่อคุณภาพน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย จากเดิมที่น้ำมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับปลูกพืชที่ไม่ใช่เป็นอาหาร ให้มีความเหมาะสมสำหรับปลูกพืชที่รับประทานผลหรือเมล็ด หรือพืชที่รับประทานใบหรือหัวได้ คือ การเพิ่มระยะเวลาเก็บ (HRT) ของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะ ระบบบ่อปรับเสถียร สระเติมอากาศ และคลองวนเวียน ซึ่งการที่น้ำไหลอยู่ในระบบนานขึ้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ เพราะเป็นระบบอยู่ในที่โล่ง แสงแดดสามารถฆ่าเชื้อได้

4.2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเทคโนโลยีการกำจัดเชื้อโรคขั้นสูงอื่นๆ ได้แก่ การกำจัดเชื้อโรคด้วยโอโซน (Ozone Disinfection) การกำจัดเชื้อโรคด้วยยูวี (Ultraviolet Disinfection) และการกำจัดเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorine Disinfection) โดยมีค่าเดินระบบของโอโซน (2 - 4 บาท/ลูกบาศก์เมตร) คลอรีน (0.5 บาท/ลูกบาศก์เมตร) ยูวี (4 - 6 บาท/ลูกบาศก์เมตร) จะต้องพิจารณาเลือกเทคโนโลยีและปริมาณการใช้ให้เหมาะสม

4.2.4 เนื่องจากปัจจุบันน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่นำกลับมาใช้ใหม่ ยังไม่มีการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยเฉพาะการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ ถึงแม้ว่าผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าระบบบำบัดส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอ เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาผลกระทบในระยะยาว เกษตรกรผู้ใช้น้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ ควรเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสน้ำโดยตรง เช่น การสวมถุงมือหรือรองเท้าบูต เป็นต้น เพื่อป้องกันการสะสมเชื้อโรคในร่างกายของผู้สัมผัสน้ำดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

โครงการประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในภาคการเกษตร สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นและเจ้าหน้าที่ในหลายแห่ง ได้แก่ เทศบาลนครอุดรธานี เทศบาลเมืองอำนาจเจริญ เทศบาลเมืองวารินชำราบ เทศบาลเมืองมุกดาหาร เทศบาลเมืองมหาสารคาม เทศบาลนครนครปฐม เทศบาลเมืองสิงห์บุรี เทศบาลเมืองชัยนาท เทศบาลนครขอนแก่น เทศบาลนครอุบลราชธานี เทศบาลเมืองอ่างทอง เทศบาลนครนนทบุรี เทศบาลเมืองปทุมธานี เทศบาลนครพระนครศรีอยุธยา เทศบาลเมืองหัวหิน เทศบาลนครภูเก็ต เทศบาลเมืองกะทู้ เทศบาลเมืองป่าตอง เทศบาลเมืองฉะเชิงเทรา องค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี เทศบาลเมืองแสนสุข เทศบาลนครแหลมฉบัง เทศบาลตำบลบ้านเพ เทศบาลเมืองพัทยา และเทศบาลเมืองกะรน ที่ให้ความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์เป็นพื้นที่ศึกษาวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. รายงานประจำปีสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ ปี 2561. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2561 [เข้าถึงเมื่อ 20 กรกฎาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: http://pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?task=water_annual61
2. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. แนวทางการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม; 2556.
3. นฤมล ตปนียะกุล. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย. กรุงเทพฯ: กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข; 2535.
4. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 127, ตอนพิเศษ 69 ง (ลงวันที่ 2 มิถุนายน 2553).
5. เสนีย์ กาญจนวงศ์. การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2545.
6. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington: American Public Health Association; 2005.
7. Naughton C, Rousselot O. Activated Sludge. n.p.: Global Water Pathogen Project; 2017.
8. Massoud M, EL-FADEL M. Economic Feasibility of Wastewater Reuse in Agriculture: A Case Study: Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002). [cited 2020 Jul 26]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/266405424_Economic_feasibility_of_wastewater_reuse_in_agriculture_A_case_study
9. Verbyla M, Von Sperling M, Majga Y. Waste Stabilization Ponds. n.p.: Global Water Pathogen Project; 2017.
10. Lazarova V, Rougé P, Sturny V, Arcangeli J-P. Evaluation of Economic Viability and Benefits of Urban Water Reuse and its Contribution to Sustainable Development. Water Practice & Technology 2006;1(2). doi:10.2166/WPT.2006025.



การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของเหล็ก และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

Development a simple water quality test kit of Total Iron and Chromium Hexavalent

อัญชลี แทนนิล* ญัฐพร สุขกสิกร พรจิต มุงวงษา วัชรินทร์ ปัญญาสะ ประคอง โคตรพงษ์

Aunchalee Tannil*, Nuttaphon Sukhakasikorn, Phornjit Mungwongs,
Watjarin Punyasa, Prakong Khottarapong

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: Aunchalee.tannil@gmail.com*

บทคัดย่อ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ที่มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่ายไม่ซับซ้อน มีความถูกต้องและแม่นยำ ทราบผลการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถพกพาสู่ภาคสนามได้ สำหรับการทดสอบหาปริมาณเหล็กที่ระดับความเข้มข้น 0.3 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และการทดสอบหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน โดยการเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน และได้ตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) และแม่นยำ (Precision) ของแถบสีมาตรฐานของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) พบว่า ความถูกต้อง (Accuracy) ของแถบสีมาตรฐานในชุดทดสอบหาปริมาณเหล็กและโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ มีเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) เท่ากับ 92 - 107% และ 92 - 109% ตามลำดับ และความแม่นยำ (Precision) ของชุดทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV) เท่ากับ 0.9 - 4.2 และ 0.2 - 2.9 ตามลำดับ เพื่อใช้ในกระบวนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น ซึ่งประชาชนและเจ้าหน้าที่สามารถนำชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้ไปใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในสิ่งแวดล้อมได้จริง ทั้งในสถานะฉุกเฉินและสถานะปกติ รวมถึงใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย เหล็ก โครเมียมเฮกซะวาเลนต์

Abstract

This research aims to develop a simple test kits that are simple process, accuracy and precision. This simple test kit used for surface water, wastewater and tap water for determination of concentration Iron (Fe) at 0.3 - 10 mg/L. and concentration chromium hexavalent (Cr^{6+}) at 0.05 - 5 mg/L by color comparison with standard color scale. The accuracy and precision of the standard color scale that test by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results of test kit of Iron and chromium hexavalent of the accuracy that shown % recovery are 92 - 107% and 92 - 109% and the precision that shown CV are 0.9 - 4.2 and 0.2 - 2.9 respectively

Keywords : Test kit Iron Chromium hexavalent

1. บทนำ

การตรวจสอบหาความเข้มข้นของสารอันตรายก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม หรือการตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวังสารอันตราย ไม่ว่าจะเป็นในน้ำผิวดิน น้ำดื่ม หรือน้ำประปา เป็นกิจกรรมที่สำคัญเพื่อให้ทราบถึงสถานภาพและคุณภาพแหล่งน้ำ รวมถึงเป็นการเฝ้าระวังแหล่งน้ำไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรม โดยทั่วไปจะตรวจวัดด้วยเครื่องมือต่างๆ ในห้องปฏิบัติการทดสอบ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง เครื่องมือราคาแพง ระยะเวลาทดสอบนาน รวมถึงต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญในการทดสอบ การใช้ชุดทดสอบอย่างง่าย หรือ “Test kit” จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้ทราบผลการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถพกพาสู่ภาคสนาม แก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในสถานะฉุกเฉินได้ทันทั่วถึง แต่ปัจจุบันชุดทดสอบคุณภาพน้ำที่มีจำหน่ายนั้นส่วนมากเป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพง ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ที่มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่าย ไม่ซับซ้อน มีความถูกต้องและแม่นยำ เพื่อให้ประชาชนและเจ้าหน้าที่ สามารถนำชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายไปใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในสิ่งแวดล้อมได้จริง เพื่อเป็นการเฝ้าระวัง ติดตามคุณภาพน้ำทั้งในสถานะฉุกเฉินและสภาวะปกติ รวมถึงใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องได้อย่าง

สำหรับประเทศไทยนั้น มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำไว้หลายประเภท เช่น มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน เป็นต้น และพบว่า ในทุกเกณฑ์มาตรฐานจะควบคุมคุณลักษณะทางเคมีของโลหะหนัก เช่น โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ เป็นสารอันตรายที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อยีน (Genotoxic carcinogen) โดยกำหนดปริมาณสูงสุดของการปนเปื้อนโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำที่มาจากโรงงานไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร¹ ในแหล่งน้ำผิวดินไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร² และในน้ำทะเลไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลิตร³ และธาตุเหล็กซึ่งพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบหลักของสนิมแดง มักหลุดลอกและละลายน้ำผ่านทางท่อประปา หากมีปริมาณมากจะทำให้มีสีแดง มีกลิ่นและขุ่น เมื่อมีการบริโภคเกินความจำเป็น จะทำให้เข้าไปรวมอยู่ในเฮโมโกลบินที่อยู่ในเลือดและจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ตับส่งผลทำให้เกิดโรคตับแข็งได้ โดยกำหนดปริมาณสูงสุดของการปนเปื้อนเหล็กในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร⁴ เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารพิษที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำต้องไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร⁵ และในน้ำทะเลไม่เกิน 300 ไมโครกรัมต่อลิตร³ ด้วยเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ นั้น ทำให้พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย เพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานหลายประเภทที่ระดับความเข้มข้น 0.05 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับทดสอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับเหล็ก

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดสีที่เหมาะสมของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr⁶⁺) และเหล็ก (Fe)

2.1.1 การวิเคราะห์เหล็กด้วยฟิแนนโทรลีน (1,10 phenanthroline)

การวิเคราะห์เหล็กด้วยฟิแนนโทรลีน จะอาศัยปฏิกิริยาของฟิแนนโทรลีน (1,10-phenanthroline) กับเฟอร์รัส (Fe²⁺) ที่พีเอชประมาณ 3.2 - 5.5 เกิดเป็นสารประกอบสีแดงส้ม ซึ่งเป็นไปตาม Beer's Law คือความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณของสารนั้น โดยความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจะไม่เกิดที่พีเอช 4 - 9 และสีของสารละลายนี้จะอยู่ตัวได้นานประมาณ 6 เดือน สามารถวัดความเข้มสีได้ด้วยการเปรียบเทียบกับตาหรืออาจใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และเนื่องจาก 1,10-phenanthroline ใช้วัดได้เฉพาะเฟอร์รัส (Fe²⁺) จึงต้องมีการเปลี่ยนรูปของเฟอร์ริก (Fe³⁺) เป็นเฟอร์รัส (Fe²⁺) ให้หมดโดยใช้สารละลายไฮดรอกซิลามีน (hydroxylamine) มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังสมการ

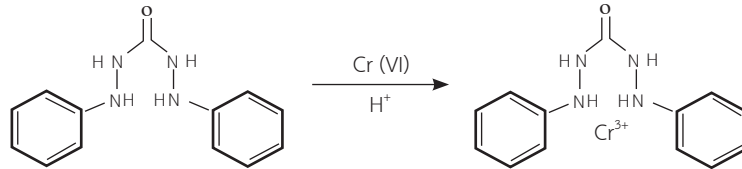


หลังจากนั้น จะปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 3.2 - 3.3 โดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อให้ได้พีเอชที่เหมาะสม แล้วจึงเติมด้วย 1,10-phenanthroline ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ดังสมการ

$$1,10\text{-phenanthroline} + \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Orange-red complex}$$

2.1.2 การวิเคราะห์โครเมียมด้วยไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-diphenylcarbazide)

ปฏิกิริยานี้ เป็นปฏิกิริยาที่เฉพาะเจาะจงของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) กับไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-diphenylcarbazide) ในสภาวะกรด เกิดเป็นสารประกอบสีแดงม่วง ดังสมการ



2.2 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

2.2.1 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe)

1. เตรียมสารละลายสำหรับการหาปริมาณเหล็ก (Fe)

- 1) สารละลายมาตรฐานเหล็กที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
- 2) สารละลายโบรมอฟินอลบลู (Bromophenol blue)
- 3) สารละลายไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine Hydrochloride)
- 4) สารละลายอโทรพิแนนโทรีน (o-phenanthroline monohydrate)
- 5) สารละลายกรดซีเทรต

2. ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ลงในหลอดทดลอง
- 2) หยดสารละลายไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์
- 3) หยดสารละลายกรดซีเทรต
- 4) หยดสารละลายอโทรพิแนนโทรีน รอปฏิกิริยาสมบูรณ์ จับเวลาที่เหมาะสม
- 5) บันทึกจำนวนหยดสารละลายต่างๆ ที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดสีที่สายตาสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยเลือกความเข้มข้นต่ำสุดที่สายตาสามารถมองเห็นได้ เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

6) ถ่ายรูปและเก็บตัวอย่างสีเพื่อนำไปสร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

2.2.2 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+})

1. เตรียมสารละลายสำหรับการหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+})

- 1) สารละลายมาตรฐานโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
- 2) สารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-diphenylcarbazide)
- 3) สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

2. ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของ Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ลงในหลอดทดลอง
- 2) หยดสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์
- 3) หยดสารละลายกรดซัลฟิวริก รอปฏิกิริยาสมบูรณ์ จับเวลาที่เหมาะสม
- 4) บันทึกจำนวนหยดสารละลายต่างๆ ที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดสีที่สายตาสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยเลือกความเข้มข้นต่ำสุดที่สายตาสามารถมองเห็นได้ เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

5) ถ่ายรูปและเก็บตัวอย่างสีเพื่อนำไปสร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

2.3 ตรวจสอบความแม่นยำและความเที่ยงแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale) ของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของเหล็ก (Fe) และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนของแสง

2.3.1 นำไปวัดค่า Absorbance ของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยสร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม 2 ชุด คือชุดระดับความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.05 0.1 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ 1 2 3 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.2 นำไปวัดค่า Absorbance ของเหล็ก (Fe) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยสร้างกราฟมาตรฐานเหล็ก 2 ชุด คือชุดระดับความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.3 0.5 0.7 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ 2 4 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4 ตรวจสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบคุณภาพน้ำใน matrix ต่างๆ

2.4.1 ตรวจสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบคุณภาพน้ำในตัวอย่างน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ โดยเตรียมจากการ spike สารละลายมาตรฐานในตัวอย่างน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน

2.4.2 การวัดค่าการดูดกลืนของแสงของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และเหล็ก (Fe) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนของแสง

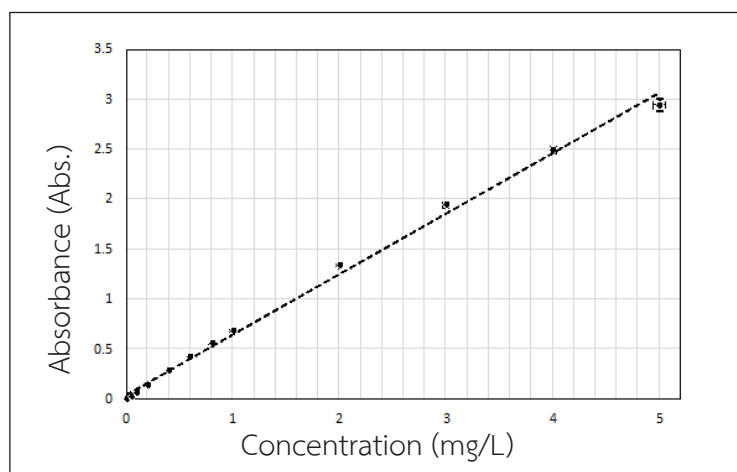
1. นำไปวัดค่า Absorbance ของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยสร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม 2 ชุด คือชุดระดับความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.05 0.1 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ 1 2 3 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. นำไปวัดค่า Absorbance ของเหล็ก (Fe) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยสร้างกราฟมาตรฐานเหล็ก 2 ชุด คือชุดระดับความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.3 0.5 0.7 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ 2 4 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

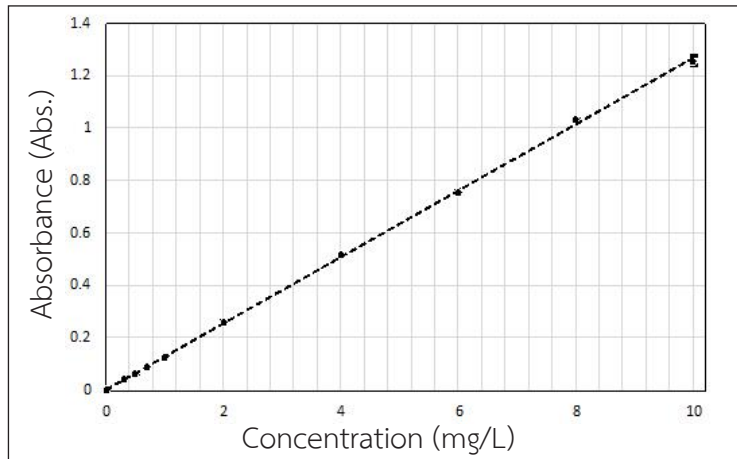
3. นำข้อมูลที่ได้ ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กลับคืน (% recovery) และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV)

3. ผลการวิจัย

3.1 ทดสอบปฏิบัติการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 1 ทดสอบปฏิบัติการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับระดับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+})



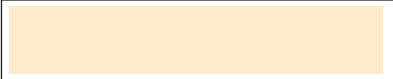

















รูปที่ 2 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับระดับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe)

3.2 แถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

3.2.1 สร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale) ที่เหมาะสมกับสายตาที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และเปรียบเทียบสีที่ได้จากแถบสีมาตรฐานที่สร้าง (Standard color scale) กับการเตรียมสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดังนี้

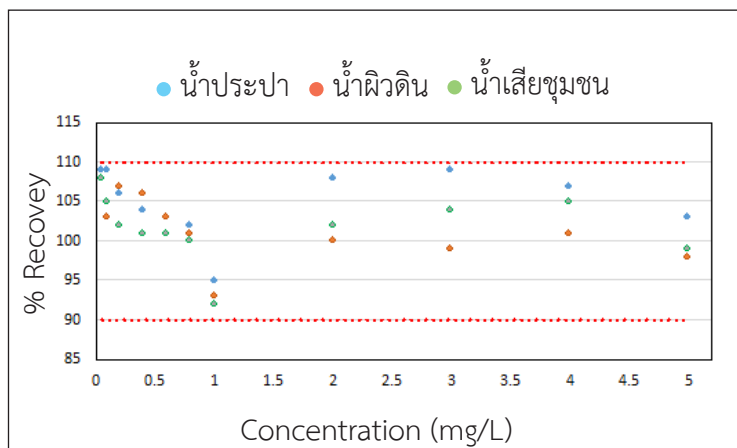
แถบสีมาตรฐาน	ระดับความเข้มข้น	การเตรียมสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+})
	0.05 mg/L Cr^{6+}	
	0.1 mg/L Cr^{6+}	
	0.2 mg/L Cr^{6+}	
	0.4 mg/L Cr^{6+}	
	0.6 mg/L Cr^{6+}	
	0.8 mg/L Cr^{6+}	
	1 mg/L Cr^{6+}	
	2 mg/L Cr^{6+}	
	3 mg/L Cr^{6+}	
	4 mg/L Cr^{6+}	
	5 mg/L Cr^{6+}	

3.2.2 สร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale) ที่เหมาะสมกับสายตาที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนของสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและเปรียบเทียบกับสีที่ได้จากแถบสีมาตรฐานที่สร้าง (Standard color scale) กับการเตรียมสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดังนี้

แถบสีมาตรฐาน	ระดับความเข้มข้น	การเตรียมสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe)
	0.3 mg/L Fe	
	0.5 mg/L Fe	
	0.7 mg/L Fe	
	1 mg/L Fe	
	2 mg/L Fe	
	4 mg/L Fe	
	6 mg/L Fe	
	8 mg/L Fe	
	10 mg/L Fe	

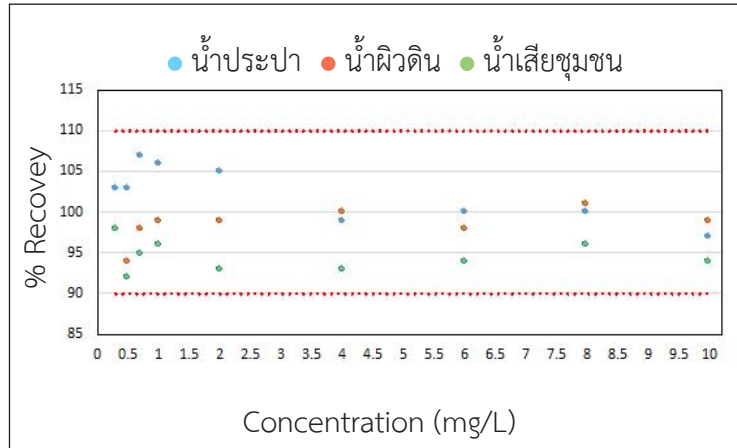
3.3 ตรวจสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบคุณภาพน้ำใน matrix ต่างๆ

3.3.1 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) เท่ากับ 92 - 107% และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV) เท่ากับ 0.9 - 4.2 ดังรูป แสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายชุดนี้สามารถทดสอบในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชนได้ และให้ค่าความถูกต้อง ± 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน

3.3.2 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (Fe) ในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน ซึ่งพบว่า ความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) มีเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) เท่ากับ 92 - 109 % และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV) เท่ากับ 0.2 - 2.9 ดังรูปแสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายชุดนี้สามารถทดสอบในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชนได้ และให้ค่าความถูกต้อง ± 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (Fe) ในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน

3.4 เตรียมชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของเหล็ก และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

เมื่อตรวจสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และเหล็ก (Fe) จึงเตรียมใส่ภาชนะบรรจุ และส่งมอบให้สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1 - 16 พร้อมแบบสำรวจความพึงพอใจ พบว่ามีความพึงพอใจมากในขั้นตอนการใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ความสะดวกในการพกพา และความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ ระยะเวลาการแสดงผลของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย และความเหมาะสมของระดับความเข้มข้นของชุดทดสอบกับการใช้งาน และมีคำแนะนำ/ข้อเสนอแนะ เรื่องขั้นตอนการใช้ระบุวิธีไม่ชัดเจน รูปแบบของแถบสีมาตรฐานไม่เหมาะสมควรมีขนาดใหญ่กว่าขวดตัวอย่าง และมีความต้องการชุดทดสอบของแมงกานีส (Mn)



ลักษณะภายนอกของชุดทดสอบ



ลักษณะภายในของชุดทดสอบ

รูปที่ 5 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย

คำแนะนำในการใช้ชุดทดสอบ

1. ปิดขวดสารเคมีทันทีทุกครั้งเมื่อใช้เสร็จ
2. ล้างมือก่อนและหลังทุกครั้งที่ใช้ชุดทดสอบ
3. หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีทุกชนิด หรือควรสวมใส่ถุงมือทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ
4. เก็บชุดทดสอบไว้ในที่ปลอดภัยให้พ้นจากแสงแดดและความร้อน
5. ควรใช้ให้หมดภายใน 2-3 เดือนและชุดทดสอบ 1 ชุด สามารถทดสอบตัวอย่างประมาณ 200 ตัวอย่าง
6. ห้ามเทตัวอย่างที่ทำกรทดสอบแล้วลงสู่สิ่งแวดล้อม
7. โปรดรวบรวมภาชนะที่ใส่สารเคมีที่ใช้แล้วและเหลือทิ้ง ส่งกลับมายังศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



แบบสำรวจความพึงพอใจ



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย
สำหรับการทดสอบ CHROMIUM (VI)

จัดทำโดย



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
โทรศัพท์ 02-5774182-9 ต่อ 1116
Fax : 02-5771138
Email : werair2628@gmail.com



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (TEST KIT)

สำหรับการทดสอบโครเมียม
CHROMIUM (VI)

ควรอ่านคู่มือก่อนใช้ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับทดสอบ Cr (VI)

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (Test kit) สำหรับทดสอบหาปริมาณโครเมียม Cr(VI) ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 – 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างน้ำและน้ำเสีย เช่น น้ำผิวดิน น้ำบาดาล น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำชะขยะจากการฝังกลบ (Landfill) น้ำชะขยะอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ

อุปกรณ์ภายในชุดทดสอบ

ชุดทดสอบ 1 ชุด ประกอบด้วย

1. สารเคมี โครเมียม 1 (Cr-1) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
2. สารเคมี โครเมียม 2 (Cr-2) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
3. หลอดชนิดยา ขนาด 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด
4. ขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด
5. คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำ พร้อมแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

ขั้นตอนการใช้ชุดทดสอบ

ขั้นที่ 1



ดูดตัวอย่างน้ำ 5 มิลลิลิตร
ด้วยหลอดชนิดยา

ขั้นที่ 2



หยดสารเคมี โครเมียม-1
(Cr-1) จำนวน 3 หยด

ขั้นที่ 3

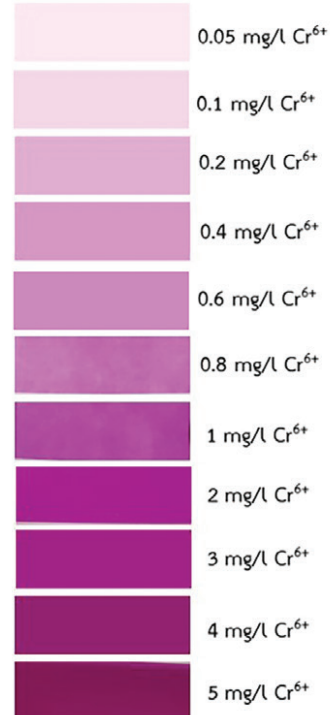


หยดสารเคมี โครเมียม-2 (Cr-2) จำนวน 3 หยด

รอปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ 1-2 นาที
เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน

แถบสีมาตรฐาน (mg/L Cr⁶⁺) (Standard color scale)

ไม่มีสี แสดงว่า น้อยกว่า 0.05 mg/L Cr⁶⁺



รูปที่ 6 คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับการทดสอบ Cr⁶⁺



คำแนะนำในการใช้ชุดทดสอบ

1. ปิดขวดสารเคมีทันทีทุกครั้งเมื่อใช้เสร็จ
2. ล้างมือก่อนและหลังทุกครั้งที่ใช้ชุดทดสอบ
3. หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีทุกชนิด หรือควรสวมใส่ถุงมือทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ
4. เก็บชุดทดสอบไว้ในที่ปลอดภัยให้พ้นจากแสงแดดและความร้อน
5. ควรใช้ให้หมดภายใน 6 เดือนและชุดทดสอบ 1 ชุด สามารถทดสอบตัวอย่างประมาณ 200 ตัวอย่าง
6. หลีกเลี่ยงทดสอบตัวอย่างที่มีสีรบกวน เพราะอาจทำให้ความเข้มข้นคลาดเคลื่อนได้
7. ห้ามเทตัวอย่างที่ทำกรทดสอบแล้วลงสู่สิ่งแวดล้อม
8. โปรดรวบรวมภาชนะที่ใช้สารเคมีที่ใช้แล้วและเหลือทิ้ง ส่งกลับมายังศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



แบบสำรวจความพึงพอใจ



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายสำหรับการทดสอบเหล็ก (Fe)



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (TEST KIT)

สำหรับการทดสอบเหล็ก IRON (Fe)

จัดทำโดย



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 02-5774182-9 ต่อ 1116 Fax : 02-5771138 Email : werair2628@gmail.com

ควรอ่านคู่มือก่อนใช้ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับทดสอบ Fe

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (Test kit) สำหรับทดสอบหาปริมาณเหล็ก Total iron ที่ระดับความเข้มข้น ตั้งแต่ 0.03 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างน้ำและน้ำเสีย เช่น น้ำผิวดิน น้ำบาดาล น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ น้ำชะขยะจากการฝังกลบ (Landfill) น้ำชะขยะอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ

อุปกรณ์ภายในชุดทดสอบ

ชุดทดสอบ 1 ชุด ประกอบด้วย

1. สารเคมี เหล็ก - 1 (Fe-1) จำนวน 1 ขวด (ขวดละ 50 มิลลิลิตร)
2. สารเคมี เหล็ก - 2 (Fe-2) จำนวน 1 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
3. สารเคมี เหล็ก - 3 (Fe-3) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 50 มิลลิลิตร)
4. หลอดนิตยา ขนาด 3 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด
4. ขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 4 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
5. คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำ พร้อมแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

ขั้นตอนการใช้ชุดทดสอบ

ขั้นที่ 1



ดูดตัวอย่างน้ำ 2 มิลลิลิตร ด้วยหลอดนิตยา



ขั้นที่ 2

หยดสารเคมี เหล็ก-1 (Fe-1) จำนวน 5 หยด

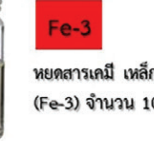


ขั้นที่ 3

หยดสารเคมี เหล็ก-2 (Fe-2) จำนวน 2 หยด



ขั้นที่ 4

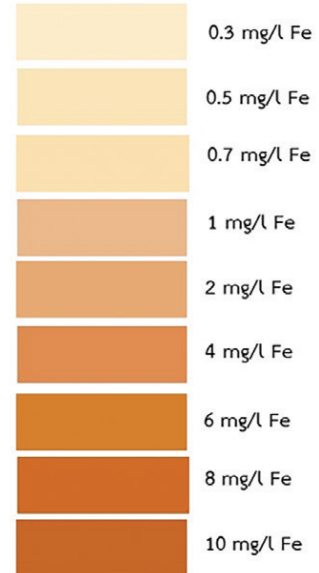


Fe-3

หยดสารเคมี เหล็ก-3 (Fe-3) จำนวน 10 หยด

แถบสีมาตรฐาน (mg/l Fe) (Standard color scale)

ไม่มีสี แสดงว่า น้อยกว่า 0.3 mg/l Fe



รอปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ 4-5 นาที เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน

รูปที่ 7 คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับการทดสอบ Fe

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้ สามารถทดสอบหาปริมาณเหล็ก (Fe) โดยการเปลี่ยนรูปของ Ferric (Fe^{3+}) เป็น Ferrous (Fe^{2+}) ด้วยสารละลายไฮดรอกไซลามีน (Hydroxylamine) และวัดปริมาณของเหล็กทั้งหมด (Fe) จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Ferrous (Fe^{2+}) กับ 1,10-phenanthroline ที่พีเอชประมาณ 3.2 ถึง 5.5 เกิดสารประกอบสีแดงส้ม มีช่วงการวัดที่ระดับความเข้มข้น 0.3 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และการทดสอบหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับ 1,5-diphenylcarbazide ในสภาวะกรด เกิดสารประกอบสีแดงม่วง มีช่วงการวัดที่ระดับความเข้มข้น 0.05 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชน โดยการเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน และตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) และแม่นยำ (Precision) ของแถบสีมาตรฐานของชุดทดสอบด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) พบว่า ความถูกต้อง (Accuracy) ของแถบสีมาตรฐานในชุดทดสอบหาปริมาณเหล็ก (Fe) และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) มีเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) เท่ากับ 92 - 107% และ 92 - 109% ตามลำดับ และความแม่นยำ (Precision) ของชุดทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV) เท่ากับ 0.9 - 4.2 และ 0.2 - 2.9 ตามลำดับ แสดงว่าชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายชุดนี้สามารถทดสอบในน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำเสียชุมชนได้ โดยให้ค่าความถูกต้อง ± 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดสอบที่ขายตามท้องตลาดตามตารางที่ 1 ที่ใช้วิธีเดียวกันนั้น พบว่า ประสิทธิภาพชุดทดสอบของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สามารถทดสอบหาโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ในช่วงการทดสอบที่กว้างกว่ายี่ห้ออื่นๆ

ตารางที่ 1 ชุดทดสอบหาโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ด้วย 1,5-diphenylcarbazide ที่ขายตามท้องตลาด

ยี่ห้อ	ระดับความเข้มข้น
ERTC	0.05 - 5 mg/L
Kyoritsu	0.05 - 2 mg/L
Visicolor	0.02 - 0.5 mg/L
สวทช.	0.25 - 2 mg/L
MTEC	0 - 100 μ g/L

สำหรับชุดทดสอบหาปริมาณเหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดสอบที่ขายตามท้องตลาดตามตารางที่ 2 ที่ใช้วิธีเดียวกันนั้น พบว่า ประสิทธิภาพชุดทดสอบของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สามารถทดสอบหาเหล็ก (Fe) ในช่วงการทดสอบที่กว้างกว่ายี่ห้ออื่นๆ

ตารางที่ 2 ชุดทดสอบหาเหล็ก (Fe) ด้วย Phenanthroline ที่ขายในปัจจุบัน

ยี่ห้อ	ระดับความเข้มข้น
ERTC	0.3 - 10 mg/L
Hanna (High range)	0 - 5 mg/L
Hanna (Low range)	0 - 1 mg/L
MU test kit	0.1 - 4 mg/L

4.2 ข้อเสนอแนะ

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้ มีข้อจำกัดเรื่องสภาพตัวอย่างที่มีสีและความขุ่น หากตัวอย่างมีสีและความขุ่นมากจะทำให้ไม่สามารถใช้ชุดทดสอบได้ กรณีที่ใช้ชุดทดสอบจะส่งผลทำให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำลดลงหรือผิดพลาดได้ สำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินช่วงของการทดสอบ อาจต้องทำการเจือจางตัวอย่างด้วยเครื่องแก้ววัดปริมาตรก่อนนำไปทดสอบ และพบว่า ระยะเวลาการเก็บชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) มีระยะเวลาการเก็บที่สั้นเพียง 1 เดือน และสำหรับชุดทดสอบหาเหล็ก (Fe) มีระยะเวลาการเก็บชุดทดสอบ 6 เดือน จะเห็นว่าชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายชุดนี้ ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ รวมถึงพารามิเตอร์ที่ใช้เฝ้าระวัง ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำยังมีอีกหลายชนิด เช่น ออกซิเจนละลายน้ำ ไนเตรท ฟอสฟอรัส แมงกานีส เป็นต้น ที่ต้องศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีคุณประโยชน์ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่บุคลากรและประชาชนรอบๆ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1 - 16 ที่ทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134, ตอนพิเศษ 153 ง (ลงวันที่ 7 มิถุนายน 2560).
2. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111, ตอนพิเศษ 16 ง (ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537).
3. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134, ตอนพิเศษ 288 ง (ลงวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560).
4. กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123, ตอนพิเศษ 64 ง (ลงวันที่ 6 กรกฎาคม 2549).
5. ไมตรี ดวงสวัสดิ์. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด: เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 75. กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง; 2530.

ศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ กรณีศึกษาปัญหาขยะชุมชน
Study on local environmental management pattern : A case study on Municipal
Solid Waste

รัฐ เรืองโชติวิทย์* ธงชัย สีฟ้า กัลยา กาญจนรัชชิตี นัยนา กล่อมเชื้อ

ฐิตาพร จงพิบูลย์ ขวัญฤทัย เรณูหอม

Rath Ruengchotvit*, Thongchai Seefa, Kalaya Khanchanusthiti,
Naiyana Klomchue, Thitaporn Jongpiboon, Khwanruthai Renuhom

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: Rath10@yahoo.com*

บทคัดย่อ

โครงการศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เป็นการศึกษาดูโดยอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ เพื่อให้ได้รูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ โดยมีหน่วยงานท้องถิ่นเข้าร่วมโครงการ 3 แห่ง ได้แก่ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เทศบาลตำบลสตึก และเทศบาลตำบลพุทไธสง โดยใช้กระบวนการกลุ่ม (focus group) ระดมความคิดเห็น จัดลำดับความสำคัญของปัญหา การจัดการปัญหาโดยจัดทำโครงการที่ตอบโจทย์ปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่พบลำดับสูงสุด คือ ปัญหาการจัดการขยะตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางของท้องถิ่นในจังหวัดบุรีรัมย์ เทศบาลตำบลพุทไธสง เน้นกระบวนการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะชุมชน การคัดแยกขยะชุมชน โดยใช้หลักการ 3Rs เทศบาลตำบลสตึก มีระบบการกำจัดขยะชุมชนและรองรับขยะจากท้องถิ่นโดยรอบที่ต้องดูแลระบบ ตลอดจนกำหนดกฎกติกาที่เหมาะสมในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนร่วมกัน เทศบาลเมืองบุรีรัมย์มีปัญหาพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชนที่ใช้งานเต็มพื้นที่ จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการขยะ ซึ่งมีข้อเสนอแนะทางวิชาการในการปรับปรุงพื้นที่ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ยืดอายุการใช้งานของพื้นที่ฝังกลบของการจัดหารูปแบบที่เหมาะสมจากกระบวนการแก้ปัญหาขยะชุมชน โดยระดมความคิดเห็นและหาแนวทางในการจัดการปัญหาขยะชุมชน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้จัดทำโครงการศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ กรณีศึกษาปัญหาขยะชุมชนขึ้น ผลจากการศึกษาครั้งนี้นำไปจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในด้านการจัดการขยะชุมชนด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อการวางแผนการจัดการขยะชุมชนของเมืองที่เป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งจะนำไปประยุกต์ในการแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในชุมชนอื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ : รูปแบบ กระบวนการ การจัดการ สิ่งแวดล้อม ขยะชุมชน

Abstract

The study on Local Environmental Management pattern was mainly based on public participation which were utilized by local agencies to identify suitable solutions for environmental management process and pattern. The local authorities involved in this project were Buriram Municipality, Satuek District Municipality, and Phutthaisong Municipality. The Focus Group methodology has been applied for brainstorming and prioritizing the issues. The environmental Management projects have been formulated based on the prioritized issues, which includes the



whole process of local waste management in Buriram. The Phutthaisong District Municipality has emphasized local participation on waste management and segregation within the community by applying the principles of 3R. The Satuek District Municipality has a good waste management system as well as accepting wastes from other areas within the district and was able to introduce an appropriate regulation on solid waste management through community participation. The Buriram District Municipality Sanitary landfill is almost fully occupied and the municipality is still looking for other appropriate technologies to manage their solid wastes. There were recommendations that in order to obtain sustainability, the landfill area must be developed, improved, and extend the period of usage for more years. The results of this study will support the government's policy to allocate some environmental budget related to sustainable urban environmental quality management planning especially in these areas and other similar areas in the country.

Keywords : Pattern, Process, Management, Environmental, Community Waste

1. บทนำ

บุรีรัมย์เป็นจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีทรัพยากรการท่องเที่ยวที่สำคัญน่าเที่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งโบราณสถานศิลปะแบบขอมโบราณที่มีอยู่มากมายกระจายอยู่ในพื้นที่ทั้งจังหวัดอีกทั้งยังเป็นที่ยึดมั่นในฐานะเมืองเกษตรกรรมและหัตถกรรมและเป็นแหล่งทอผ้าไหมที่สวยงามและมีชื่อเสียง นอกจากนี้ด้วยสภาพพื้นที่ตั้งมีความหลากหลายของเชื้อชาติซึ่งก่อให้เกิดความหลากหลายของประเพณีวัฒนธรรม ขณะเดียวกันบุรีรัมย์ก็มีบทบาทสำคัญในด้านอุตสาหกรรมอีกสถานะหนึ่งเพราะเป็นแหล่งผลิตหินก่อสร้างแหล่งใหญ่ที่มีคุณภาพดีที่สุดของประเทศ ซึ่งจังหวัดพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ นอกจากนี้ยังมีแหล่งท่องเที่ยวที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ สนามฟุตบอลไอโมบาย มีสนามแข่งรถมอเตอร์สปอร์ตระดับมาตรฐานโลก “Chang International Circuit” และจุดผ่อนปรนการค้าช่องสายตะกู ซึ่งนับวันจะมีนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้น หลักการการพัฒนาที่เป็นเมืองต้นแบบการพัฒนาในอนาคตที่คำนึงถึงการรองรับในด้านต่างๆ ที่จำเป็นของเมืองใหญ่ เมื่อมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในด้านสิ่งแวดล้อมของเมืองจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญ โดยอาศัยหลักการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน กลยุทธ์ต่างๆ ในด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาเมืองสิ่งแวดล้อมยั่งยืน โดยอาศัยรูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมเมืองอย่างเป็นระบบ การมีส่วนร่วมของประชาชนจากทุกภาคส่วนในการระดมความคิดเห็น ข้อมูลสถานภาพคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในการกำหนดทิศทางการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน ผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นต้นแบบของการดำเนินการเพื่อการป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ และใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ และศึกษารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่

2. วิธีการวิจัย

กระบวนการพัฒนาที่ใช้การพัฒนามาตามการเติบโตของเมือง โดยในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 เน้นการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการรองรับใช้กระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน ชุมชนท้องถิ่น และภาคีร่วมดำเนินการ เพื่อการพัฒนาชุมชนท้องถิ่นน่าอยู่และส่งเสริมสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ก้าวสู่สังคมสีเขียว โดยมีเป้าหมายการจัดทำเมืองสิ่งแวดล้อมยั่งยืน เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น 3 กระบวนการ

1. การเสริมสร้างการมีส่วนร่วม ให้แก่ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่สมัครเข้าร่วมกิจกรรมและเป็นสมาชิกเครือข่าย (Local Agenda 21 : LA 21 Green Social Network & Green City) และส่งเสริมให้ท้องถิ่นขับเคลื่อน

กิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่ ถอดบทเรียน พัฒนาต้นแบบแหล่งเรียนรู้ แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ประสบการณ์ และสรุปเป็น กระบวนการแก้ไขปัญหาที่เป็นระบบโดยใช้หลักการการมีส่วนร่วม

2. การประเมินผลการดำเนินงาน ให้ความรู้และส่งเสริมการพัฒนาท้องถิ่นน่าอยู่ตามเกณฑ์ชีวิตเมือง สิ่งแวดล้อมยั่งยืน (Green City) รวม 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1. เมืองอยู่ดี มีการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเหมาะสม โครงสร้างพื้นฐานเพียงพอสำหรับคนทุกกลุ่ม มีความมั่นคงด้านที่อยู่อาศัยปลอดภัย และเศรษฐกิจมั่นคง 2. คนมีสุข ได้รับการศึกษา สวัสดิการและการพิทักษ์สิทธิที่เหมาะสมและเท่าเทียม ครอบครัวอบอุ่น ชุมชนเอื้ออาทร มีกิจกรรม สร้างสรรค์สังคม ดำรงประเพณี วัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่น 3. สิ่งแวดล้อมยั่งยืน ทรพยากรธรรมชาติมีความสมบูรณ์ มีพื้นที่สีเขียวเพียงพอ ภูมิทัศน์สวยงาม ของเสียหรือมลพิษถูกจัดการอย่างเหมาะสม และประชาชนมีวิถีชีวิต ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 4. เทศบาลแห่งการเรียนรู้และการบริหารจัดการที่ดี มีวิสัยทัศน์และแผนงานชัดเจน บุคลากรมีความรอบรู้และเชี่ยวชาญ ระบบการทำงานได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีนวัตกรรมการพัฒนาเมือง

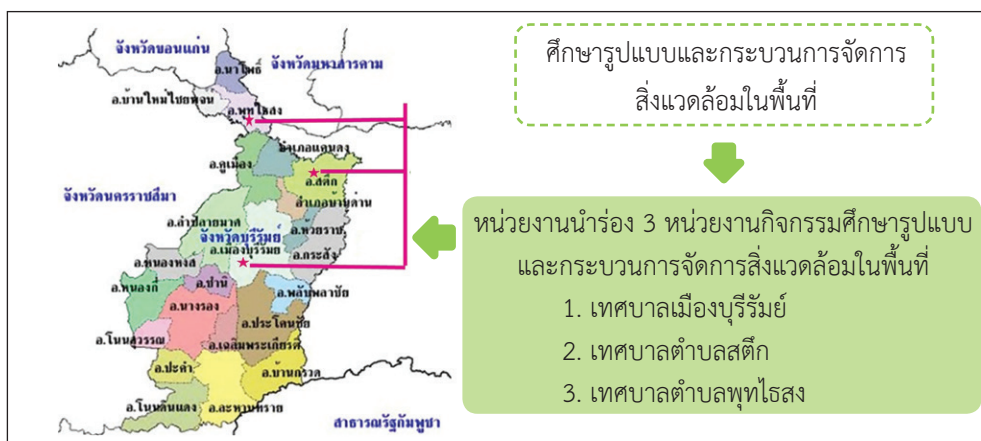
3. การพัฒนาต่อยอดและขยายผล คือการขยายแนวคิดและผลสำเร็จการดำเนินงานสู่พื้นที่อื่นๆ เสริมศักยภาพวิทยากรของชุมชน พัฒนาระดับให้เป็นพื้นที่ต้นแบบแหล่งเรียนรู้ ศึกษาดูงาน โดยการถ่ายทอด ความรู้และใช้กลุ่ม Focus group มานำเสนอปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหาที่สะท้อนจากท้องถิ่นแต่ละพื้นที่

จากกระบวนการดังกล่าวทั้ง 3 กระบวนการ นำมาประยุกต์ใช้กับเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีความโดดเด่น ของการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความต้องการการรองรับมลพิษต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นตามรูปแบบการพัฒนา เมืองอย่างยั่งยืนจะต้องสอดคล้องกับบริบทของเมือง โดยความเป็นเมืองที่มีภาคส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนา ซึ่งอาศัยกระบวนการถอดบทเรียนจากเมืองหรือกิจกรรมที่ประสบความสำเร็จในระดับนานาชาติมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้เกิดกระบวนการเรียนรู้เป็นแนวทางที่จะใช้ประโยชน์ต่อไป ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้จัดทำ โครงการศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ขึ้น โดยผลการศึกษานำไปเป็นต้นแบบของการดำเนินการเพื่อการป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ด้วยกระบวนการ มีส่วนร่วมของประชาชน และใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาในพื้นที่ได้อย่าง มีประสิทธิภาพ

2.1 พื้นที่ศึกษา

โครงการศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ดำเนินการในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ โดยศึกษานำร่อง 3 หน่วยงาน ได้แก่

1. เทศบาลเมืองบุรีรัมย์
2. เทศบาลตำบลสตึก
3. เทศบาลตำบลพุทไธสง



รูปที่ 1 พื้นที่โครงการศึกษา

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

คณะผู้ดำเนินงานโครงการได้ศึกษาข้อมูลเอกสารที่ได้จากแหล่งต่างๆ รวมทั้งการจัดประชุมกลุ่มวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเมือง การสอบถามและการสัมภาษณ์แบบมีส่วนร่วมจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในภาคสนาม โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาดังต่อไปนี้

2.2.1 การสัมภาษณ์ (Interview)

2.2.2 การจัดประชุมกลุ่มวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเมือง

2.2.3 การถ่ายภาพนิ่ง การบันทึกเสียง การจดบันทึกในระหว่างกระบวนการเก็บข้อมูลภาคสนามจากการใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์ และการจัดประชุมกลุ่มวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเมือง

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

(1) การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นในพื้นที่ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาประกอบการศึกษา โดยการบูรณาการของหน่วยงานในพื้นที่ศึกษาของโครงการ การเรียนรู้สภาพแวดล้อมพื้นที่เพื่อวางแผนการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ

(2) ประชุมกลุ่มและการสัมภาษณ์ เป็นกระบวนการที่ทำให้สามารถเข้าถึงพื้นที่และหน่วยงานที่รับผิดชอบ ช่วยให้เรียนรู้สภาพปัญหาเชิงพื้นที่และสภาพแวดล้อมทางความรู้สึนึกคิดของชุมชน โดยการพบปะผู้นำชุมชนและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การชี้แจงวัตถุประสงค์รวมถึงกระบวนการศึกษาและผลลัพธ์ที่พึงประสงค์ และการสอบถามประเด็นสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่

(3) จัดประชุมกลุ่มวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเมือง เป็นกระบวนการรวบรวมข้อมูลเชิงลึกที่มุ่งเน้นให้กลุ่มเป้าหมายที่ถูกเจาะจงให้เป็นผู้ให้ข้อมูลสะท้อนข้อมูลระดับพื้นที่ และ/หรือสะท้อนข้อมูลผ่านการเป็นตัวแทนกลุ่มหรือตัวแทนชุมชนในพื้นที่ศึกษาโดยมีวิธีปฏิบัติ ดังนี้

- กำหนดกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลักในการศึกษา ได้แก่ ผู้บริหาร นักวิชาการจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดบุรีรัมย์

- จัดประชุมกลุ่มวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเมือง โดยการนำเสนอรายละเอียดโครงการและรับชมวีดิทัศน์เรื่อง แนวทางการจัดการเมืองสิ่งแวดล้อมยั่งยืนการจัดประชุมกลุ่มย่อยเพื่อวิเคราะห์ปัญหา และจัดลำดับความสำคัญปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมือง

2.3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

เป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเพิ่มเติม โดยการทบทวนเอกสารการจัดการสิ่งแวดล้อมเมืองยั่งยืนและทบทวนสถานการณ์ปัจจุบันของปัญหาสิ่งแวดล้อมเมือง การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเมืองยั่งยืนในระดับประเทศ ซึ่งอาศัยกระบวนการถอดบทเรียนจากเมืองหรือกิจกรรมที่ประสบความสำเร็จในต่างประเทศมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดกระบวนการเรียนรู้เป็นแนวทางที่จะใช้ประโยชน์ต่อไป ด้วยการสืบค้นข้อมูลที่มีการเผยแพร่ในแหล่งข้อมูลทุติยภูมิต่างๆ เช่น เอกสารรายงานของหน่วยงานราชการ หนังสือหรือตำรา รายงานการวิจัย และข่าวสาร เป็นต้น ข้อมูลทุติยภูมิที่สืบค้นได้จากแหล่งต่างๆ ที่กล่าวมานี้จะช่วยทำให้การศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากการรวบรวมข้อมูลในภาคสนามด้วยวิธีการต่างๆ

3. ผลการวิจัย

การดำเนินงานโครงการศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ ได้ผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

3.1 การลงพื้นที่นำเสนอรูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่เข้าร่วมโครงการจากการสำรวจสภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมือง ในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้วิธี Focus group ดำเนินการประชุม โดยแบ่งกลุ่มตามพื้นที่ ได้นำเสนอปัญหาสิ่งแวดล้อมเรียงลำดับตลอดจนนำเสนอปัญหาและแนวทางแก้ไขดังนี้

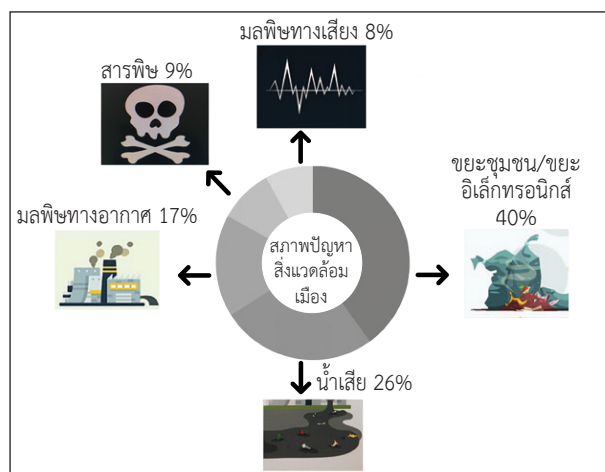
1. ปัญหาขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีความต้องการแก้ไขสูงถึงร้อยละ 40 โดยสะท้อนปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะที่มาจาก การเพิ่มขึ้นของประชากร การพัฒนาเมืองอย่างรวดเร็ว

2. ปัญหาน้ำเสียร้อยละ 26 พบว่า มีปัญหาจากการระบายน้ำในเขตเมืองไม่สามารถระบายได้อย่างต่อเนื่อง มีน้ำเสียท่วมขัง การบำบัดน้ำเสียชุมชนยังไม่สามารถบริการได้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ชุมชน โดยมีปัญหาน้ำเน่าเสียปัญหาวัชพืชในแหล่งน้ำสาธารณะ ขยะในแหล่งน้ำ เป็นต้น

3. ปัญหามลพิษทางอากาศ พบว่าในเขตเมืองมีปัญหาน้อยกว่าในชุมชนชนบท สะท้อนปัญหาร้อยละ 17 มาจากการเผาในที่โล่ง พื้นที่เกษตรกรรม

4. ปัญหามลพิษทางเสียงร้อยละ 9 มาจากการคมนาคมขนส่ง พื้นที่ติดริมถนน มีปริมาณจราจรหนาแน่นและการเกิดเสียงรบกวนในเวลาากลางคืนจากการปรับแต่งเครื่องยนต์

5. ปัญหาสารพิษ ร้อยละ 8 มาจากการใช้สารเคมีทางการเกษตร ซึ่งประชาชนพบว่ามีการใช้ปริมาณสารเคมีเพิ่มมากขึ้น เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของแมลง และวัชพืชที่มาทำลายพืชผลทางการเกษตร ซึ่งมีการนำสารเคมีที่มีความรุนแรง มีความเป็นพิษสูงมาใช้ในพื้นที่ค่อนข้างมาก



รูปที่ 2 สภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมเมืองจังหวัดบุรีรัมย์

ซึ่งจากการดำเนินการในภาพรวมของจังหวัดนำมาคิดวิเคราะห์ พื้นที่เป้าหมาย 3 ท้องถิ่น มีข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ และนำเสนอปัญหาท้องถิ่นได้ดังนี้¹

3.1.1 เทศบาลตำบลสตึก สรุปปัญหาของท้องถิ่น ได้ดังนี้

1. ปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเจริญของเมือง

2. การขาดแคลนงบประมาณ เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดการขยะมูลฝอย และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เก่า มีการใช้งานมานานแล้ว ตลอดจนการจัดการขยะมูลฝอยให้มีโรงพักขยะ ที่ล้าง เครื่องอัดขยะเพื่อทำเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF)

3. การประสานงานกับหน่วยงานภาครัฐ ให้เกิดความเข้าใจในปัญหาของท้องถิ่น ตลอดจนแนวทางการบริหารจัดการขยะโดยทำเป็นเชื้อเพลิงขยะ RDF

4. การลักลอบทิ้งขยะตามเขตรอยต่อของเทศบาล

5. การสร้างจิตสำนึกและวินัยในการทิ้งขยะให้กับประชาชน

6. การบังคับใช้กฎหมาย กฎระเบียบข้อบังคับเพื่อให้มีระเบียบวินัยในการทิ้งขยะ โดยมีภาคีการร่วมกันกับท้องถิ่นที่เป็นสมาชิกในการใช้พื้นที่ร่วมกันในการกำจัดขยะ²

3.1.2 เทศบาลตำบลพุทไธสง

ปัจจุบันมีที่ดินของตนเองในการจัดการขยะมูลฝอย โดยมีแผนการจัดซื้อที่ดินเพิ่มเติมอีก จำนวน 21 ไร่ ในอดีตเทศบาลมีปัญหาเรื่องการเทกองแล้วเผา ทำให้เกิดการร้องเรียนเนื่องจากชุมชนมีการขยายตัวและมีการเข้ามาตั้งบ้านเรือนใกล้กับบริเวณที่ทิ้งขยะ ต่อมาเทศบาลได้ทำการแก้ไขปรับปรุงระบบให้เป็นแบบ Control Dumping ซึ่งก็สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นไปได้บ้าง ปัจจุบันมีปัญหาการขอรับเงินอุดหนุน การจัดเก็บค่าทิ้งขยะ เนื่องจากสำนักงานการตรวจเงินแผ่นดินได้ทักท้วงว่าไม่มีตาชั่งในการชั่งน้ำหนักขยะมูลฝอย ทำให้ไม่สามารถทราบปริมาณขยะที่นำเข้ามาร่วมใช้ทั้งในพื้นที่ เพื่อที่จะได้ทำการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการทิ้งขยะได้ตามปริมาณขยะขณะนี้กำลังใช้งบประมาณในการก่อสร้างรั้ว จัดซื้อตาชั่ง และทำโรงเรือน แต่ยังคงขาดงบประมาณในการศึกษาออกแบบ ซึ่งเบื้องต้นคาดว่าจะขอสนับสนุนจากหน่วยงานที่มาขอใช้ที่ทิ้งขยะร่วมกัน แต่ไม่ทราบว่า จะจัดระเบียบข้อกำหนดหรือไม่³

3.1.3 เทศบาลเมืองบุรีรัมย์

มีที่ดินที่ใช้ทิ้งขยะจำนวน 100 ไร่ ที่ตำบลพระครู อำเภอเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 47 บ่อ และปัจจุบันใกล้จะเต็มทุกบ่อแล้ว โดยมีขยะสะสมอยู่ประมาณ 4 แสนตัน และมี อปท. อื่นมาร่วมใช้ที่ทิ้งขยะจำนวน 18 แห่ง ส่วนแนวทางแก้ไขในอนาคตที่ได้ศึกษาไว้คือ การทำเชื้อเพลิงขยะ RDF การตอบสนองต่อปัญหาของท้องถิ่นของการดำเนินงานของจังหวัดในภาพรวม ต้องมีการวางแผนในการจัดการขยะที่ต้นทาง การขอพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย การจัดทำโครงการแผนงานของการสนับสนุนงบประมาณตามแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมจังหวัด และปัญหาในแต่ละท้องถิ่น ต้องมีกลไกสำคัญของการกำหนดเป้าหมายร่วมกัน การสนับสนุนจากหน่วยงานส่วนกลาง ภูมิภาค สู่ระดับท้องถิ่นต้องทำงานสอดประสานและมีความต่อเนื่องตั้งแต่ระดับนโยบายสู่ระดับปฏิบัติ สามารถวัดผลได้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งจากโครงการนี้จะเห็นได้ว่าการแบ่งท้องถิ่นตามกำลังความสามารถและขนาดของท้องถิ่น การดำเนินการจึงมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ต้องให้ความสำคัญของการสนับสนุนงบประมาณซึ่งที่ผ่านมาหลายท้องถิ่น โดยเฉพาะขนาดเล็กมีปัญหาในการดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยข้อจำกัดของงบประมาณ ทั้งนี้การวางแผนการวางแผนต้องมีความชัดเจนในการพัฒนาพื้นที่ ควรเป็นการพัฒนาที่มีความต่อเนื่องและการให้ความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยต้องเป็นวาระเร่งด่วน ผู้บริหารท้องถิ่นต้องให้ความสำคัญเน้นการบริหารจัดการที่ต้นทางคือการลดปริมาณขยะที่แหล่งกำเนิด รวมทั้งการสร้างจิตสำนึกในการช่วยลดปริมาณขยะจะอย่างไรให้คนไทยทุกคนได้รับทราบถึงปัญหา และให้ความร่วมมือในการช่วยลดปริมาณ⁴

3.2 การให้คำปรึกษาการจัดทำแผนงานโครงการเพื่อขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อม การจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัด โดยพิจารณาจากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่พบว่าปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย เป็นปัญหาสำคัญลำดับที่ 1 ซึ่งคณะผู้วิจัยได้พิจารณาแล้ว เห็นว่าการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ ควรได้รับการสนับสนุนงบประมาณผ่านระบบการของบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อม และเป็นการนำปัญหาไปสู่แนวทางการแก้ไขอย่างเป็นระบบและครบวงจร จึงได้หารือกับสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์วิทยากรในการให้ความรู้กับท้องถิ่นที่เข้าร่วมโครงการโดยแบ่งลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การจัดการขยะมูลฝอยที่ต้นทาง ได้แก่ การคัดแยกขยะ การเก็บขนขยะมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ เทศบาลที่เข้าร่วมนำร่อง ได้แก่ เทศบาลตำบลพุทไธสง จัดอบรมให้ความรู้การคัดแยกขยะ การหาลำดับประกอบมูลฝอย และการเขียนแผนงานโครงการรณรงค์เพื่อสร้างจิตสำนึก โดยมีวิทยากรจากกองทุนสิ่งแวดล้อม ได้ให้ความรู้ในเรื่องดังกล่าว และหลักการเขียนโครงการเพื่อขอรับการสนับสนุนงบประมาณ

2. การจัดการขยะมูลฝอย ในการเก็บขน การบริหารจัดการขยะมูลฝอยของท้องถิ่น ได้แก่ การให้เทศบาลที่บริหารจัดการมูลฝอยโดยบูรณาการร่วมกันระหว่างหน่วยงานในท้องถิ่น จัดเป็นกลุ่มท้องถิ่นในการจัดการมูลฝอยร่วมกัน ได้แก่ เทศบาลตำบลสตึก จัดอบรมให้ความรู้การบริหารจัดการโครงการจัดการมูลฝอยสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การเขียนโครงการเพื่อขอรับการสนับสนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อมในการบริหารจัดการระบบการจัดการมูลฝอยชุมชนของท้องถิ่น

3. การจัดการขยะมูลฝอยในการฟื้นฟูระบบกำจัดมูลฝอย การเพิ่มประสิทธิภาพระบบฝังกลบ เทศบาลที่เข้าร่วมโครงการ ได้แก่ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ จัดอบรมให้ความรู้ในการฟื้นฟูพื้นที่ฝังกลบ การใช้เทคโนโลยีประมาณการอายุหลุมฝังกลบ และการของบประมาณสนับสนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อมในการพัฒนาโครงการในพื้นที่เดิม โดยเน้นการใช้ประโยชน์ จากขยะเป็นพลังงาน waste to energy

ระหว่างวันที่ 28 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน 2562 ณ ห้องประชุมเทศบาลตำบลสตึก เทศบาลตำบลพุทไธสง และโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ ตามลำดับ โดยได้รับความร่วมมือจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มอบหมายให้นายเกียรติพิบูล แสงสี ตำแหน่ง นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ กองบริหารงานกองทุนสิ่งแวดล้อม เป็นผู้แทนเข้าร่วมให้คำปรึกษา และได้รับความสนใจความร่วมมือเป็นอย่างดีจากท้องถิ่น โดยเฉพาะแนวทางการเขียนข้อเสนอโครงการเพื่อขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการให้คำปรึกษา เทศบาลตำบลพุทไธสง ได้นำเสนอโครงการสร้างจิตสำนึกในการคัดแยกขยะชุมชนเพื่อขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3 การหารือแนวทางการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่และการจัดทำแผนสิ่งแวดล้อม การเขียนข้อเสนอโครงการ เพื่อขอรับการสนับสนุนงบประมาณ จากกองทุนสิ่งแวดล้อม

3.3 การนำเสนอรูปแบบการจัดการขยะเบื้องต้น
ตารางที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของเทศบาลที่เข้าร่วมโครงการ

รายชื่อ	จำนวนประชากร (คน)	เนื้อที่เทศบาล (ตร.กม.)	พื้นที่ทิ้งขยะ (ไร่)	ปริมาณขยะ/วัน (ตัน/วัน)		รูปแบบที่เหมาะสม
				เฉพาะเทศบาล	เทศบาล+อปท.อื่น	
เทศบาลเมืองบุรีรัมย์	27,000	6	100	40	110	1. หมักปุ๋ย+ฝังกลบ 2. หมักก๊าซ+ฝังกลบ 3. RDF+ฝังกลบ
เทศบาลตำบลสตึก	12,000	18	121	12	54	1. ฝังกลบ 2. หมักปุ๋ย+ฝังกลบ 3. หมักก๊าซ+ฝังกลบ 4. RDF+ฝังกลบ
เทศบาลตำบลพุทไธสง	4,600	6.9	21	6	21	1. ฝังกลบ 2. หมักปุ๋ย+ฝังกลบ 3. หมักก๊าซ+ฝังกลบ 4. RDF+ฝังกลบ

จากตารางที่ 1 ที่ปรึกษาได้เสนอแนะรูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการขยะมูลฝอย แต่ละท้องถิ่นที่เข้าร่วมโครงการ เป็นระบบรวมกันกับการฝังกลบ โดยเน้นให้ความสำคัญของการบริหารจัดการร่วมกัน กับระบบต่างๆ ตั้งแต่การฝังกลบ การหมักทำปุ๋ย และการผลิต RDF โดยที่ให้ความสำคัญกับระบบ RDF เนื่องจากระบบดังกล่าวมีความเหมาะสมกับพื้นที่ท้องถิ่นที่เข้าร่วมโครงการในการนำขยะไปสู่การแปรรูปเป็นพลังงาน ซึ่งจะเป็นการนำขยะเก่ามาใช้ประโยชน์เพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่ฝังกลบ เช่น กรณีของเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ ที่ปรึกษาได้ประเมินปริมาณขยะเก่ามีจำนวนมาก ประกอบกับพื้นที่ฝังกลบมีพื้นที่จำกัด จึงควรฟื้นฟูพื้นที่เก่าโดยพัฒนาพื้นที่ให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการฝังกลบเพื่อยืดอายุพื้นที่ฝังกลบในระยะยาว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.4 แนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะมูลฝอย

การลงพื้นที่เพื่อติดตามการดำเนินงานการนำรูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ไปประยุกต์ใช้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่เข้าร่วมโครงการ และให้คำปรึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพสถานที่ฝังกลบมูลฝอย ณ เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เทศบาลตำบลพุทไธสง เทศบาลตำบลสตึก และเทศบาลตำบลกระสัง จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างวันที่ 20 - 24 มกราคม 2563

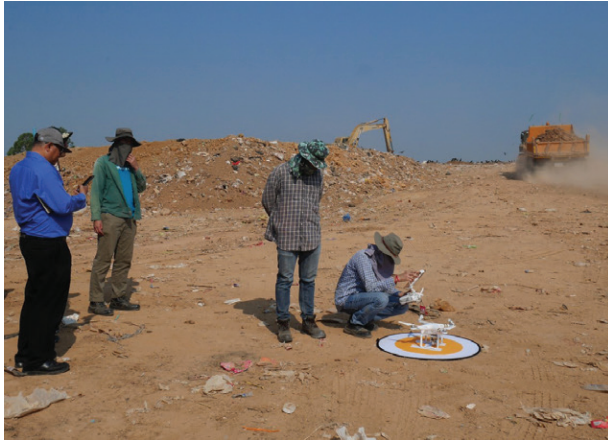
การวางแผนการฟื้นฟูบ่อขยะ แนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะมูลฝอยของสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ ได้นำเสนอแนวทางเลือกให้เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ 4 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1 การเชื่อมบ่อฝังกลบทั้งหมดรวมกัน วิธีนี้ทางท้องถิ่นต้องมีการวางแผนดำเนินการในเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้ 1. การตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักดินเดิม (Slope Stability Analysis) 2. การวางแผนปรับปรุง Buffer Zone เช่น การปลูกกระถิน ยูคาลิปตัส 3. การออกแบบระบบ Liner และระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอย 4. การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย Leachate Recirculation 5. การวางแผนเส้นทางเดินรถหนัก รถเบา

ทางเลือกที่ 2 การทำเหมืองบ่อขยะ Landfill Mining เป็นการรื้อเพื่อคัดเอาวัสดุมาใช้ประโยชน์ โดยวิธี landfill Mining นี้ ทางท้องถิ่นต้องไปดำเนินการจัดเตรียมเบื้องต้นในเรื่องของการสำรวจปริมาณ คุณภาพ ลักษณะของขยะมูลฝอย และการกระจายตัวของน้ำในกองขยะ ซึ่งวิธีนี้ควรจะมีโครงการต่อเนื่องเพื่อให้สอดคล้องกับการรื้อและแยกวัสดุเหล่านั้น

ทางเลือกที่ 3 การบำบัดขยะด้วยวิธีเชิงกล โดยการลดปริมาณขยะ เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย และยังได้พลังงานจากขยะมูลฝอย

ทางเลือกที่ 4 การจ้างเหมาเอกชนขนย้ายขยะไปกำจัดในที่เอกชน ซึ่งใช้เงินมาก จำเป็นต้องหาทางของบประมาณจากส่วนกลางมาช่วยสนับสนุน และอาจก่อให้เกิดปัญหาหากไม่มีการจัดการที่ดีพอ⁵



รูปที่ 4 การศึกษาสภาพติดตามขวางของพื้นที่ฝังกลบขยะ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ

3.5 การลงพื้นที่เพื่อจัดกิจกรรมลดขยะที่ต้นทางสำหรับตลาดสดและโรงเรียน ณ เทศบาลตำบลพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์ จัดกิจกรรมลดขยะที่ต้นทางสำหรับตลาดสดและโรงเรียน ณ เทศบาลตำบลพุทไธสง อำเภอพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยมีการตั้งแถวจัดขบวน ประกอบไปด้วยคณะครูและนักเรียนโรงเรียนพุทไธสง จำนวน 80 คน เพื่อร่วมรณรงค์ลดขยะที่ต้นทางลดการใช้ถุงพลาสติก และสนับสนุนการใช้ถุงผ้า พร้อมแจกถุงผ้าจำนวน 200 ใบ หนังสือการจัดการขยะที่ต้นทาง และหน้ากากอนามัย 100 ชิ้น ให้แก่ผู้ประกอบการ พ่อค้า แม่ค้า ตลอดจนประชาชนที่เข้ามาจับจ่ายใช้สอยที่บริเวณตลาดสดเทศบาลตำบลพุทไธสง



รูปที่ 5 กิจกรรมลดขยะที่ต้นทางสำหรับตลาดสดและโรงเรียน ณ เทศบาลตำบลพุทไธสง อำเภอพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์

3.6 การพัฒนาศักยภาพของเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการจัดการขยะมูลฝอยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล และให้เกิดการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการจัดการเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพของเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการจัดการ

ขยะมูลฝอย กลุ่มเป้าหมายหลัก ได้แก่ ผู้บริหาร นักวิชาการที่เกี่ยวข้อง องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 24 คน ระหว่างวันที่ 17 - 18 มีนาคม 2563 ณ ห้องประชุม Tempo 1 ชั้น 8 โรงแรมนารา แจ้งวัฒนะ 13 กรุงเทพฯ และศูนย์กำจัดมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี อำเภอน้อย จังหวัดนนทบุรี ผู้เข้าร่วมอบรมได้รับข้อมูลพื้นฐาน และเข้าเยี่ยมชม ศึกษาดูงานเกี่ยวกับระบบฝังกลบ การรื้อถอน ขยะติดเชื้อ และสิ่งปฏิกูล



รูปที่ 6 จัดฝึกอบรมการจัดการขยะสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

4.1.1 ให้ผลการศึกษาวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการขับเคลื่อนการจัดการสิ่งแวดล้อมเมืองในขั้นพื้นฐาน และปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความร่วมมือในการจัดการศึกษาของทุกองค์กรที่เกี่ยวข้องในการจัดการสิ่งแวดล้อม ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้นด้วยการกำหนดให้องค์กรทุกภาคส่วนในระดับจังหวัดและท้องถิ่นสร้างความร่วมมือกับเครือข่าย ภาคประชาชนในการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาการจัดการมูลฝอยต้องเริ่มจากต้นทาง

4.1.2 ทุกภาคส่วนของท้องถิ่นและหน่วยงานในระดับจังหวัด สนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อม อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการจัดทำข้อมูลพื้นฐานของท้องถิ่นเพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการปัญหา สิ่งแวดล้อมของเมือง เช่น ข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมของเมือง

4.1.3 ให้ความสำคัญและจัดสรรงบประมาณเพิ่มมากขึ้นในส่วนของการจัดการสิ่งแวดล้อมของเมือง

4.1.4 เพิ่มอำนาจหน้าที่ของท้องถิ่นให้ดำเนินการตามกฎหมายมากขึ้น ครอบคลุมการบริการสาธารณะ และการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ เช่น การออกข้อบัญญัติค่าธรรมเนียมในการจัดการขยะมูลฝอย

4.1.5 เตรียมความพร้อมในด้านบุคลากร ในการสร้างความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ เช่น นำเสนอ ผลงาน หรือนำรูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมของจังหวัดตนเองไปนำเสนอต่อจังหวัดอื่น เพื่อสร้างเครือข่าย พันธมิตรทางการพัฒนาร่วมกันแบบต่อยอดในอนาคต

4.1.6 การพัฒนาเมืองในอนาคต ควรมีการเตรียมความพร้อมในด้านการประสานงานกับชุมชน และผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายให้มีความรวดเร็ว คล่องตัว สามารถสื่อสาร และประสานงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.7 ผู้บริหารท้องถิ่น ต้องมีการจัดการในชุมชนและควรมีการปรับวิสัยทัศน์การทำงานร่วมกับ องค์กรอื่นด้วยใจบริการ เพราะจะเป็นการทำงานเพื่อส่วนร่วมมากขึ้นอย่างชัดเจน

4.1.8 การวิจัยครั้งนี้เป็นกระบวนการวิจัยตั้งแต่การค้นหาปัญหา การจัดลำดับความสำคัญ และการหาแนวทางแก้ไขปัญหามีระบบ โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน และภาคส่วนที่มีบทบาทในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในปัญหาอื่นๆ ต่อไป

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 จากการศึกษาในระบอบแรกนี้ต้องขยายผลการศึกษาจากกระบวนการมีส่วนร่วมของภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐและองค์กรภาคประชาชนในการให้ความร่วมมือ เพื่อนำเสนอแนวทางที่จะดำเนินการในการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงควรทำการศึกษาในระยะยาว จากความสำเร็จในมาตรการต่างๆ ตลอดจนการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมในภาคส่วนอื่นๆ

4.2.2 การดำเนินงานต้องศึกษาในช่วงที่เป็นเหตุการณ์ปกติ ในภาวะวิกฤติ เช่น การเกิดโรคระบาด โควิด-19 ทำให้ขาดการประสานงานอย่างต่อเนื่อง และภารกิจป้องกันโรค จึงต้องทำในรูปแบบแผนการดำเนินการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า และการแก้ไขปัญหาในระยะยาวที่สอดคล้องกับสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น

4.2.3 การดำเนินการสื่อสารเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในท้องถิ่นอื่นๆ ควรมีการศึกษาข้อมูลพื้นฐานข้อจำกัดแต่ละท้องถิ่น เพื่อให้เกิดรูปแบบที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหา การศึกษาเพื่อหารูปแบบจึงต้องกำหนดให้มีกระบวนการมีส่วนร่วมในภาคส่วนต่างๆ และมีการวัดผลสำเร็จในภาคส่วนต่างๆ แล้วจึงถอดบทเรียนเพื่อเป็นต้นแบบในการดำเนินงานในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณหน่วยงานส่วนท้องถิ่น หน่วยงานราชการในจังหวัดบุรีรัมย์ ที่ได้ให้ข้อมูลการรวบรวมและบันทึกไว้ในรายงานฉบับนี้ จนสามารถดำเนินการจัดทำโครงการได้จนสำเร็จเรียบร้อยทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. รายงานโครงการศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่. ปทุมธานี: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม; 2562.
2. เทศบาลตำบลสตึก. ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป เทศบาลตำบลสตึก. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 16 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.satuk.go.th>
3. เทศบาลตำบลพุทไธสง. ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป เทศบาลตำบลพุทไธสง. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 16 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.phutthaisongmncp.go.th>
4. เทศบาลเมืองบุรีรัมย์. ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป เทศบาลเมืองบุรีรัมย์. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.buriramcity.go.th>
5. คมศิลป์ ว่างยาว. แนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะมูลฝอยของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองบุรีรัมย์. เอกสารนำเสนอในการประชุมการเพิ่มประสิทธิภาพสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย; 22 มกราคม 2563; ณ สำนักงานเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์.



การวิจัยแนวทางการจัดการขยะและของเสียในอุทยานแห่งชาติ
โดยกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) กรณีศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
Study for waste management's guidelines in National parks using Participatory
Action Research (Case study: Northeastern Thailand)

น้ำฝน อัครกิจกุลโรจน์* เจนวิทย์ วงษ์ศานูน ลำไย วงษ์ศานูน ศิรพงศ์ สุขทวี สุธีระ บุญญาพิทักษ์
Namfon Asawakitkulroj*, Janewit Wongsanoon, Lamyai Wongsanoon, Sirapong Sooktawee,
Suteera Boonyapitak

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion
Email: inam_fon@hotmail.com*

บทคัดย่อ

อุทยานแห่งชาติจัดว่าเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ร่วมกัน มีความหลากหลายทางชีวภาพและอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง จึงต้องมีการจัดการที่ดีโดยเฉพาะเรื่องขยะและของเสียที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ในด้านต่างๆ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์และค้นหารูปแบบการจัดการขยะและของเสียในอุทยานแห่งชาติที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ เน้นการทำงานร่วมระหว่างนักวิจัยและหน่วยงานที่รับผิดชอบ โดยผ่านการประชุม แลกเปลี่ยนความคิด การใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์เชิงลึก และการประชุมกลุ่มย่อย นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ ประเมินศักยภาพประสิทธิผลของการบริหารจัดการในปัจจุบัน เป้าหมายคืออุทยานแห่งชาติ 9 แห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการศึกษาพบว่าปัจจุบันอุทยานฯ ส่วนใหญ่มีการจัดการขยะและของเสียเอง มีเพียงบางแห่งที่ร่วมมือกับหน่วยงานในท้องถิ่นด้วยข้อจำกัดของสถานที่ รูปแบบพื้นฐานการจัดการมีแนวทางเดียวกัน เช่น ฝังกลบทำปุ๋ยหมัก การเผา และการรีไซเคิล ปัญหาของอุทยานฯ ที่พบ ได้แก่ ไม่มีการแต่งตั้งคณะทำงานเฉพาะ ขาดความร่วมมือของชุมชน พฤติกรรมของนักท่องเที่ยว รวมถึงงบประมาณที่ได้รับจัดสรร แต่อุทยานฯ มีแผนการจัดการขยะต้นทาง เช่น มัดจำขยะ ทะเบียนขยะ นำขยะกลับบ้าน กิจกรรม Big Cleaning และจัดตั้งกลุ่มจิตอาสา ผลจากการวิจัยได้มีการขยายผลโดยหน่วยงานที่ร่วมวิจัยคือ อุทยานแห่งชาติภูเรือ อุทยานแห่งชาตินาเยีย - น้ำโสม และอุทยานแห่งชาติภูผายา นำแนวทางที่ได้จากการระดมความคิดเห็นไปเป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำแผนการเตรียมความพร้อม การประเมินรับรองเป็นอุทยานสีเขียว ซึ่งมีเกณฑ์ที่สำคัญในด้านการจัดการขยะและของเสียในอุทยาน รวมไปถึงจนถึงมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมจัดการขยะ การเผาขยะในที่โล่ง จากกระบวนการมีส่วนร่วมของงานวิจัยที่ต้องมีการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละอุทยานต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : การจัดการขยะและของเสีย อุทยานแห่งชาติ กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Abstract

National Parks are areas where people share common interests with high biodiversity but are sensitive to changes. Environmental conservation especially good waste management applied in these areas will provide abundant benefits to the people. This research project was conducted in collaboration between the research team and the co-operative people in the area to determine the waste management's guidelines suitable for these areas. The study consisted of data collection, using questionnaires, in-depth interview, group discussion and exchange ideas through brainstorming

technique to assess the potential and effectiveness of management likewise to develop guidelines or programs for waste management in each national park. The selected target areas were 9 national parks located in the Northeastern of Thailand. The findings of the study revealed that the current situation related to waste management are : most national parks have their own waste management practices, some people work with local authorities due to location restrictions, most of national parks have similar method of waste management such as landfill, composting, open burning and recycling. Generally, the national parks did not organize a working group on waste management, insufficient budget, less cooperation within the community, and minimal participation on waste separation from tourist. The results from brainstorming indicated that the the 3R model must be utilized in these areas, National park waste management policies must promoted throughout the country as well as increase more volunteers in the area. The results of this research have been expanded by the national level through the collaborative research agencies such as Phu Rua National Park, Nayoong - Namsom National Park and Phu Pha Ya National Park by combining the action plan or approach from brainstorming with the research outcome in preparation for the evaluation for Green National Park certification in which waste management is a very important criteria that must be achieved as well as improving the behavior of the people on waste management, and avoid open burning. Researchers must conduct joint reseach projects which are designed to be useful within the context of each national park .

Key words : waste management, National parks, Participatory Action Research, Northeastern of Thailand

1. บทนำ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีแนวคิดการศึกษาวิจัย เพื่อนำไปสู่ การจัดทำแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียตั้งแต่ต้นทางอย่างถูกวิธีและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยร่วมกับกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ซึ่งมีพื้นที่อุทยานแห่งชาติครอบคลุมทั่วประเทศ มีภารกิจหลัก ในการอนุรักษ์ ส่งเสริม และฟื้นฟูทรัพยากรป่าไม้ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ทั้งยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ของ ประชาชน¹ ปัจจุบันมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศให้ความสนใจท่องเที่ยวเชิงนิเวศในเขตอุทยาน เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบให้อุทยานฯ หลายแห่งประสบปัญหาด้านการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียที่มีจำนวน เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงฤดูการท่องเที่ยว เนื่องจากจำนวนเจ้าหน้าที่ที่มีภารกิจหลักอยู่แล้วหรืออาจมีปัญหา ด้านอื่นๆ ที่แตกต่างกันตามแผนการจัดการและเขตการบริหารของแต่ละพื้นที่

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน ความต้องการหรือรูปแบบการจัดการขยะและ ของเสียของอุทยานฯ ในอนาคต โดยผ่านกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมระหว่างหน่วยงานกลาง และเจ้าหน้าที่อุทยานฯ ในพื้นที่และเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะ มาตรการ โครงการหรือแนวทางในการบริหารจัดการ ขยะและของเสียที่เหมาะสมกับอุทยานฯ ในพื้นที่ศึกษา ให้บรรลุเป้าหมายการเป็นอุทยานแห่งชาติต้นแบบที่ผ่าน กระบวนการจัดการอย่างมีส่วนร่วม และเข้าสู่การเตรียมความพร้อมในการประเมินอุทยานสีเขียว (Green National Park) ซึ่งมีเกณฑ์การประเมินหลายด้าน ซึ่งหนึ่งในเกณฑ์การประเมินประกอบด้วย การลดปริมาณขยะ โดยใช้หลัก 3Rs (ลดการใช้หรือ Reduce การนำกลับมาใช้ซ้ำหรือ Reuse และการนำขยะกลับมาใช้ใหม่หรือ Recycle) การคัดแยกขยะ การเก็บรวบรวมขยะก่อนนำไปกำจัด และการกำจัดขยะ โดยเน้นประเด็นที่สำคัญ คือทราบปัญหาที่แท้จริงของ



การจัดการขยะและของเสีย สามารถให้เจ้าหน้าที่ที่มีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ด้วยตนเอง มีศักยภาพในการจัดการขยะและของเสียได้อย่างเหมาะสม มีการใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่มีอยู่ภายในพื้นที่อุทยานฯ แบบผสมผสาน เน้นการประยุกต์ใช้ให้เข้ากับพื้นที่ ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยแนวทางปฏิบัตินี้เกิดจากการระดมความคิด วิธีปฏิบัติ และการสร้างแนวทางการจัดการที่มาจากเจ้าหน้าที่ของพื้นที่อุทยานฯ นั้นๆ

เพื่อให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดการวิจัย คณะผู้วิจัยได้นำแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะมูลฝอยที่กล่าวว่าการดำรงชีวิตของมนุษย์ย่อมจะต้องมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรต่างๆ เพื่อการอุปโภคบริโภค ผลจากการใช้ทรัพยากรดังกล่าวได้ก่อให้เกิดผลผลิตถูกทิ้งไปในรูปของการเกิดขยะที่ไม่ใช้แล้วหรือที่ทิ้งแล้วหรือสิ่งอื่นใดที่ต้องเก็บกวาดจากที่ใดๆ โดยขยะและของเสียหมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้าพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร ฝุ่นละออง ฝั่มูลสัตว์หรือซากสัตว์ ครอบคลุมถึงเศษสิ่งของทุกชนิดที่เหลือใช้ เศษวัสดุต่างๆ เป็นต้น²⁻⁴ ในส่วนของวิธีการค้นหาข้อมูล การคัดเลือกแหล่งข้อมูล การตรวจทานและทดสอบ เพื่อนำมาสรุปวิเคราะห์หิววิจารณ์ผลนั้น คณะผู้วิจัยได้นำแนวคิดเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมซึ่งหมายถึงกระบวนการทางสังคมที่เปิดโอกาสให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในฐานะที่เป็นผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียได้เข้ามามีส่วนในการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร การวิเคราะห์ปัญหา การแสดงความคิดเห็น การดำเนินการประสานความร่วมมือ การติดตามตรวจสอบผลกระทบของการดำเนินการ ตลอดจนมีส่วนร่วมในการดำเนินการ การแก้ไขปัญหาในพื้นที่ของตน เพื่อให้บรรลุตามความต้องการที่แท้จริงของพื้นที่ สอดคล้องกับภารกิจและนโยบายของหน่วยงานเพื่อให้เกิดการป้องกัน แก้ไข และจัดการได้อย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพ อันเป็นการคุ้มครองคุณภาพสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน⁵⁻⁶ โดยรูปแบบของการมีส่วนร่วมที่ดำเนินอยู่โดยทั่วไปสรุปได้ 4 รูปแบบ คือ การรับรู้ข่าวสาร (Public information) การปรึกษาหารือ (Public consultation) การประชุมรับฟังความคิดเห็น (Public meeting) การร่วมในการตัดสินใจ (Decision making)⁷ และยังต้องนำข้อสังเกตของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (2544)⁸ ที่กล่าวว่ากระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน มี 2 รูปแบบ คือ กระบวนการที่ต้องอาศัยการรับรองโดยกฎหมาย และกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในรูปแบบที่ไม่เป็นทางการ⁹⁻¹⁰ มาพิจารณา

2. วิธีการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการคืออุทยานแห่งชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือประกอบด้วย อุทยานแห่งชาติภูถ้ำกลั๊ว อุทยานแห่งชาติภูผายล อุทยานแห่งชาติภูผาเหล็ก อุทยานแห่งชาติภูพาน อุทยานแห่งชาติภูกระดึง อุทยานแห่งชาติภูเรือ อุทยานแห่งชาติภูสวนทราย อุทยานแห่งชาตินาญ - น้ำโสม และอุทยานแห่งชาติภูผายา โดยวิธีการวิจัยประกอบด้วย

2.1 การเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามข้อมูลพื้นฐานการจัดการขยะและของเสีย

การอธิบายและการทดสอบแบบสอบถาม โดยการแยกแบบสอบถามแบ่งตามรายละเอียดและความเกี่ยวข้อง ในกิจกรรม สถานภาพ หน้าที่ ความรับผิดชอบ จำนวน 70 ชุด โดยคัดเลือกผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์โดยตรงในการจัดการขยะ หรือผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) การทดสอบแบบสอบถาม สรุปได้ว่าคำตอบในแบบสอบถามดังกล่าวเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ และเป็นข้อมูลเชิงปริมาณทั้งสิ้น เช่น จำนวนถังขยะ จำนวนรอบการเก็บ ความถี่ของรอบการเก็บ จำนวนรถเก็บขยะ ปริมาณขยะที่เกิดขึ้น เป็นต้น และมีบางคำถามจะเป็นคำถามที่มีคำตอบตรงที่ไม่ต้องมีการทดสอบอีก

2.2 การสัมภาษณ์เชิงลึกข้อมูลการจัดการขยะและของเสีย

โดยการคัดเลือกประเด็นที่จะสัมภาษณ์มาจากข้อคำถามบางข้อจากแบบสอบถามเบื้องต้น แยกตามรายละเอียดและความเกี่ยวข้องในกิจกรรม สถานภาพ หน้าที่ ความรับผิดชอบ รวมทั้งความรู้ความเข้าใจ จะเน้นคัดเลือกผู้ถูกสัมภาษณ์ที่เป็นผู้ปฏิบัติโดยตรงและผู้บริหารในหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านนโยบาย เพื่อเป็นการตรวจทานและยืนยันผลข้อมูลจากกระบวนการอื่นๆ

2.3 การจัดประชุมสนทนากลุ่ม

เพื่อประเมินศักยภาพ ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการขยะและของเสียในสถานการณ์ปัจจุบันและความต้องการ แผนหรือแนวทางที่วางแผนในอนาคต โดยมีผู้ร่วมประชุมคัดเลือกมาจากกลุ่มเจ้าหน้าที่ของอุทยานฯ หน่วยงานและบุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้ประกอบการ ผู้ให้บริการ เช่น ลูกหาบ รถรับจ้าง และประชาชนจากชุมชนโดยรอบอุทยานฯ จำนวน 8 - 12 คนต่อครั้ง โดยกำหนดประเด็นหลักๆ ที่ได้มาจากการวิเคราะห์แบบสอบถาม ข้อมูลพื้นฐานและการสัมภาษณ์เชิงลึก

2.4 การประชุมแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นและการระดมความคิด

โดยเป็นการประชุมร่วมกันของนักวิจัยร่วมจากแต่ละอุทยานฯ จำนวนทั้งสิ้น 9 แห่ง และผู้เกี่ยวข้องในพื้นที่ โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการสรุปวิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการที่ได้ดำเนินการแล้วเสร็จ ทำการคืนข้อมูลให้กับที่ประชุมและให้ร่วมกันระดมสมองแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นเพื่อการจัดทำแนวทางหรือโครงการจัดการขยะและของเสียที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในแต่ละพื้นที่

2.5 สรุปขั้นตอนและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามของการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สรุปผลด้วยการประมวลและวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลบางประเด็นจากแบบสอบถามได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วและเพื่อเป็นการทดสอบและยืนยันแนวโน้มของการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ

3. ผลการวิจัย

3.1 สรุปผลจากแบบสอบถาม

การเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามข้อมูลพื้นฐานการจัดการขยะและของเสีย จำนวนทั้งสิ้น 70 ชุด ได้แก่แบบสอบถามที่ใช้กับเจ้าหน้าที่ของอุทยานฯ แบบสอบถามที่ใช้กับหน่วยงานและบุคคลอื่นๆ เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้ประกอบการในเขตอุทยานฯ ผู้ให้บริการในอุทยาน เช่น ลูกหาบ รถรับจ้าง นักท่องเที่ยว และประชาชนโดยรอบอุทยานฯ ดังแสดงผลในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 จำนวนแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา และผู้เข้าใจข้อมูล

อุทยาน	ผู้ทำแบบสอบถาม				
	เจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติ	ประชาชน	อปท.	ผู้ประกอบการ	ผู้ให้บริการในอุทยาน
อุทยานแห่งชาติภูผายา	1	1	-	-	-
อุทยานแห่งชาติภูถ้ำกา	1	1	-	2	-
อุทยานแห่งชาติน่านยูง - น้ำโสม	1	-	1	1	-
อุทยานแห่งชาติภูผาเหล็ก	1	-	-	1	-
อุทยานแห่งชาติภูพาน	1	-	1	1	-
อุทยานแห่งชาติภูผายล	1	-	1	1	-
อุทยานแห่งชาติภูสวนทราย	1	5	-	1	-
อุทยานแห่งชาติภูเรือ	1	-	-	2	2
อุทยานแห่งชาติภูกระดึง	1	-	-	25	15

ตารางที่ 2 สรุปผลจากแบบสอบถาม

อุทยาน	ที่ตั้ง	พื้นที่ให้ นทท. เข้าถึง	จุด รองรับ ขยะ	จำนวน ถังขยะ	การจัดการ	ข้อจำกัด	ข้อเด่น
อุทยาน แห่งชาติ ภูผายา	ตำบลกุดจับ อำเภอภูผายา จังหวัดอุดรธานี	30 ไร่	10 จุด	5 ถัง	จัดเก็บขยะเอง โดยมีการจัดเก็บ ขยะ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	มีปัญหาการเข้าถึงข้อมูล และความรู้การจัดการขยะ ไม่มีผู้รับผิดชอบเรื่องขยะ ที่ได้รับการแต่งตั้งโดยตรง และไม่มีความร่วมมือจาก องค์กรปกครองท้องถิ่น	เก็บขยะสัปดาห์ละครั้ง ช่วงเช้า มีการคัดแยกขยะ ขยะใบไม้ทำคอกกั้น รอบโคนต้น มีการคัดแยก พลาสติก อะลูมิเนียม แก้ว กระจาดนำไปขาย
อุทยาน แห่งชาติ ภูถ้ำกา	ตำบลไผ่ล้อม อำเภอบ้านแพง จังหวัดนครพนม	10 ไร่	10 จุด	16 ถัง	จัดการขยะเอง ซึ่งจัดเก็บขยะ ตามปริมาณ เวลาไม่แน่นอน	ถังขยะมีจำนวนน้อย ไม่มี ความร่วมมือจากองค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานอื่น ปัญหา ขยะที่พบมากที่สุด เกิดจากพฤติกรรมของ นักท่องเที่ยว	มีการคัดแยกขยะทั่วไป นำไปเผาและฝังที่หลุม ฝังกลบ ตามหลักสุขาภิบาล ใบไม้ทำปุ๋ยทำคอก รอบต้นไม้ ขยะรีไซเคิล เก็บแยกขายทุกๆ 2 สัปดาห์
อุทยาน แห่งชาติ นาเยือง - น้ำโสม	ตำบลนาเยือง อำเภอนาเยือง จังหวัดอุดรธานี	13 ไร่	13 จุด	13 ถัง	อุทยานจัดการขยะ ร่วมกับ อบท.	ปัญหาการจัดการขยะ คืองบประมาณ และ ปัญหาเรื่องปริมาณ ถังขยะ มีสถานที่กำจัด ขยะเฉพาะ แต่ยังไม่ มีการคัดแยกขยะที่ดีพอ	ร้านค้าอาหารเครื่องดื่ม มีการคัดแยกขยะ มีความ ร่วมมือกับอุทยานฯ ดี รถเก็บขยะขององค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่น มาเก็บขยะในอุทยาน สัปดาห์ละครั้ง
อุทยาน แห่งชาติ ภูผาเหล็ก	ตำบลพุมวาปี อำเภอส่องดาว จังหวัดสกลนคร	10 ไร่	9 จุด	12 ถัง	จัดเก็บขยะเอง ทั้งหมด ทั้งขยะ รวมกันก่อน แล้ว ไปแยกภายหลัง	อุทยานไม่มีสถานที่กำจัด ขยะเอง จำนวนถังขยะ ไม่เพียงพอ และงบประมาณ น้อย ปัญหาส่วนใหญ่อยู่ที่ พฤติกรรมนักท่องเที่ยว	ได้รับความร่วมมือจาก องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นอย่างดี ร้านอาหาร เครื่องดื่มในอุทยานมีการ คัดแยกขยะด้วยตนเอง
อุทยาน แห่งชาติ ภูพาน	ตำบลห้วยยาง อำเภอเมือง สกลนคร จังหวัดสกลนคร	10 ไร่	7 จุด	50 ถัง	การจัดการขยะ อุทยานร่วมกับอบท. อบต. ห้วยยาง	รถเก็บขยะไม่เพียงพอ ต่อการเก็บขยะ	อบท. มีส่วนเข้าไปจัดการ ขยะในอุทยานสัปดาห์ ละครั้ง เข้ามีการคัดแยก ขยะ ทุกประเภท ขยะ รีไซเคิลนำไปจำหน่าย ใบไม้ไว้ทำปุ๋ยหมัก และ ไว้ในคอกกั้นรอบต้นไม้

อุทยาน	ที่ตั้ง	พื้นที่ให้ นทท. เข้าถึง	จุด รองรับ ขยะ	จำนวน ถังขยะ	การจัดการ	ข้อจำกัด	ข้อเด่น
อุทยาน แห่งชาติ ภูผายล	ตำบลจันทร์เพ็ญ อำเภอเต่างอย จังหวัดสกลนคร	2,000 ไร่	8 จุด	32 ถัง	จัดการขยะเอง ทั้งหมด	บุคลากรไม่พอ	การคัดแยกขยะรีไซเคิล เก็บไว้ 15 วัน ไปขาย ขยะอันตรายมีที่เก็บขยะ มีหลังคา ฝา มีการนำขยะ ทั่วไปเผา ฝังกลบ มีเตา เผามาตรฐาน
อุทยาน แห่งชาติ ภูสวนทราย	ตำบลแสงภา อำเภอนาแห้ว จังหวัดเลย	15 ไร่	15 จุด	30 ถัง	จัดการขยะเอง ทั้งหมด	มีปัญหาเรื่องบุคลากร งบประมาณมากที่สุด และการเข้าถึงข้อมูล การจัดการขยะ ความรู้ ขยะมาก ประชาชนใน อุทยานไม่มีการคัดแยก ทั้งหมดในถัง	ร้านอาหารขายของ ที่ระลึก มีการคัดแยกขยะ ร่วมมือกับอุทยาน
อุทยาน แห่งชาติ ภูเรือ	ตำบลหนองบัว อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย	2 ตร.กม.	6 จุด	50 ถัง	จัดการขยะเอง	ปัญหาของอุทยานคิดว่า จากบุคลากร ความรู้การ จัดการขยะ การเข้าถึง แหล่งข้อมูล ปัญหาจาก พฤติกรรมนักท่องเที่ยว รถขยะไม่พอ ถังขยะไม่พอ	มีความร่วมมือจาก ผู้ประกอบการ ร้านอาหาร มีการคัดแยกขยะ ทั่วไป
อุทยาน แห่งชาติ ภูกระดึง	ตำบลศรีฐาน อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย	25,000 ไร่		410 ถัง	จัดการขยะเอง ทั้งหมด เก็บขยะ ทุกๆ วันเช้า - เย็น	ปัญหา คือ งบประมาณและ จำนวนถังขยะ รถเก็บขยะ ขยะส่วนใหญ่ที่เกิดจาก นักท่องเที่ยว เช่น ขวดน้ำ แต่อุทยานมีปริมาณ ถังขยะมากพอ แต่จำนวน จุดที่ตั้งยังไม่ครอบคลุม และเจ้าหน้าที่จะไม่พอ ในฤดูท่องเที่ยว	มีความร่วมมือกับนักท่องเที่ยว ผู้ประกอบการร้านค้า ลูกหาบ เป็นอย่างดี ร้านค้าสวัสดิการ (29 ร้าน) เป็นร้านอาหาร เครื่องดื่ม มีการคัดแยกขยะทั่วไป แต่ปริมาณขยะอินทรีย์น้อย อุทยานมีการจัดการขยะ ค่อนข้างดี

3.2 ผลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก

อุทยานฯ ส่วนใหญ่มีความร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นน้อย ซึ่งเป็นตามลักษณะที่ตั้งและภูมิประเทศ
พื้นที่ มีที่ตั้งห่างจากชุมชนและหน่วยงานอื่นๆ ส่วนใหญ่อยู่ตามภูเขาหรือที่สูง ทำให้มีปัญหาในการจัดการของ
รถเก็บขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดูแลชุมชนภายนอก ทำให้รอบหรือความถี่ของการจัดเก็บขยะไม่แน่นอน
แต่อย่างไรก็ตาม จะมีการร่วมมือหากได้รับการร้องขอจากอุทยานฯ ในกรณีของฤดูท่องเที่ยวที่มีปริมาณขยะ
จำนวนมาก เกินที่ทางอุทยานฯ จะจัดการได้เอง ก็จะมีการเพิ่มเส้นทางหรือรอบความถี่การจัดเก็บขยะให้มากขึ้น



องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ช่วยอุทยานฯ ในการจัดการชยะนั้นก็ยังมีปัญหาหลายอย่าง เช่น อุปกรณ์ รถขนส่ง กำลังคนที่ไม่เพียงพอ ระบบการคัดแยกชยะ หลุมฝังกลบชยะที่มีพื้นที่จำกัด รวมทั้งมีปัญหาในการเข้าถึงข้อมูลและความรู้ เกี่ยวกับการจัดการชยะ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึกที่ได้ทั้งหมด สามารถสรุป ได้ว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ยินดีให้ความร่วมมือกับอุทยานฯ ในการจัดเก็บและกำจัดชยะในเขตอุทยานฯ

ในส่วนของร้านค้าและผู้ให้บริการภายในเขตอุทยานฯ พบว่าปัจจุบันได้มีการร่วมมือกับทางอุทยานฯ รวมทั้ง มีการคัดแยกและจัดเก็บชยะที่เกิดจากกิจกรรมของตนเองอยู่แล้ว แต่ปัญหาที่พบคือ จำนวนและสภาพของ ถังชยะที่ชำรุดและไม่เพียงพอ จุดที่ตั้งถังชยะ จำนวนความถี่และรอบการเก็บชยะที่ไม่ครอบคลุม โดยเฉพาะในช่วง ฤดูกาลท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก นอกจากนี้แล้วพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวในการคัดแยกชยะก่อนทิ้ง รวมทั้ง ถังชยะที่มีการแยกประเภทของชยะยังมีน้อย ส่วนใหญ่อยากให้ทางอุทยานฯ มีแนวทางที่แน่นอนและมีการ ส่งเสริมประชาสัมพันธ์ให้มากขึ้น ทั้งหมดยินดีที่จะให้ความร่วมมือกับอุทยานฯ ตามแนวทาง แต่ต้องการให้เกิด การมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในการกำหนดแนวทางที่เป็นที่ยอมรับร่วมกันในพื้นที่ นอกจากนี้บางอุทยานฯ ยังมีประชาชนจิตอาสาในพื้นที่ที่มีความเข้มแข็งในการดำเนินงานเกี่ยวกับการจัดการชยะซึ่งควรจะมีการส่งเสริม และยกระดับความร่วมมือให้มากยิ่งขึ้น

3.3 สรุปและวิเคราะห์ผลจากการประชุมกลุ่มย่อย (Focus groups discussion)

จากการประชุมกลุ่มย่อยมีกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ เจ้าหน้าที่ของอุทยานแห่งชาติ เจ้าหน้าที่สำนักงานบริหาร พื้นที่อนุรักษ์ เจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เจ้าหน้าที่เทศบาล เจ้าหน้าที่สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคผู้ประกอบการ ลูกหาบ พนักงานขับรถสองแถว รวมถึงประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบอุทยาน โดยมีผลสรุป การจัดประชุมกลุ่มย่อย มีจำนวนผู้เข้าร่วมดังนี้

ตารางที่ 3 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุมกลุ่มย่อย

อุทยาน	จนท. อุทยาน	จนท. อบต.	ผู้ประกอบการ	ประชาชน โดยรอบ	จนท. สิ่งแวดล้อม ภาคที่ 9	จนท. เทศบาล ตำบล	จนท. ทสจ.	จนท.สนง. บริหารพื้นที่ อนุรักษ์ ที่ 10	พนัก. ขับรถ สองแถว	ลูกหาบ
ภูผายล	8 คน	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ภูพาน	10 คน	4 คน	-	-	-	-	-	-	-	-
ภูลัنگกา	10 คน	-	2 คน	2 คน	-	-	-	-	-	-
นาเยื้อง - น้ำโสม	10 คน	-	-	-	2 คน	2 คน	-	-	-	-
ภูผายา	8 คน	-	-	-	2 คน	-	1 คน	-	-	-
ภูผาเหล็ก	6 คน	1 คน	-	-	-	-	-	2 คน	-	-
ภูเรือ	10 คน	-	8 คน	-	-	-	-	-	8 คน	-
ภูกระดึง	10 คน	-	8 คน	-	-	-	-	-	-	8 คน
ภูสวนทราย	10 คน	-	5 คน	-	-	-	-	-	-	-

ประเด็นที่ 1 สถานการณ์การจัดการชยะและของเสียในปัจจุบัน อุทยานฯ จัดเก็บชยะเอง มีเพียงบางแห่ง ที่ร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ชยะที่เจ้าหน้าที่อุทยานฯ พบเวลาเดินตรวจลาดตระเวน ได้แก่ ขวดน้ำ

ขวดเครื่องดื่มชูกำลัง ซองกาแฟ กระป๋องกาแฟ โฟม ไฟแช็ก ซองบุหรี และก้นบุหรี ขยะเหล่านี้ หากเจ้าหน้าที่พบ จะเก็บรวบรวมออกมา เศษอาหารนำไปฝังกลบ ขยะทั่วไปนำไปเผาและฝังกลบ ขยะรีไซเคิลคัดแยกไว้จำหน่าย ขยะอันตรายฝังกลบ

ประเด็นที่ 2 ปัญหาในการจัดการขยะของอุทยานฯ ปัจจุบันยังไม่มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานเรื่องการจัดการขยะและของเสียโดยตรง มีโครงการอบรมให้ความรู้เรื่องการคัดแยกขยะกับชุมชน แต่ยังได้รับความร่วมมือน้อย ช่วงนักท่องเที่ยวมากเจ้าหน้าที่อุทยานบริหารจัดการขยะไม่ทัน งบประมาณสนับสนุนไม่เพียงพอทำให้การพัฒนาเป็นไปได้ยาก พฤติกรรมนักท่องเที่ยวยังไม่ค่อยให้ความร่วมมือในการคัดแยกขยะ จากการสังเกตพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวเห็นว่านักท่องเที่ยวจากต่างถิ่นให้ความสำคัญกับการคัดแยกขยะมากกว่านักท่องเที่ยวในพื้นที่

ประเด็นที่ 3 แนวทางการจัดการขยะของอุทยานฯ ให้มีประสิทธิภาพ อยากให้มีโครงการมัดจำขยะหรือทำทะเบียนขยะ อยากให้มีการประชาสัมพันธ์หรือนำนักท่องเที่ยวให้ช่วยคัดแยกขยะให้ถูกต้อง หรือนำขยะกลับออกไป ผ่านทางสื่อต่างๆ ทั้งเฟสบุ๊ก ไลน์ และ QR code มีแนวทางในการจัดการขยะอันตรายของอุทยานฯ ที่จะส่งเสริมเจ้าหน้าที่อุทยานฯ และนักท่องเที่ยวให้รวบรวมและคัดแยกขยะอันตรายอย่างถูกต้อง

3.4 การประชุมแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นและการระดมความคิดจัดทำแผนปฏิบัติการของอุทยานฯ

การประชุมเชิงปฏิบัติการระดมสมองและจัดทำแผนปฏิบัติการของอุทยานฯ เรื่อง แนวทางการจัดการขยะและของเสียอันตรายในอุทยานแห่งชาติภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สรุปผลได้ดังนี้

การจัดการขยะ การลดปริมาณขยะโดยหลัก 3R ไม่จำหน่ายถุงพลาสติก ใช้ถุงผ้า/ภาชนะใช้ทดแทน ไม่นำโฟมเข้าพื้นที่ ผ้าป่าขยะ (นักท่องเที่ยวมีส่วนร่วม) ส่งร้านรับซื้อของเก่า (รายได้ให้กับเจ้าหน้าที่ที่ทำการคัดแยก) แต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการขยะ ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล องค์ประกอบและอัตราการเกิดขยะของแต่ละอุทยาน เพื่อนำไปสู่แนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสม ให้กรมอุทยานฯ กำหนดนโยบายการจัดการขยะทุกอุทยานแห่งชาติทั่วประเทศ ประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ในการลด คัดแยกขยะทั้งภายในและภายนอกผ่านทางสื่อ เฟสบุ๊ก ไลน์ หอกระจายข่าว ป้ายประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ เครือข่ายกลุ่มอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้าน (ทสม.) และภาคีเครือข่ายองค์กรราชภัฏราชภัฏราชมงคลพิทักษ์ป่า (รสปท.) ช่วยประชาสัมพันธ์ชุมชนรอบอุทยาน

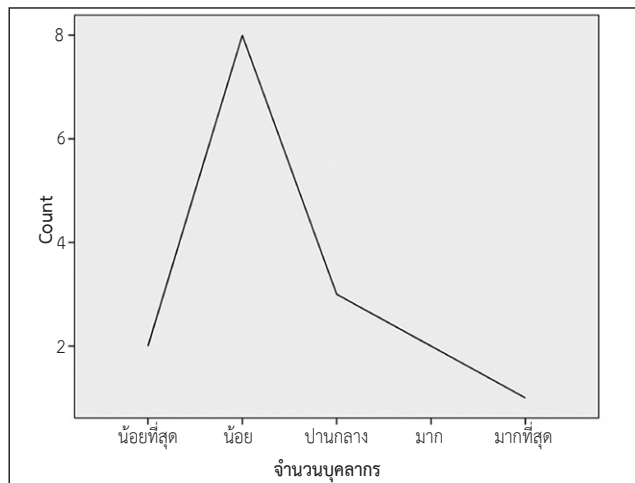
การเก็บรวบรวมขยะ กำหนดผู้รับผิดชอบการเปิด - ปิด โรงเรือนเก็บขยะมีการบันทึกการคัดแยกขยะ มีการกำหนดการทำความสะอาดสถานที่ มีการประสานงานกับผู้จัดเก็บขยะ รายงานปัญหาและอุปสรรคในการจัดการขยะ ดูแลสถานที่จัดเก็บรวบรวมขยะให้ถูกสุขอนามัย มีถังคัดแยกขยะตามประเภท แยกสีอย่างชัดเจน ตั้งจุดทิ้งขยะ โดยดูจากปริมาณนักท่องเที่ยว สถิติปริมาณขยะ ทำความสะอาดอยู่เสมอ กำหนดเวลานำขยะออก มีการรณรงค์ให้ความรู้เจ้าหน้าที่ฯ ประชาสัมพันธ์ ติดป้ายประเภทของขยะ มีการคัดแยกขยะ อย่างน้อย 3 ประเภท จัดทำถังขยะให้ครบแต่ละประเภท แบ่งสีถังขยะแต่ละประเภทให้ชัดเจน ถังขยะมีขนาดและจำนวนตามความเหมาะสม ถังขยะส่วนใหญ่ต้องมีสภาพดี สะอาด มอบหมายให้เจ้าหน้าที่รับผิดชอบประจำจุด มีการนำเอกลักษณ์ของท้องถิ่นมาเป็นส่วนหนึ่งในการจัดการขยะ เช่น สุ่มไก่ นำมาทำเป็นที่เก็บขวดพลาสติกโดยมีการตกแต่งให้กลมกลืนกับธรรมชาติ มีสถานที่สำหรับทำปุ๋ยอินทรีย์และการทำปุ๋ยหมักชีวภาพ โดยเลือกสถานที่ที่เหมาะสม ขยะแต่ละประเภทนำไปกำจัดให้เหมาะสมตามประเภท ติดป้ายประชาสัมพันธ์ขยะแยกของ เช่น โปสการ์ด ต้นไม้ และมีนวัตกรรมทิ้งขยะผิดประเภทจะมีสัญญาณเตือน

การรณรงค์ ประชาสัมพันธ์ เรื่องการลดปริมาณขยะ โครงการขยะคืนถิ่น ประชาสัมพันธ์ตามสื่อ เฟสบุ๊ก ไลน์ เดลินรณรงค์ให้นักท่องเที่ยวคัดแยกขยะ โครงการให้ความรู้นักเรียน ประชาคมหมู่บ้าน ติดป้ายประชาสัมพันธ์ร้านอาหาร/ผู้ประกอบการ รณรงค์การคัดแยกขยะทั้งภายในและภายนอก ผ่านช่องทางต่างๆ



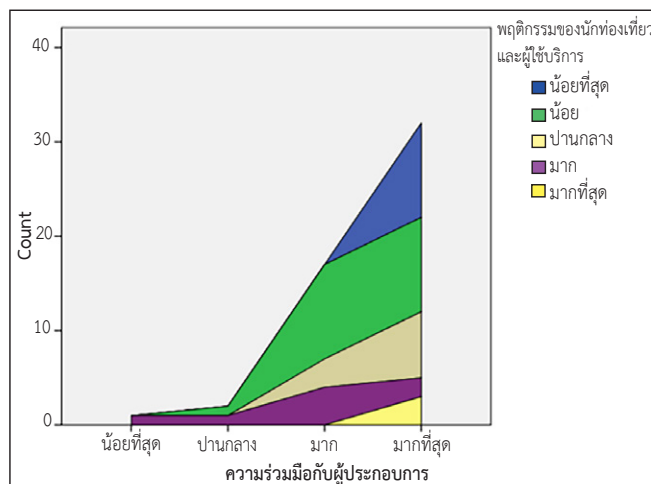
3.5 สรุปขั้นตอนและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามของการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สรุปผลด้วยการประมวลและวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลบางประเด็นจากแบบสอบถามได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เพื่อเป็นการทดสอบและยืนยันแนวโน้มของการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ โดยมีลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ตามที่ปรากฏในภัทรานิคมานนท์ (2544)¹¹ โดยในการเตรียมข้อมูลผู้วิจัยต้องเตรียมเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งในแบบสอบถามจะต้องมีการสร้างแฟ้มข้อมูลและสร้างคู่มือลงรหัส (Code book) ที่กำหนดสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ประกอบด้วย การกำหนดชื่อตัวแปร (Variable Name หรือ Name) ตำแหน่งทศนิยมของค่าของตัวแปร (Decimals) คำอธิบายชื่อตัวแปร (Label) ค่าของตัวแปร (Value) ความหมายของค่าของตัวแปร (Value Label) และระดับการวัดข้อมูล (Measure) ข้อมูลที่จะบันทึกต้องเป็นตัวเลขเท่านั้น ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยง่าย ทั้งค่าสถิติพื้นฐานและค่าสถิติสำหรับทดสอบสมมุติฐาน โดยใช้คำสั่งจาก Menu bar เลือก Analyze แล้วเลือกค่าสถิติที่ต้องการวิเคราะห์จาก Window ที่ปรากฏตามลำดับ ก็จะได้ผลการวิเคราะห์ตามต้องการ



รูปที่ 1 กราฟแสดงจำนวนบุคลากรที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดการขยะในอุทยานฯ

กราฟแสดงจำนวนบุคลากรที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดการขยะในอุทยานฯ ที่สำรวจ มีจำนวนน้อยมากและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2 คน



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความร่วมมือระหว่างเจ้าหน้าที่อุทยานฯ กับผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ

กราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าเจ้าหน้าที่อุทยานฯ ได้รับความร่วมมือในการจัดการขยะจากผู้ประกอบการมากที่สุด และได้รับความร่วมมือจากนักท่องเที่ยวน้อยที่สุด

ในการใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางสถิติ SPSS ในการวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดอยู่บ้างเกี่ยวกับจำนวนของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลบางประเด็นจากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ทั้งนี้เพื่อเป็นการทดสอบและยืนยันแนวโน้มของการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ และพบว่ามีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพที่ได้ดำเนินการ

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

จากการวิจัยแนวทางการจัดการขยะและของเสียในอุทยานแห่งชาติโดยกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) กรณีศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ารูปแบบการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพ คือวิธีในการจัดการขยะ เช่น การลดปริมาณขยะโดยหลัก 3R ไม่จำหน่ายถุงพลาสติก ใช้ถุงผ้า/ภาชนะใช้ทดแทน มีการเก็บรวบรวมขยะ กำหนดผู้รับผิดชอบการเปิด-ปิดโรงเรือนเก็บขยะ มีการบันทึกการคัดแยกขยะ รวมถึงมีการรณรงค์ให้ความรู้เจ้าหน้าที่ ประชาสัมพันธ์ ติดป้ายประเภทของขยะ ปัญหาส่วนใหญ่ของการจัดการขยะในอุทยานฯ คือ การเข้าถึงข้อมูลการจัดการที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ บางส่วนขาดความรู้เรื่องการจัดการขยะ ไม่มีการแต่งตั้งผู้รับผิดชอบการจัดการขยะโดยตรง มีความร่วมมือจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นน้อย อุทยานฯ ขาดแคลนงบประมาณ บุคลากร มีปัญหาจากนักท่องเที่ยว ในฤดูการท่องเที่ยว ถึงขยะมีจำนวนน้อยสภาพเก่าชำรุด ดังนั้นแนวทางการจัดการขยะของอุทยานฯ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ ควรเพิ่มความร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น มีแนวทางการจัดการและมอบหมายงานที่แน่นอนให้กับเจ้าหน้าที่ เพิ่มการรณรงค์ประชาสัมพันธ์กับผู้เกี่ยวข้อง ปรับปรุงถังขยะ จุดเก็บขยะ และจำนวนถังแยกประเภทขยะ เพิ่มการเข้าถึงข้อมูลการจัดการ และการอบรมให้ความรู้การจัดการขยะ จัดทำแนวทางที่แน่นอนและชัดเจนของการปฏิบัติงานที่ดี โดยการมีส่วนร่วมของผู้เกี่ยวข้องทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบการจัดการของอุทยานภูพานที่ได้ยกระดับและได้รับรางวัลให้เป็นอุทยานสีเขียวที่มีการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี โดยมีความร่วมมือจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ผู้ประกอบการ และนักท่องเที่ยวเป็นอย่างดี รวมถึงอุทยานแห่งชาตินาญ-น้ำโสม ที่ได้รับความร่วมมือจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) เป็นอย่างดีเช่นกัน และมีการเตรียมพร้อมเข้าสู่การรับการประเมินอุทยานสีเขียวอีกด้วย ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับอุทยานแห่งชาติอื่นๆ พบว่า มีการจัดการขยะเองทั้งหมด ดังนั้น หนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการจัดการขยะ คือ ความร่วมมือจากองค์กร หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผู้ประกอบการในพื้นที่ รวมถึงความร่วมมือจากนักท่องเที่ยวเอง

4.2 ข้อเสนอแนะ

อุทยานแห่งชาติเป็นพื้นที่ที่ประชาชนและรัฐใช้ประโยชน์ร่วมกัน มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงในทุกด้าน ดังนั้นหากมีการจัดการที่ดีโดยเฉพาะกับปัญหาขยะและของเสียที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่แล้ว ประโยชน์ที่จะเกิดต่อส่วนรวมย่อมมีอย่างมากมายและยั่งยืน ทั้งนี้หน่วยงานวิจัยร่วมบางแห่งคือ อุทยานแห่งชาติภูเรือ อุทยานแห่งชาตินาญ-น้ำโสม อุทยานแห่งชาติภูผายา ได้นำผลการวิจัย ระเบียบวิธีวิจัย แผนปฏิบัติงานหรือแนวทางที่ได้ร่วมกันระดมความคิดจากกระบวนการวิจัยจากการร่วมวิจัยตามโครงการวิจัยนี้ไปเป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำแผนการเตรียมความพร้อมในการประเมินการรับรองเป็นอุทยานสีเขียว ซึ่งอุทยานแห่งชาติทุกๆ แห่งในประเทศจะต้องมีการจัดการให้ได้การรับรองนี้ ดังนั้นจึงควรมีการเผยแพร่ต่อยอดการวิจัยให้ครอบคลุมกว้างขวางและสอดคล้องกับบริบทของอุทยานแห่งชาติทุกๆ แห่ง ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการจัดการขยะคือการมีส่วนร่วมของหน่วยงานที่มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ หากไม่มีการดำเนินงานร่วมกันควรศึกษาประเด็น



ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการขยะในพื้นที่ตนเอง บริบทที่มีความแตกต่างของอุทยานไม่ว่าจะเป็นลักษณะทางกายภาพ เช่น อุทยานบนภูเขา หรืออุทยานที่อยู่ในที่ราบ จำนวนนักท่องเที่ยว หรือความร่วมมือของผู้ประกอบการในพื้นที่ เพื่อให้มีรูปแบบแนวทางการจัดการขยะที่ดีต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยแนวทางการจัดการขยะและของเสียในอุทยานแห่งชาติฯ นี้ สำเร็จลงได้ด้วยการทำงานร่วมกันระหว่าง คณะวิจัยและหน่วยงานร่วมวิจัยในพื้นที่ คือ เจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติ เจ้าหน้าที่สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ เจ้าหน้าที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค เจ้าหน้าที่สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้ประกอบการ ร้านค้า ผู้ให้บริการ นักท่องเที่ยวและประชาชนที่อยู่โดยรอบอุทยานฯ ในพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ขอขอบคุณ หน่วยงานและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูงและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยครั้งนี้ จะถูกนำไปใช้ให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ และการวิจัยเชิงบูรณาการ ในลักษณะเช่นนี้จะถูกนำไปเผยแพร่ เพื่อเป็นการต่อยอดให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. พระราชบัญญัติอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2562. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 136 ตอนที่ 71 ก. หน้า 145. (ลงวันที่ 29 พฤษภาคม 2562)
2. กรมควบคุมมลพิษ. สรุปลสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2551. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2551.
3. ศรีนทร์ทิพย์ กริมเขียว. การพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูปวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง น้ำ ฟา และดวงดาวสำหรับนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต]. นครสวรรค์: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์; 2550.
4. สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์. หลักการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2550.
5. ชีระพงษ์ แก้วหาวงษ์. กระบวนการเสริมสร้างชุมชนเข้มแข็งประชาคมประชาสังคม. ขอนแก่น: คลังนานาวิทยา; 2543.
6. อรทัย ก๊กผล. Best practices ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีความเป็นเลิศด้านความโปร่งใส และการมีส่วนร่วมของประชาชน. กรุงเทพฯ: สถาบันพระปกเกล้า; 2546.
7. ประพันธ์ วรรณบวร. รูปแบบของการมีส่วนร่วม. กรุงเทพฯ: สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้; 2543.
8. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. ธรรมนูญการมีส่วนร่วมของประชาชนและกระบวนการทางสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สายธาร; 2544.
9. Erwin W. Participation management: Concept, theory and implementtation. S.L. Atlanta: State University; 1976.
10. Reeder WW. Some aspects of the informal social participation of farm familers in New York State Cornell University. New York: Cornell University; 1974.
11. ภัทรา นิคมานนท์. การวิจัยทางการศึกษาและสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: บริษัท อักษรราพิพัฒน์ จำกัด; 2544.

การประเมินทางเลือกการปรับตัวของเมืองชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยต่อการเพิ่มขึ้น
ของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง

Evaluation of adaptation options to sea level rise, coastal erosion, and storm
surge for coastal cities along the Gulf of Thailand

อัคร คำเมือง* ศุภฤกษ์ พุกพัก นิดาลักษณ์ อรุณจันทร์ อัสมน ลิมสกุล

Asadorn Kammuang*, Suppalerk Pukpak, Nidalak Aroonchan, Atsamon Limsakul

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: a_sadorn@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง เป็นปัญหาที่ชุมชนในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ได้รับผลกระทบเป็นอันมาก เพราะเป็นปัญหาที่ทำให้สูญเสียที่ทำกิน ขาดรายได้ และสร้างความเครียดและความกังวลต่างๆ ให้กับชุมชน ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ สังเคราะห์สถานการณ์ ความเสี่ยงและแนวทางการปรับตัวในปัจจุบันของพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก โดยผลการวิเคราะห์และสังเคราะห์นโยบาย และยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง รวมทั้งสถานการณ์ ความเสี่ยงและการปรับตัวในปัจจุบันในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก พบว่า ระดับน้ำทะเลในเขตชายฝั่งของประเทศไทย มีอัตราที่สูงขึ้น (3.6 - 6.6 มิลลิเมตร/ปี ในช่วงปี 2535 - 2562) มากกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก (3.3 มิลลิเมตร/ปี) ในขณะที่พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามันของประเทศไทย ถูกกัดเซาะประมาณ 830 กิโลเมตร และจากการคาดการณ์ว่าจะเกิดพายุซัดฝั่งรุนแรงเพิ่มขึ้น 3 - 9 เปอร์เซ็นต์ ในอนาคต ผลการศึกษาชี้พบว่า พื้นที่เสี่ยงจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่งและพายุซัดฝั่ง ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ครอบคลุม 7 จังหวัด ใน 49 ตำบล ทั้งนี้ ระดับความเสี่ยงของหมู่บ้านในแต่ละตำบล มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับที่ตั้งของหมู่บ้าน โดยทั้ง 49 ตำบล มีระดับความเสี่ยงต่อปัญหาดังกล่าว ทว่าชุมชนในพื้นที่ที่มีความสามารถในการปรับตัวเพื่อรองรับปัญหาได้ดี ทั้งนี้ ระดับความสามารถในการปรับตัวของแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน โดยที่ผ่านมารัฐบาล ราชการส่วนภูมิภาค และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีต่างๆ และชุมชนในพื้นที่ที่มีการปรับตัวรองรับสภาพปัญหาดังกล่าว โดยใช้ปฏิทินฤดูกาล (Seasonal Calendar) และการจัดลำดับความสำคัญของภัยพิบัติทางภูมิอากาศ (Climatic Hazard Ranking) โดยที่ชุมชนให้ความสำคัญกับปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง มากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ ปัญหาการขยายตัวของเมืองและอุตสาหกรรม โดยแนวทางการปรับตัวของชุมชนชายฝั่งต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง มีดังนี้ 1) การปรับตัวระดับปัจเจก 2) การปรับตัวในระดับชุมชน ซึ่งเป็นการปรับตัวในระยะสั้น และ 3) การปรับตัวในระดับการดำเนินงานของภาครัฐ ซึ่งเป็นการปรับตัวในระยะยาว

คำสำคัญ : การปรับตัว การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง พายุซัดฝั่ง

Abstract

Problems related to sea level rise, coastal erosion and storm surge has been of great concern to the communities living along the Gulf of Thailand. This problem has greatly affected the lives of many people because it caused loss of land, lack of income, and created stress and worries to the people in the community. This research was conducted with the objective to



analyze and synthesize current risk and adaptation situations in the areas along the inner Gulf of Thailand. The results of analysis and synthesis of existing policies and strategies related to sea level rise, coastal erosion and storm surge including the current risk situation and adaptation in the Gulf of Thailand area, found that sea level in the coastal zone of Thailand has risen at a higher rate (3.6 - 6.6 mm/year for the period 1992 - 2019) which is higher than the global average sea level (3.3 mm/year). Moreover, the areas along the Gulf of Thailand and Andaman coast areas of Thailand were also eroded for approximately 830 km. The results of this study found out that the areas at risks for sea level rise, coastal erosion and storm surge are the areas located along the inner Gulf of Thailand which covers about 49 sub districts located in 7 provinces. The risk level of villages in each sub-district among the 49 sub-districts were different depending on the location of the village. However, the local community has a good adaptation system to manage the problem. The level of adaptability of each area was different, during the past the national, provincial, and local government tried to extend their support to solve the problems by introducing various techniques, the people in the areas have accepted this support and adopted themselves to such problems by using seasonal calendar and climatic hazard ranking. The people in the communities also prioritized the issue of coastal erosion as the primary issue and the secondary issue is related to urban and industrial expansion. The coastal communities adaptation to sea level rise, coastal erosion and storm surge are as follows: 1) Individual adjustment, 2) community level adaptation which is a short-term adaptation and 3) adaptation in accordance to the government operations which is a long-term adaptation.

Keyword : Adaptation, Sea level rise, Coastal erosion, Storm surge

1. บทนำ

ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียตะวันออก กำลังถูกคุกคามและเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงที่จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับทะเลชายฝั่ง ทั้งเหตุการณ์ที่มีจุดเริ่มเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเล และเหตุการณ์สภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศและทะเล (Extreme Weather and Sea Event) ซึ่งเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ แต่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรง เช่น การกัดเซาะชายฝั่ง (Coastal erosion) พายุซัดฝั่ง (Storm surge)¹ ที่กำลังส่งผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อหลายภาคส่วนและเกี่ยวข้องกับการพัฒนาและการดำรงชีวิตของประชาชน ซึ่งมีแนวโน้มความรุนแรงเพิ่มขึ้นในระยะยาว ด้วยข้อเท็จจริงที่ว่าองค์ประกอบต่างๆ ของทะเลและมหาสมุทรมีการตอบสนองอย่างช้าๆ (Inert response) ในอัตราที่แตกต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ประกอบกับก๊าซเรือนกระจกมีอายุยาวนานที่สามารถคงอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งผลกระทบที่ปรากฏในปัจจุบันเป็นผลพวงที่เกิดจากการปลดปล่อยในอดีต²⁻⁴

ประเทศไทยมีชายฝั่งทะเลยาวประมาณ 3,148 กิโลเมตร และกำลังได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างต่อเนื่อง จากรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์องค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2 พบว่า ระดับน้ำทะเลบริเวณทะเลอันดามัน ทะเลจีนใต้ และทะเลในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับประเทศไทยมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 3.6 - 6.6 มิลลิเมตร/ปี ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลกหรือภูมิภาคอื่นๆ ประมาณ 2.8 - 3.2 มิลลิเมตร/ปี⁵⁻¹⁰ และจากการศึกษาด้วยแบบจำลองยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยในช่วง 30 ปี ข้างหน้า มีค่าอยู่ระหว่าง 10 - 20 เซนติเมตร

ซึ่งพื้นที่บางส่วนของกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา จะได้รับผลกระทบมากที่สุด¹¹⁻¹² นอกจากนี้ พื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทย ยังประสบกับปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรงในหลายพื้นที่ โดยการศึกษาของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งในปี พ.ศ. 2557 พบว่า มีพื้นที่ชายฝั่งที่ถูกกัดเซาะ รวมระยะทาง 830 กิโลเมตร¹³ ในแง่ของพายุซัดฝั่ง มีหลักฐานจากการศึกษา ระบุว่า พื้นที่ชายฝั่งของประเทศไทยที่มีธรณีสัณฐานในลักษณะปิดกั้นการไหลของน้ำ มีความเสี่ยงต่อน้ำทะเลหนุนเนื่องจากคลื่นพายุซัดฝั่ง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเกิดการสะสมตัวของน้ำได้ง่าย ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นสูง เช่น อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช อ่าวแหลมฉบัง จังหวัดตราด และพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดชุมพร¹³⁻¹⁴ อีกทั้ง แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของพายุหมุนเขตร้อนในอนาคตที่อาจผ่านเข้าสู่อ่าวไทย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภัยจากพายุซัดฝั่งซึ่งมีการประมาณว่า จำนวนพายุหมุนที่มีโอกาสเคลื่อนที่เข้าสู่อ่าวไทยในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม จะลดลง 20 - 44 เปอร์เซ็นต์ แต่จำนวนพายุที่มีความรุนแรงกลับเพิ่มขึ้น 3 - 9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเกิดพายุซัดฝั่งที่รุนแรงได้ในอนาคต¹⁵⁻¹⁸

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ดำเนินโครงการประเมินทางเลือกการปรับตัวของเมืองชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง เพื่อทราบถึงสถานการณ์ด้านผลกระทบ ด้านการรับรู้ และด้านการปรับตัวต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ในพื้นที่บริเวณอ่าวไทยรูปตัว ก ในการนำไปสู่แนวทางการปรับตัวจากผลกระทบ เพื่อ “ลดความเสี่ยงเพิ่มทางเลือกการปรับตัว” รวมทั้งสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจของผู้บริหารในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยบูรณาการประเด็นความเสี่ยงเข้ากับการปรับตัว เพื่อเตรียมความพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทั้งระยะสั้นและระยะยาวเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเมืองอย่างเหมาะสมในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

การประเมินทางเลือกการปรับตัวของเมืองชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง เป็นการศึกษาในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ประกอบด้วยจังหวัดชลบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร และจังหวัดเพชรบุรี โดยดำเนินการศึกษาดังนี้

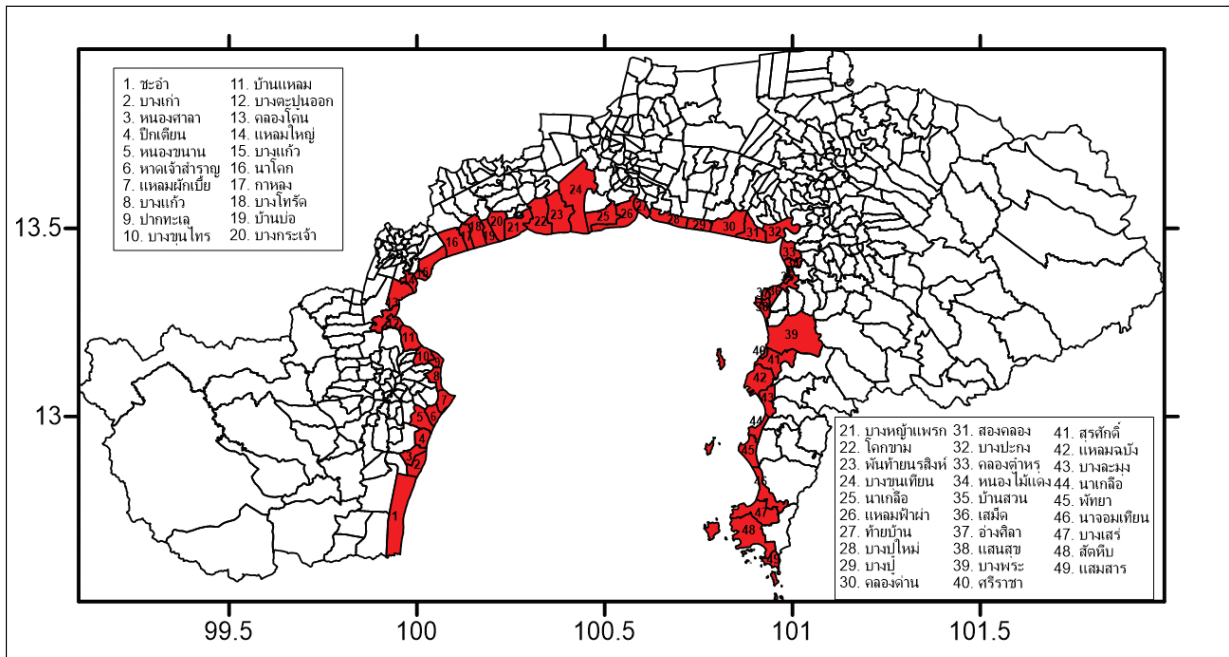
2.1 ทบทวน นโยบาย กฎหมาย แผนยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และประมวลสถานการณ์ความเสี่ยง ผลกระทบ และการปรับตัวต่อผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง จากข้อมูลทุติยภูมิ

2.2 วิเคราะห์ความเสี่ยงและพื้นที่ล่อแหลมของชุมชน โดยใช้การสัมภาษณ์ และการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) จำนวน 5 ครั้ง (7 พื้นที่) ได้แก่ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร พระสมุทรเจดีย์ สมุทรปราการ เทศบาลเมืองแสนสุข ชลบุรี เทศบาลตำบลบางเสร่ ชลบุรี องค์การบริหารส่วนตำบลสองคลอง ฉะเชิงเทรา องค์การบริหารส่วนตำบลโคกขาม สมุทรปราการ และอำเภอเมือง สมุทรสงคราม ซึ่งมีการกำหนดประเด็นหลักในการเก็บรวบรวมข้อมูล 4 ประเด็น ประกอบด้วย 1) ปฏิทินฤดูกาล 2) การจัดลำดับความสำคัญของภัยพิบัติทางภูมิอากาศ 3) การประเมินศักยภาพการตั้งรับและปรับตัว และ 4) การวางแผนปรับตัวโดยชุมชน

2.3 ประชุมสรุปผลการดำเนินงานในพื้นที่ พร้อมรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะร่วมกับชุมชนและภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ถึงแนวทางขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านการปรับตัว เพื่อลดผลกระทบ และความเสี่ยงจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง

3. ผลการวิจัย

3.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุพื้นที่เสี่ยง และทำการกำหนดจุดลงในแผนที่ความเสี่ยง ด้วยกระบวนการสำรวจ การสัมภาษณ์ผู้นำชุมชน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และสนทนากลุ่มย่อยในพื้นที่ โดยกำหนดประเด็นหลัก ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 4 ประเด็น คือ 1) ระยะเวลา/ชนิดของความเสี่ยง 2) การจัดลำดับความสำคัญของภัยพิบัติทางภูมิอากาศ 3) การปรับตัวของชุมชนในปัจจุบัน และ 4) แนวทางการปรับตัวของชุมชนในอนาคต และได้พิจารณาและจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงระดับตำบลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่งในบริเวณพื้นที่ อ่าวไทยรูปตัว ก ครอบคลุม 7 จังหวัด ประกอบด้วย กรุงเทพมหานคร ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร และเพชรบุรี ซึ่งพื้นที่เสี่ยงคือตำบลที่ติดอยู่กับชายฝั่งในบริเวณโดยรอบพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก จำนวน 49 ตำบล รวมระยะทาง 407.2 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่เสี่ยงระดับตำบลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ในพื้นที่ 7 จังหวัด บริเวณอ่าวไทยรูปตัว ก

3.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยงและพื้นที่ล่อแหลมของชุมชน ของแต่ละพื้นที่ อาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับที่ตั้งของหมู่บ้านที่มีระยะทางห่างจากชายฝั่ง ผลการศึกษาความเสี่ยงและการปรับตัวของชุมชนจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่งในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเด็นความเสี่ยงและการปรับตัวของชุมชนจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (จากการประชุมกลุ่มย่อยทั้ง 7 พื้นที่)

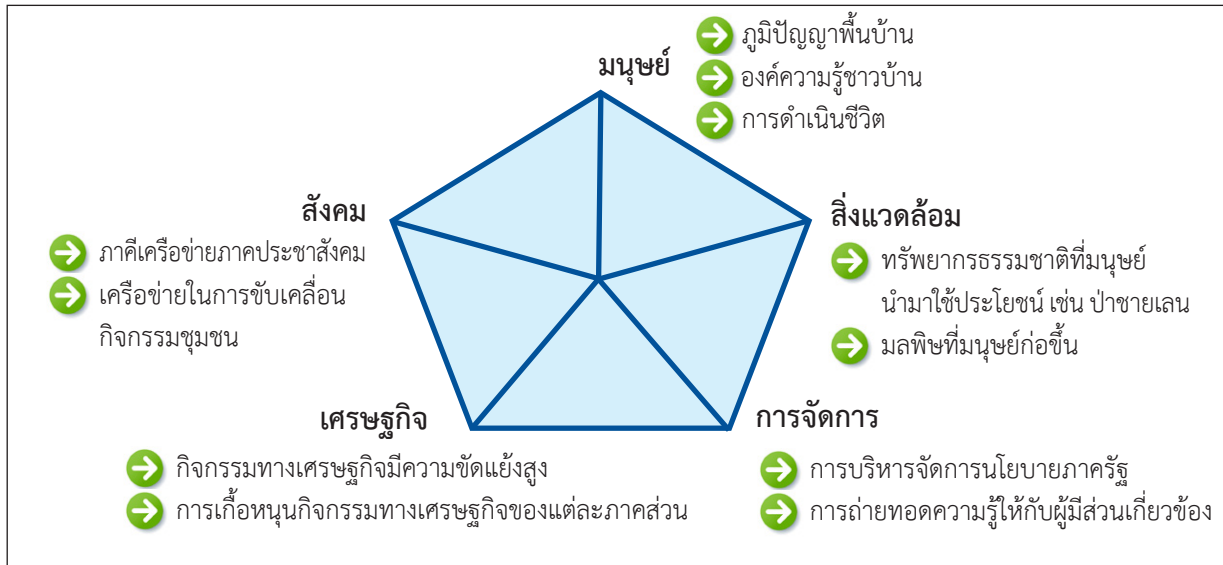
พื้นที่	ประเด็นความเสี่ยงของชุมชน	ห้วงเวลา/ชนิดของความเสี่ยง	การจัดลำดับความสำคัญของภัยพิบัติทางภูมิอากาศ	การปรับตัวของชุมชนในปัจจุบัน	แนวทางการปรับตัวของชุมชนในอนาคต
เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร	ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ทำให้สูญเสียที่ทำกิน ขาดรายได้ และสร้างความกังวลให้กับชุมชน โดยรัฐบาล กรุงเทพมหานคร ได้พยายามทดลองแก้ไขปัญหาด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งได้ผลดีในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่สร้างความมั่นใจให้กับชุมชนได้	- พายุนอกฤดูมรสุมที่จะมาในช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ ส่งผลให้เกิดคลื่นแรง และมีการกัดเซาะมากเป็นพิเศษถึงแม้ปริมาณการกัดเซาะชายฝั่งของพายุจะมีปริมาณที่มาก แต่ก็เพียงระยะเวลาสั้นๆ และไม่ได้มาเป็นประจำทุกปี - ฤดูลมเข้า หรือช่วงน้ำเกิด ที่จะมี การกัดเซาะเพียงครั้งละเล็กน้อย แต่มีความสม่ำเสมอ ตลอด ทั้งนี้ สร้างความเสียหายให้กับชุมชนอย่างมาก และต่อเนื่อง	1. ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเป็นอันดับหนึ่ง 2. ชุมชนสูญเสียที่ทำกินของตนเอง ทั้งยังมี ความเสี่ยงที่จะต้องสูญเสียเพิ่มขึ้นอีก ในอนาคตหากไม่มีการแก้ไขปัญหา 3. การสูญเสียพื้นที่ป่าชายเลน ซึ่งเป็นพื้นที่อนุบาลสัตว์ทะเลส่งผลต่อปริมาณสัตว์น้ำในวังกุ่มวังปลา 4. ก่อความเสียหายต่อบ้านเรือน สิ่งปลูกสร้าง และข้าวของเครื่องใช้ในครัวเรือน 5. ประชาชนยังสามารถรับมือและแก้ไขปัญหาด้วยตนเองได้	1. การปรับตัวต่อการกัดเซาะชายฝั่ง - การย้ายวังกุ่มวังปลา - การทิ้งหิน - การปลูกป่าชายเลน และทำแนวเขื่อนชะลอคลื่น (ไม้ไผ่และเสาไฟฟ้า) 2. การปรับตัวต่อปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล - เป็นการปรับตัวในเชิงปัจเจก - ครัวเรือนดำเนินการเอง	1. ชุมชนต้องการ - การสร้างเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ (โครงสร้างแข็ง) - ช่วยลดการกัดเซาะ - ดักจับตะกอนดิน - พื้นที่ป่าชายเลนขยายตัวเพิ่มขึ้น ระบบนิเวศในพื้นที่สมบูรณ์ - เพิ่มแหล่งอนุบาลสัตว์ทะเล - พื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น - แหล่งพักผ่อนหย่อนใจ และเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของประชาชน
พระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ	ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเป็นปัญหาหลักของชุมชนบ้านขุนสมุทรจีน จังหวัดสมุทรปราการ สร้างผลกระทบต่อประชาชน ทำให้ต้องย้ายถิ่นฐานไปอยู่นอกพื้นที่	- พายุนอกฤดูมรสุมที่จะมาในช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ส่งผลให้เกิดคลื่นแรงและมีการกัดเซาะมากเป็นพิเศษ ถึงแม้ปริมาณการกัดเซาะชายฝั่งของพายุ	1. ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเป็นอันดับหนึ่ง 2. ประชาชนในชุมชนสูญเสียที่ทำกิน 3. ย้ายถิ่นฐานและอาศัยหรือเช่าที่ดินของคนอื่นในการดำรงชีพ 4. สูญเสียพื้นที่ป่าชายเลนที่เป็นแหล่งอนุบาลสัตว์ทะเล	1. การปรับตัวต่อการกัดเซาะชายฝั่ง - ทำเขื่อนล้อมวัด - ปลูกป่า - ทำแนวชะลอคลื่น (ไม้ไผ่ และคอนกรีต) 2. การปรับตัวต่อการเพิ่มขึ้นของระดับทะเล และพายุซัดฝั่ง	1. ชุมชนต้องการ - การสร้างเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ (โครงสร้างแข็ง) - ช่วยลดการกัดเซาะ - ดักจับตะกอนดิน - พื้นที่ป่าชายเลนขยายตัวเพิ่มขึ้นระบบนิเวศในพื้นที่สมบูรณ์

พื้นที่	ประเด็น ความเสี่ยง ของชุมชน	ห้วงเวลา/ชนิด ของความเสียหาย	การจัดลำดับ ความสำคัญของภัย พิบัติทางภูมิอากาศ	การปรับตัวของ ชุมชนในปัจจุบัน	แนวทางการปรับตัว ของชุมชน ในอนาคต
	บางคนที่ เป็นเจ้าของที่ดิน ต้องไปอาศัย หรือเช่าที่ดิน ของผู้อื่น การทำ วังกุงวังปลา ประสบปัญหา การพังทลาย ของที่ดิน และ สูญเสียป่าชายเลน ที่เป็นแหล่ง อนุบาลสัตว์น้ำ	จะมีปริมาณที่มาก แต่ก็เพียงระยะ เวลาสั้นๆ และไม่ ได้มาเป็นประจำ ทุกปี - ฤดูลมเข้า (หน้าน้ำเย็น) จะมีส่วนทำให้ เกิดการกัดเซาะ มากกว่าช่วงปกติ เพราะน้ำทะเล จะขึ้นสูงและมี คลื่นแรงเข้ามา ปะทะฝั่งมากขึ้น ทั้งนี้สร้างความเสียหาย ให้กับชุมชนอย่างมาก และต่อเนื่อง	5. วัดขุนสมุทรวาสน ที่เป็นสถานที่อ้างอิง แหล่งสุดท้าย เปรียบ เสมือนหลักหมุดที่จะ อ้างอิงถึงกรรมสิทธิ์ ในที่ทำกินของชุมชน 6. การสูญเสียพื้นที่ ป่าชายเลนทำให้ชุมชน ไม่มีแนวป้องกันคลื่นลม	2. การปรับตัวต่อ การเพิ่มขึ้นของ ระดับน้ำทะเล และ พายุซัดฝั่ง - การปรับปรุงที่อยู่ อาศัยโดยการยกพื้น บ้านเรือนให้สูงขึ้น จากพื้นดิน และย้าย สิ่งของที่เสียหาย ให้พ้นจากระดับน้ำ - ชุมชนมีการเรียนรู้ โดยใช้ภูมิปัญญา ของตนเองที่มีอยู่ ต่อการเปลี่ยนแปลง ของธรรมชาติ - ชุมชนมีความกังวล ที่ไม่อาจคาดการณ์ ถึงระดับน้ำทะเล ที่เพิ่มขึ้นหรือระดับ ความรุนแรงของ พายุที่จะมากขึ้น ในอนาคตได้	- เพิ่มแหล่งอนุบาล สัตว์ทะเล - พื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น - แหล่งพักผ่อนหย่อนใจ และเรียนรู้เกี่ยวกับ ธรรมชาติของประชาชน
เทศบาลเมือง แสนสุข จังหวัดชลบุรี	เทศบาลเมือง แสนสุข เป็นพื้นที่ ประสบปัญหา การกัดเซาะชายฝั่ง เป็นอย่างมาก อีกทั้งชุมชนบ้าน หาดวอนนภา เป็นชุมชนประมง ชายฝั่งดั้งเดิม ที่ได้ รับผลกระทบจาก การกัดเซาะชายฝั่ง	- ในช่วงเดือนเมษายน ถึงเดือนมิถุนายน เป็นช่วงที่มีคลื่น ลมสูงและมีความ รุนแรงมาก ส่งผล ให้เกิดการกัดเซาะ ชายฝั่งต่อสิ่งปลูก สร้างในพื้นที่ และ การเพาะเลี้ยงหอย แมลงงู	1. ปัญหาพายุคลื่นลม แรงเป็นปัญหาที่สำคัญ ลำดับแรกก่อให้เกิด การกัดเซาะชายฝั่ง 2. ปัญหาน้ำทะเล หนุนสูง เป็นปัญหา สำคัญรองลงมา 3. ปัญหาหอยทะเล	1. ติดตามข่าวการ พยากรณ์อากาศ 2. งดออกเรือใน ช่วงที่มีลมพายุแรง 3. หารายได้จาก การท่องเที่ยวใน หาดบางแสน 4. แก้ไขปัญหาด้วย การขนย้ายสิ่งของ ให้พ้นน้ำ และทำการ ซ่อมแซมบ้านเรือน	1. ชุมชนต้องการ - การสร้างเขื่อน ป้องกันการกัดเซาะ (โครงสร้างแข็ง) ทำให้ การกัดเซาะ และการ สูญเสียที่อยู่อาศัยลดลง ช่วงระยะเวลาการเพาะ เลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น

พื้นที่	ประเด็นความเสี่ยงของชุมชน	ช่วงเวลา/ชนิดของความเสียหาย	การจัดลำดับความสำคัญของภัยพิบัติทางภูมิอากาศ	การปรับตัวของชุมชนในปัจจุบัน	แนวทางการปรับตัวของชุมชนในอนาคต
	พายุ และคลื่นลมไม่สามารถทำการประมงชายฝั่งและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้	ในพื้นที่และการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู		ที่ได้รับความเสียหายด้วยตนเอง	
เทศบาลตำบลบางเสร่ จังหวัดชลบุรี	ประสบปัญหาอันเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ส่งผลทำให้ประชาชนจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตของตนเอง	- ปัญหาน้ำทะเลหนุนสูง ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง - ช่วงเวลาที่มีการกัดเซาะชายฝั่งสูงเป็นช่วงเวลาเดียวกับกับการเกิดพายุพัดเข้าหาฝั่ง - ปัญหาน้ำจืดปากอ่าวในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม	1. ปัญหาคลื่นลมแรงเป็นปัญหาสำคัญอันดับหนึ่งก่อให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง 2. ปัญหาน้ำจืดเป็นปัญหาสำคัญรองลงมา 3. ปัญหาน้ำทะเลหนุนสูง	1. ชุมชนปรับตัวให้กลมกลืนกับธรรมชาติ 2. ปลูกป่าชายเลน 3. ปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการประกอบอาชีพ	1. ชุมชนต้องการ - การสร้างแนวไม้ไผ่ชะลอกคลื่น (โครงสร้างอ่อน) ช่วยลดความรุนแรงของการกัดเซาะชายฝั่ง เกิดพื้นดินยกเพิ่มขึ้น - ป่าชายเลนพื้นตัวและเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ
อบต.สองคลอง จังหวัดฉะเชิงเทรา	มีปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอย่างหนัก รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และพายุซัดฝั่ง	- มีการกัดเซาะชายฝั่งเกิดขึ้นทุกเดือน ทั้งพื้นที่ป่าชายเลนและชายหาด - ในช่วงเดือนมีนาคมถึงสิงหาคม จะเป็นช่วงที่ลมพายุ (ลมตะวันตก) พัดเข้าหาฝั่งยิ่งเพิ่มระดับการกัดเซาะชายฝั่ง	1. ปัญหาพายุซัดฝั่งซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง 2. ปัญหาระดับน้ำขึ้นน้ำลงที่มีส่วนทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง	1. การย้ายที่อยู่อาศัย 2. ปรับปรุงที่พักอาศัย 3. ทำเขื่อนคอนกรีตป้องกันชายฝั่ง 4. พัฒนาแหล่งท่องเที่ยวในชุมชน	1. ชุมชนต้องการ - การสร้างเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ (โครงสร้างแข็ง) - พื้นปูระบบนิเวศป่าชายเลน - มีสถานที่ท่องเที่ยวเพิ่มขึ้น
อบต.โคกขาม จังหวัดสมุทรสาคร	ประสบปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ	- ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนของปีเป็น	1. พายุรุนแรงเป็นปัญหาสำคัญที่มีความรุนแรง ก่อให้เกิด	1. การปรับตัวเรื่องอาชีพ 2. การปรับตัว	1. ชุมชนต้องการ - การสร้างแนวไม้ไผ่ป้องกันการกัดเซาะ

พื้นที่	ประเด็น ความเสี่ยง ของชุมชน	ช่วงเวลา/ชนิด ของความเสี่ยง	การจัดลำดับ ความสำคัญของภัย พิบัติทางภูมิอากาศ	การปรับตัวของ ชุมชนในปัจจุบัน	แนวทางการปรับตัว ของชุมชน ในอนาคต
	ตามธรรมชาติ การเพิ่มขึ้นของ ระดับน้ำทะเล และความรุนแรง ของลมพายุ และ เกิดจากกิจกรรม ของมนุษย์	ช่วงที่เกิดมรสุมตะวัน ตกเฉียงใต้ มีลมพายุ พัดเข้าหาฝั่ง - ช่วงเดือนมิถุนายน ถึงกันยายนจะมี ความรุนแรงก่อให้เกิด คลื่นซัดฝั่ง - ช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนมกราคมที่จะ มีพายุเข้าในบริเวณ ภาคใต้ ส่งผลให้ ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะ ชายฝั่ง	ปัญหาการกัดเซาะ ชายฝั่ง 2. ปัญหาการขุดย้าย มวลดินออกนอกพื้นที่ 3. ปัญหาการเพิ่มขึ้น ของระดับน้ำทะเล และการดึงน้ำเข้าวังกุง	เรื่องที่อยู่อาศัย	(โครงสร้างอ่อน) ช่วย ลดความรุนแรงของ การกัดเซาะชายฝั่ง และช่วยทำให้เกิด ตะกอนดินสะสม บริเวณชายฝั่ง - พื้นที่พระบรมนิวศ ป่าชายเลนรวมทั้งเป็น แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ
อำเภอเมือง จังหวัด สมุทรสงคราม	พื้นที่มีการขยายตัว ของเมืองและ อุตสาหกรรม จำนวนมาก ทำให้ วิถีชีวิตการทำมา หากินของคนใน พื้นที่เปลี่ยนไป	- ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม จะมีลม ตะ เภา (ลมตะวันออกเฉียงใต้) พัดเข้าหาฝั่งส่งผล ให้เกิดพายุ และคลื่น ซัดฝั่ง - ช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนมกราคม จะมีพายุเข้าในบริเวณ ภาคใต้ ส่งผลให้ ระดับน้ำทะเลใน อ่าวไทยยกตัวสูงขึ้น น้ำทะเลหนุนน้ำเค็ม รุกเข้าฝั่ง - ในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน มีน้ำเหนือหลาก	1. การบริหารงาน ภาครัฐเป็นสาเหตุ ให้เกิดปัญหาในพื้นที่ มากที่สุด 2. ผลกระทบจาก พายุเกิดขึ้นรุนแรง มีน้ำท่วม มีการกัดเซาะ แต่เป็นเพียงช่วงระยะ เวลาสั้นๆ	1. การปรับปรุง ที่อยู่อาศัย 2. การปรับเปลี่ยน วิธีการประกอบ อาชีพ 3. การเข้าร่วมเป็น คณะกรรมการ แก้ไขปัญหาภัย หน่วยงานภาครัฐ	1. ชุมชนต้องการ - การบูรณาการการ จัดสรรทรัพยากรน้ำ - การทำแนวไม้ไผ่ ชะลอคลื่นช่วยลด ความรุนแรงของคลื่น และช่วยให้ตะกอน ของดินเพิ่มสูงขึ้น

3.3 จากการประชุมกลุ่มย่อย ระหว่างหน่วยงานราชการ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และนักวิชาการ ในประเด็น ดังนี้ 1) สถานการณ์และผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่งและพายุซัดฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก 2) การปรับตัวของชุมชน และการดำเนินงานของภาครัฐต่อผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่งและพายุซัดฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก และ 3) การกำหนดนโยบาย และการนำนโยบายไปปฏิบัติของภาครัฐ ในการจัดการปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และการกัดเซาะชายฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก โดยมีข้อเสนอแนะในการปรับตัวของชุมชนและการดำเนินงานของภาครัฐ ต่อผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่งและพายุซัดฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก โดยแบ่งเป็น 5 มิติ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงข้อเสนอแนะจากกระบวนการรับฟังความคิดเห็นของชุมชน

จากผลการศึกษาการประเมินทางเลือกการปรับตัวของเมืองชายฝั่งในบริเวณอ่าวไทยต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ในระดับพื้นที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลระดับท้องถิ่นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทย มีค่าอยู่ในช่วง 3.6 - 6.6 มิลลิเมตรต่อปี โดยระดับน้ำทะเลมีค่าสูงบริเวณอ่าวไทยตอนในและการเคลื่อนในแนวตั้งของพื้นดินมีส่วนอย่างมากต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเชิงสัมพัทธ์ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นประมาณ 10-20 มิลลิเมตรต่อปี โดยพื้นที่ที่น้ำทะเลรุกล้ำมากที่สุด คือ พื้นที่บริเวณชายฝั่งตอนบนของอ่าวไทยรูปตัว ก ที่ได้รับผลกระทบมากกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากเป็นพื้นที่ลุ่ม ด้านการกัดเซาะชายฝั่ง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลโดยถูกกัดเซาะประมาณ 830 กิโลเมตร โดยจังหวัดที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งจังหวัดที่ประสบปัญหาได้มีการดำเนินการจัดทำโครงสร้างป้องกันกัดเซาะชายฝั่งในรูปแบบต่างๆ ส่วนความถี่ของพายุหมุนเขตร้อนในทะเลจีนใต้ คาดว่าจะลดลง 20-44 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีความรุนแรงสูงเพิ่มขึ้น 3-9 เปอร์เซ็นต์
2. ข้อมูลความเสี่ยงและผลกระทบของชุมชนชายฝั่งอ่าวไทย จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง จากแผนที่ระดับตำบลที่แสดงพื้นที่เสี่ยงจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก พบพื้นที่เสี่ยง 49 ตำบล ทั้งนี้ ระดับความเสี่ยงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของที่ตั้งของหมู่บ้าน ที่มีระยะทางห่างจากชายฝั่ง ทั้งนี้ระดับความสามารถในการปรับตัวของแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกัน โดยปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมีความสำคัญเป็นลำดับแรก เพราะเป็นปัญหาที่ชุมชนได้รับผลกระทบในทุกด้าน

ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รองลงมาคือ ปัญหาการขยายตัวของเมืองและอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นปัญหาในด้านผังเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้งนี้ได้มีการนำปฏิทินฤดูกาล (Seasonal Calendar) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เชื่อมโยงความสอดคล้องระหว่างช่วงระยะเวลา ฤดูกาล ตามปฏิทินหรือความเชื่อต่อการดำรงชีวิตของชุมชน ซึ่งอาจมีความแตกต่างกัน โดยปฏิทินฤดูกาลจะทำให้ทราบบริบทชุมชน วิถีชีวิต ขนบธรรมเนียม ในแต่ละช่วงเวลา เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของชุมชน

3. แนวทางการปรับตัวของชุมชนชายฝั่งต่อการการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง แบ่งเป็น ก) การปรับตัวระดับปัจเจก โดยทำการย้ายสถานที่ประกอบอาชีพ การย้ายที่พักอาศัย ถอยจากแนวชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า ส่วนการทิ้งหินทำแนวป้องกันการกัดเซาะเป็นการลงทุนสูง และยังไม่สามารถป้องกันปัญหาได้อย่างเด็ดขาด ข) การปรับตัวในระดับชุมชน เป็นการปรับตัวที่เกิดจากประชาชนในพื้นที่รวมตัวกันเพื่อแก้ไขปัญหาด้วยตนเอง โดยส่วนใหญ่เป็นการร่วมมือกันระดมทุนเพื่อจัดทำแนวไม้ไผ่ และการปลูกป่าชายเลน ทั้งนี้ บางพื้นที่มีการปรับเปลี่ยนอาชีพ ทำอาชีพเสริม ขุดเขยทรายได้ที่สูญเสียไป ค) การปรับตัวในระดับการดำเนินงานของภาครัฐ โดยการทำแนวไม้ไผ่และเสาไฟฟ้าชะลอคลื่นและดักจับตะกอน ซึ่งเป็นการลงทุนขนาดใหญ่ ใช้งบประมาณ กำลังคนและเครื่องจักรในการดำเนินการ ชุมชนไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยตนเอง

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

4.1.1 ข้อมูลความเสี่ยงและผลกระทบของชุมชนชายฝั่งอ่าวไทย จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่งนั้น ระดับความเสี่ยงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของที่ตั้ง และระดับความสามารถในการปรับตัวของแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน จึงควรแก้ปัญหาให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่

4.1.2 แนวทางการปรับตัวของชุมชนชายฝั่งต่อการการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง โดยเน้นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าซึ่งเป็นการปรับตัวที่เกิดจากประชาชนในพื้นที่รวมตัวกัน เพื่อแก้ไขปัญหาด้วยตนเอง ดังนั้น ภาครัฐควรสนับสนุนด้วยการใช้กำลังคนและเครื่องจักรในการดำเนินการ เพราะชุมชนไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยตนเอง

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ชุมชนพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ในแต่ละพื้นที่ที่มีความหลากหลายทั้งในของบริบทของพื้นที่ และการปรับตัว ดังนั้นจึงควรมีความร่วมมือกันระหว่างชุมชนกับหน่วยงานวิชาการ และสถาบันการศึกษา ในการศึกษาแนวทางการปรับตัวที่เหมาะสมให้สอดคล้องกันแต่ละพื้นที่ โดยคำนึงถึงบริบททางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม

4.2.2 ชุมชนส่วนใหญ่ต้องการให้จัดทำเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ (โครงสร้างแข็ง) ในพื้นที่ ดังนั้น ควรมีการศึกษาความเหมาะสมของการจัดทำเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ ตามลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการก่อสร้าง

4.2.3 ชุมชนส่วนใหญ่มีการดำเนินการปรับตัวรองรับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ด้วยตนเองอย่างเต็มศักยภาพแล้ว จำเป็นที่จะต้องได้รับการสนับสนุนทั้งในด้านวิชาการและงบประมาณ อีกทั้ง ควรเผยแพร่ข้อมูลและหลักฐานการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง ให้ประชาชนทราบเพื่อให้เกิดความตระหนักและหาแนวทางในการปรับตัวต่อไป

4.2.4 เพิ่มเติมแนวทางการปรับตัวในระยะยาวในระดับการดำเนินงานของภาครัฐ

4.2.5 การนำข้อมูลจากผลการศึกษาไปหารือกับสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) เพื่อให้สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้าง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น มหาวิทยาลัยบูรพา ชุมชน และประชาชนในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาวิจัยและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. Wong PP, Losada IJ, Gattuso J-P, Hinkel J, Khattabi A, McInnes KL, et al. Coastal systems and low-lying areas. In: CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, et al, editors. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A: Global and Sectoral Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press; 2014. p. 361-409.
2. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al, editors. Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press; 2013.
3. Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, et al. Summary for policymakers Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press; 2014.
4. Slow onset events Technical paper: United Nations Framework Convention on Climate Change IPCC 2012. [Internet]. 2012;7. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/2012/tp/07.pdf>
5. ปัทมา สิงห์รักษ์, สุริยัณฑ์ สารมมูล. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับทะเลชายฝั่ง ใน: อำนาจ ชิดไธสง, ปรีเวท วรธรรมโกวิท, มัทนพรรณ จิวเจียม, อัศมน ลิมสกุล, ศุภกร ชินวรรณ, ชโลทร แก่นสันติสุขมงคล, บรรณาธิการ. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2 คณะทำงานกลุ่มที่ 1 องค์ความรู้และข้อมูลข่าวสารปัจจุบันด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2559. หน้า 9-11.
6. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2559.
7. อัศมน ลิมสกุล. หลักฐานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยจากข้อมูลตรวจวัดที่พื้นผิว. ใน: อำนาจ ชิดไธสง, ปรีเวท วรธรรมโกวิท, มัทนพรรณ จิวเจียม, อัศมน ลิมสกุล, ศุภกร ชินวรรณ, ชโลทร แก่นสันติสุขมงคล, บรรณาธิการ. รายงานในการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2 คณะทำงานกลุ่มที่ 1 องค์ความรู้และข้อมูลข่าวสารปัจจุบันด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2559. หน้า 3-8.
8. Ablain M, Legeais JF, Prandi P, Marcos M, Fenoglio-Marc L, Dieng HB, et al. Satellite Altimetry-Based Sea Level at Global and Regional Scales. Surv Geophys. 2017;38(1):7-31.
9. Ablain M, Cazenave A, Larnicol G, Balmaseda M, Cipollini P, Faugère Y, et al. Improved sea level record over the satellite altimetry era (1993 - 2010) from the Climate Change Initiative project. Ocean Sci. 2015;11:67-82.



10. Church JA, White NJ. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surv Geophys.* [Internet]. 2011 [cited 2014 June 12];32:585-602. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-011-9119-1>
11. Duriyapong F, Nakhapakorn K. Coastal vulnerability assessment: a case study of Samut Sakhon coastal zone. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* [Internet]. 2011 [cited 2014 June 22];33(4):469-476. Available from: <https://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/33-4/0125-3395-33-4-469-476.pdf>
12. Saramul S, Ezer T. Spatial variations of sea level along the coast of Thailand: Impacts of extreme land subsidence, earthquakes and the seasonal monsoon. *Global Planet Change.* [Internet]. 2014 cited 2014 June 25];122:70-81. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818114001775>
13. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. สถานการณ์ชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งจากอดีตถึงปัจจุบัน. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง; 2557.
14. Trisirisatayawong I, Naeije M, Simons W, Fenoglio- Marc L. Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry. *Global Planet Change.* [Internet]. 2011 [cited 2014 Jul 10];76:137-51. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818110002729>
15. กรมอุตุนิยมวิทยา. พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยรายเดือน คาบ 64 ปี (พ.ศ. 2494 - 2557) [อินเทอร์เน็ต]. 2558. [เข้าถึงเมื่อ 26 มีนาคม 2560]. เข้าถึงได้จาก: <http://climate.tmd.go.th/content/file/158>
16. Church JA, Monselesan D, Gregory JM, Marzeion B. Evaluating the ability of process-based models to project sea-level change. *Environ. Res. Lett.* 2013; 8(1):1-8. Doi: 10.1088/1748-9326/8/1/014051
17. Thanathanphon W, Luangdilok N, Sisomphon P. Development of an Operational Storm Surge Forecasting System for The Gulf of Thailand: The 12th International Conference on Hydro science & Engineering: [Internet]. 2017 [cited 2018 Jul 17]. Available from: <https://mdi-de.baw.de/icheArchive/documents/2016/12-0021.pdf>
18. Tomkratoke S, Sirisup S, Vannarat S, Udomchoke V. Influence of resonance on tide and storm surge in the Gulf of Thailand. *Cont Shelf Res.* [Internet]. 2015. [cited 2018 Jan 19];109:112-26. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.09.006>

การพัฒนาารูปแบบการปลูกป่าในเขตเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้น
ของระดับน้ำทะเล และการกัดเซาะชายฝั่ง

Development of eco-forest model to reduce the impacts of sea level rise
and coastal erosion

กิตติวรรณ กิจปกรณสันติ* สุนทร งดงาม อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์
จารุณี วงสว่าง อรสา นานบ้าน อัทสน ลิมสกุล

Kittiwon Kitpakornsanti*, Soonthorn Ngodngam, Onchan Krottapong,
Jarunee Wangsawang, Orasa Naban, Atsamon Limsakul

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: kittiwankit@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง บริเวณชายฝั่งประเทศไทยมีแนวโน้มความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นและการแก้ปัญหาด้วยโครงสร้างแข็งไม่ยั่งยืนต่อระบบนิเวศชายฝั่งและประชาชนในพื้นที่ได้รับผลกระทบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีธรรมชาติ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการปลูกป่าในเขตเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง ณ หาดชลลพาศน์ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา รวมถึงประเมินอัตราการรอดตายต้นไม้และอัตราการเจริญเติบโตต้นไม้ในพื้นที่แปลงทดลอง และเก็บข้อมูลติดตามการเติบโตของต้นไม้ในช่วงแรกของการปลูก หลักการการปลูกป่าที่เลียนแบบป่าในเขตชายฝั่งตามธรรมชาติ โดยการปลูกแบบสุ่มและหนาแน่น ถูกนำมาประยุกต์เพื่อพัฒนารูปแบบป่าในเขตในแปลงสาธิตครั้งนี้ โดยทำการคัดเลือกโครงสร้างพันธุ์ไม้คณะระดับชั้นความสูง (ไม้ยืนต้น ไม้ต้นเตี้ย และไม้พุ่ม) จำนวน 9 ชนิดพันธุ์ ได้แก่ คอร์เดีย จิกทะเล โพทะเล ปอทะเล หยีทะเล ฝาดดอกขาว แสมทะเล หงอนไก่ทะเล และ สนประติพัทธ์ (พันธุ์ไม้อัตลักษณ์ท้องถิ่น) ซึ่งกล้าไม้เพาะจากเมล็ดพันธุ์และมีระบบรากแข็งแรง มีอายุและความสูงของกล้าไม้ที่เหมาะสม ผลการประเมินอัตราการรอดและอัตราการเติบโตของต้นไม้จากระยะเวลาติดตาม 8 เดือน พบว่า ต้นไม้ในแปลงทดลองมีอัตราการรอดเฉลี่ยสูงถึง 96% ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าสนประติพัทธ์ ปอทะเล โพทะเล หยีทะเล เป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่มีอัตราการเติบโตเร็วและมีศักยภาพเหมาะสมเพื่อใช้ปลูกป่าในเขตเพื่อลดผลกระทบในพื้นที่สภาพแวดล้อมชายหาด นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสามารถใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่แหล่งเรียนรู้รูปแบบการปลูกป่าในเขตลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง และความหลากหลายทางชีวภาพของชนิดพันธุ์ไม้ชายหาดให้แก่เยาวชนและประชาชนผู้สนใจเพื่อนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้และขยายผลในพื้นที่อื่นๆ

คำสำคัญ : ป่าในเขต การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง

Abstract

Sea level rise and coastal erosion in the coastal areas of Thailand have become more seriously problem nowadays. Commonly used solution these problems by hard structure is increasingly recognized to be unsustainable for coastal ecosystems and people in the affected areas compared to soft ecosystem-based approaches. The objectives of this study is to develop coastal eco-forest model to reduce the impacts of sea level rise and, coastal erosion and to evaluate survival and



tree growth rate in the experimental plot area at Chalatat Beach, Bo Yang Subdistrict, Muang District, Songkhla Province. The data in the experimental pilot was collected during May 2020 - April 2021. The principal of eco-forest that imitates and replicates natural forest growth and regeneration processes was applied to develop coastal eco-forest model. The concept of densely and randomly planting with various coastal species, were also employed. Three groups of tree structure (perennials, low trees, and shrubs) with 9 species were selected to plant in the experimental plot area. The results of the evaluation of the survival and growth rates of the trees from the 8-month follow-up period showed 96% of survival rate. The species with the highest growth rate as determined by height and diameter) were Casuarina junghuhniana (Son Pradipat), Hibiscus tiliaceus (Por Talay) and Thespesia populnea (Pho Talay), respectively. These results showed that these three species were fast growth and had potential to applied in ecological forest planting to reduce impact from sea level rise and coastal erosion. In additions, this study could be utilized as a learning center for eco-forestation models to reduce the impacts of sea-level rise and coastal erosion and the biodiversity and applying knowledge from the results in other areas.

Keywords : Eco-forest, Sea level rise, Coastal erosion

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ส่งผลกระทบและก่อให้เกิดเหตุการณ์ทั้งสภาวะสุดขั้วของลมฟ้าอากาศ (Extreme weather events) และเหตุการณ์ที่มีเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Slow onset events) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง¹ จากผลการศึกษา พบว่า พื้นที่ทะเลในบริเวณอ่าวไทย มีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอัตรา 3 - 6.6 มิลลิเมตรต่อปี² นอกจากนี้ พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยทั้งฝั่งตะวันออกจนถึงภาคใต้มีพื้นที่วิกฤตที่ได้รับผลกระทบสูงถึง 12 จังหวัด ได้แก่ จันทบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพฯ เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ปัตตานี และสงขลา โดยพบอัตราการกัดเซาะสูงถึง 1 - 5 เมตรต่อปี³ ในปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ ได้ใช้วิธีการลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งในลักษณะของการก่อสร้างโครงสร้างแข็ง (Hard solution) เป็นหลัก เช่น การก่อสร้างกำแพงกันคลื่น การปักเสาคอนกรีต การทิ้งหินเพื่อลดการกัดเซาะ และการเติมทราย⁴ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวนี้ยังไม่สามารถแก้ปัญหาและก่อให้เกิดความยั่งยืนต่อระบบนิเวศชายฝั่ง (Coastal ecosystem) และชุมชนในพื้นที่ได้ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การแก้ปัญหาด้วยมาตรการอื่นๆ ด้วยวิธีธรรมชาติ เช่น การสร้างสมดุลให้กับระบบนิเวศชายฝั่งในการให้บริการระบบนิเวศ (Ecosystem service) และการใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งอย่างยั่งยืนนั้นพบว่า วิธีตามธรรมชาติสามารถช่วยป้องกันและลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่งได้ดี นอกจากการให้บริการด้านอื่นๆ⁵

การทบทวนผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการพัฒนาวิธีการลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งโดยวิธีธรรมชาติทั้งในพื้นที่สภาพชายหาดและหาดโคลนในหลายพื้นที่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น เมืองอิวานูมูะ จังหวัดมียากิ ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการประยุกต์หลักการปลูกป่านิเวศ (Eco-forest) ของศาสตราจารย์อาคิระ มียาวากิ มาใช้เป็นแนวทางในปลูกป่าชายฝั่งเพื่อป้องกันและลดความรุนแรงของคลื่นลมทะเลสูง ด้วยการปลูกพันธุ์ไม้ชายฝั่งที่สามารถช่วยป้องกันผลกระทบต่อน้ำที่ชายฝั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁶⁻⁷ การศึกษาลักษณะโครงสร้างพืชชายฝั่งในพื้นที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิบริเวณชายฝั่งตอนใต้ประเทศศรีลังกาและชายฝั่งอันดามันประเทศไทย แสดงให้เห็นว่า ต้นไม้ใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.3 เมตร เมื่อปลูกในทิศทางแนวตั้งสองชั้น

และมีระยะห่างเหมาะสมด้วยพันธุ์ไม้ที่มีกิ่งและใบหนา เช่น ตระกูลโกกวางใบเล็ก มีประสิทธิภาพในการลดแรงกระแทกจากคลื่นลมแรงและสามารถป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งได้ดี⁹ ในขณะที่ การศึกษาและพัฒนาวิธีการป้องกันและลดการเซาะชายฝั่งโดยวิธีธรรมชาติในประเทศไทย เช่น การศึกษาวิธีการปลูกพืชบนสันทราย (Dune grass planting) ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาลำปี - หาดท้ายเหมือง จังหวัดพังงา และอุทยานแห่งชาติสิรินาถ จังหวัดภูเก็ต พบว่า วิธีนี้สามารถช่วยลดผลกระทบการกัดเซาะชายฝั่งได้ โดยผักบุ้งทะเลและถั่วค้ำทะเลซึ่งเป็นพืชชายหาดท้องถิ่นและโครงสร้างพืชเหมาะสมและขยายพันธุ์ง่ายสามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพแก่สันทรายได้⁹ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า การปลูกพืชบนสันทรายเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถป้องกันการกัดเซาะสันทรายได้ ดังนั้น อาจต้องพิจารณาโครงสร้างอื่นเข้ามาช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับสันทราย เช่น การปลูกหญ้าแฝกทนเค็ม¹⁰ เป็นต้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการปลูกป่าบริเวณชายฝั่งโดยมีเป้าหมายในการทำหน้าทีลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่งตามบริบทพื้นที่ จึงเป็นสิ่งท้าทายต่อการดำเนินงานในระดับท้องถิ่นเพื่อประโยชน์ต่อความยั่งยืนของระบบนิเวศและชุมชนในการแก้ปัญหาดังกล่าว ในอนาคต ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและประโยชน์ในการพัฒนารูปแบบการปลูกป่าบริเวณชายฝั่งเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อเป็นแนวทางทางเลือกการแก้ปัญหาที่เป็นพื้นที่ต้นแบบให้แก่ภาครัฐและประชาชนสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบ โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบและต้นแบบการปลูกป่าบริเวณชายฝั่ง ณ หาดชลาทัศน์ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งจัดเป็นพื้นที่ชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยที่ได้รับผลกระทบสูงจากการกัดเซาะ และการประเมินอัตราการรอดของต้นไม้และอัตราการเจริญเติบโตในพื้นที่แปลงทดลองปลูกป่าบริเวณชายฝั่ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลวิชาการเบื้องต้นสำหรับต่อยอดงานวิจัยในระยะต่อไป รวมถึงขยายผลการดำเนินงานในพื้นที่อื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบ

2. วิธีการศึกษาวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

พื้นที่หาดชลาทัศน์ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (พิกัด GPS: 7°10'59.4"N 100°36'59.5"E) ได้ถูกคัดเลือกเป็นแปลงทดลองในการศึกษานี้ เนื่องจากเป็นพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในปัจจุบัน⁹ และมีระยะแนวความกว้างและความยาวของแปลงทดลอง เท่ากับ 9.7 x 53.3 เมตร ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลสภาพภูมิอากาศในพื้นที่และคัดเลือกช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูก คือ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 เนื่องจากเป็นช่วงต้นของฤดูฝนซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการได้รับปริมาณน้ำฝนในระยะแรกของการปลูก และทั้งนี้ การคัดเลือกพื้นที่และช่วงระยะเวลาศึกษาได้หารือร่วมกับเจ้าหน้าที่ของเทศบาลและผู้เชี่ยวชาญการปลูกและดูแลต้นไม้ชายหาดในพื้นที่ ตลอดจนจนกระบวนการมีส่วนร่วมของหน่วยงานในระดับท้องถิ่น (เทศบาลนครสงขลา) หน่วยงานภาครัฐในระดับพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง และประชาชนในพื้นที่ก่อนดำเนินการ

2.2 วิธีการพัฒนารูปแบบปลูกป่าบริเวณชายฝั่งเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง มีดังนี้

2.2.1 กระบวนการประชุมรับฟังความคิดเห็นต่อแนวทางการดำเนินงานปลูกป่าบริเวณชายฝั่งร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและผู้เชี่ยวชาญในภาคส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้แก่ เทศบาลนครสงขลา สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (จังหวัดสงขลา) สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดสงขลา หน่วยงานภาคการศึกษา ประชาชนในบริเวณพื้นที่ชุมชนใกล้เคียงชายหาดชลาทัศน์ และประชาชนในพื้นที่เขตเทศบาลนครสงขลา เพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อแนวทางการปลูกป่าบริเวณชายฝั่ง การคัดเลือกพื้นที่ การคัดเลือกชนิดพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมในพื้นที่ท้องถิ่น แนวทางการลดผลกระทบจากลมทะเลและไอน้ำเค็มและแนวทางการติดตามการเจริญเติบโตของต้นไม้ภายหลังการปลูก เป็นต้น



2.2.2 การพัฒนาหลักการและรูปแบบการปลูกป่าในเขตเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการปลูกป่าในเขตของศาสตราจารย์อาคิระ มียาวากิ ซึ่งเป็นรูปแบบการปลูกป่าในเขต (ป่าบก) เพื่อเลียนแบบโครงสร้างป่าธรรมชาติซึ่งได้ปลูกเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวภายในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม¹¹ และได้ประยุกต์หลักการและพัฒนาเป็นแนวทางการปลูกป่าในเขตชายหาดในการศึกษานี้ พร้อมทั้งพัฒนาหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกชนิดพันธุ์ไม้ชายหาด แนวทางการจัดทำแปลงทดลองปลูกป่าในเขตชายหาด วิธีการจัดเตรียมดินที่เหมาะสม การจัดเตรียมวัสดุช่วยในการปลูก การดูแลบำรุงรักษาต้นไม้และแนวทางการติดตามการเติบโตของต้นไม้ระหว่างการปลูก

2.2.3 การทดลองปลูกป่าในเขตชายหาดเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง ดำเนินการด้วยหลักการปลูกป่าในเขตชายหาดด้วยจากการพัฒนาในข้อ 2.2.2 พร้อมทั้งประเมินการกระจายชนิดพันธุ์ไม้ ประเมินอัตราการรอดตายต้นไม้ ตรวจสอบวัดความสูงเรือนยอดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ และประเมินอัตราการเจริญเติบโตต้นไม้ในพื้นที่แปลงทดลองป่าในเขต

2.3 การสุ่มตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

2.3.1 การศึกษานี้ได้กำหนดวิธีการสุ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยอ้างอิงการคำนวณจากสูตรของทาโร ยามาเน¹² และมีจำนวนตัวอย่างเป้าหมายของต้นไม้ที่สุ่มในแปลงทดลองรวม 566 ต้น จากจำนวนต้นไม้ทุกชนิดพันธุ์ 2,242 ต้น คิดเป็นสัดส่วนรวม 25.25% และทำการกำหนดสัดส่วนจำนวนตัวอย่างในแต่ละชนิดพันธุ์ไม้ต่ำกว่า 20% เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการเก็บข้อมูลการประเมินอัตราการรอดและการประเมินอัตราการเติบโตของต้นไม้ในแปลงทดลอง จำนวนการสุ่มตัวอย่างของต้นไม้ในแต่ละชนิดพันธุ์ไม้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนการสุ่มตัวอย่างต้นไม้ในแต่ละชนิดพันธุ์

ลำดับที่	ชื่อพันธุ์ไม้	จำนวนตัวอย่างต้นไม้ที่สุ่ม (ต้น)	% สัดส่วน ตัวอย่างของต้นไม้ที่สุ่ม
1	ต้นปอทะเล	44	34.92
2	ต้นโพทะเล	74	25.17
3	ต้นเสมทะเล	65	25.10
4	ต้นฝาดดอกขาว	82	23.03
5	ต้นหยีทะเล	63	23.95
6	ต้นหอนไก่ทะเล	39	25.32
7	ต้นคอรีเดีย	61	24.90
8	ต้นจิกทะเล	74	22.84
9	ต้นสนประดิพัทธ์	64	28.96
	รวม (ต้น)	566	25.25

2.3.2 การเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงต้นไม้

วิธีการเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงต้นไม้เพื่อสำหรับประเมินอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้¹¹ มีรายละเอียด ดังนี้ การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นไม้โดยใช้อุปกรณ์ไม้เมตรสำหรับวัดความสูงระดับอกที่ความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน และต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก (สูงน้อยกว่า 1.3 เมตร) จะวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่ำกว่าความสูงเรือนยอด 0.2 เมตร และใช้เทปกาวยทำสัญลักษณ์บริเวณที่วัดและขีดเส้นไว้พร้อมบันทึกข้อมูล ขณะที่การวัดความสูงเรือนยอดของต้นไม้โดยวัดจากส่วนโคนตั้งแต่บริเวณรอยต่อกับส่วนรากขึ้นมาจนถึงปลายยอดของต้นไม้โดยใช้อุปกรณ์ในการวัด คือ ไม้วัดระดับยาว 4 เมตร พร้อมบันทึกผลข้อมูล

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการศึกษานี้แสดงผลข้อมูลการศึกษาโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการแสดงค่าการวิเคราะห์อัตราการรอดต้นไม้ ความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และสถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) คือ การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการรอดต้นไม้และอัตราการเติบโตต้นไม้



3. ผลการวิจัย








ผลการวิจัยการพัฒนาแบบการปลูกป่าในเขตเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 รูปแบบการปลูกป่าในเขตชายหาดในพื้นที่แปลงทดลอง

รูปแบบการปลูกป่าในเขตชายหาดเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง ได้ถูกพัฒนาขึ้นผ่านการประยุกต์ใช้หลักการปลูกป่าในเขตที่เลียนแบบโครงสร้างป่าชายฝั่งเสมือนการสร้างนิเวศป่าธรรมชาติได้ด้วยระยะเวลาอันสั้นตามทฤษฎีการทดแทนสังคมพืชแนวใหม่ (New succession theory) ในสภาพแวดล้อมชายหาดน้ำท่วมไม่ถึง หลักการปลูกป่าในเขตชายฝั่งที่ได้พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ ประกอบด้วย 1) การปลูกด้วยวิธีการสุ่มไม่กำหนดระยะห่างและแนวแถว 2) กำหนดความหนาแน่นของต้นไม้แบบถี่ จำนวน 4-5 ต้นต่อตารางเมตร และ 3) เลือกกลุ่มพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมต่อสภาพพื้นที่ โดยได้พัฒนาเกณฑ์การคัดเลือกชนิดพันธุ์ไม้เพื่อใช้ในการศึกษาทดลองปลูก ดังนี้ 1) พันธุ์ไม้ต้องมีความเหมาะสมและสามารถเจริญเติบโตได้ดีต่อการปลูกในพื้นที่ชายหาด 2) มีความทนทานต่อไอความเค็มทะเล 3) กล้าไม้สามารถเพาะจากเมล็ดพันธุ์และมีระบบรากแก้วแข็งแรง 4) มีการเจริญเติบโตเร็ว 5) ต้นกล้าควรมีอายุและความสูงที่เหมาะสมต่อการปลูกเพื่อทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ชายทะเล และ 6) ชนิดพันธุ์ไม้คละลำดับชั้นความสูง (ไม้ยืนต้น ไม้ต้นเตี้ย และไม้พุ่ม) ผลการคัดเลือกชนิดพันธุ์ไม้จากเกณฑ์การพิจารณาข้างต้น สามารถคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองปลูกป่าในเขต จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ คอร์เดีย จิกทะเล โพทะเล ปอทะเล หยีทะเล ฝาดดอกขาว แสมทะเล หงอนไก่ทะเล และปลูกเสริมด้วยพันธุ์ไม้อัตลักษณ์ท้องถิ่น คือ สนประดิพัทธ์ ซึ่งข้อมูลรายละเอียดของชนิดพันธุ์ไม้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของชนิดพันธุ์ไม้ที่ใช้ในแปลงทดลองป่าในเขตชายหาด ณ หาดชลาทัศน์

ชื่อภาษาไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ประเภท	รูปพันธุ์ไม้
จิกทะเล	<i>Barringtonia asiatica</i> (L.) Kurz	ไม้ยืนต้น ขนาดกลาง สูง 7 - 20 เมตร (ทรงพุ่ม)	
หยีทะเล	<i>Derris indica</i> Bennet	ไม้ยืนต้น ขนาดใหญ่ สูง 5 - 20 เมตร	

ชื่อภาษาไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ประเภท	รูปพันธุ์ไม้
โพทะเล	<i>Thespesia populnea (L.) Sol. ex Correa</i>	ไม้ยืนต้น ขนาดเล็ก สูง 8 - 12 เมตร	
ปอทะเล	<i>Hibiscus tiliaceus L.</i>	ไม้ขนาดเล็ก หรือ ไม้พุ่ม สูง 3 - 5 เมตร	
ฝาดดอกขาว	<i>Lumnitzera racemosa Willd.</i>	ไม้ยืนต้น ขนาดเล็ก สูง 5 - 10 เมตร	
หงอนไก่ทะเล	<i>Heritiera littoralis Aiton</i>	ไม้ยืนต้น ขนาดเล็กถึงกลาง สูง 5 - 20 เมตร	
แสมทะเล	<i>Avicennia marina (Forssk) Vierh.</i>	ไม้ยืนต้น ขนาดเล็ก สูง 5 - 8 เมตร	
คอร์เดียม	<i>Cordia sebestina L.</i>	ไม้ยืนต้น ขนาดเล็ก สูง 3 - 10 เมตร	
สนประดิพัทธ์ (พันธุ์ไม้อัตลักษณ์ ท้องถิ่น)	<i>Casuarina junghuhniana Mig.</i>	ไม้ยืนต้น ขนาดใหญ่ สูง 15 - 35 เมตร	

3.2 การจัดเตรียมกล้าไม้

ชนิดพันธุ์ไม้ที่ถูกคัดเลือกดังแสดงในตารางที่ 2 ได้มีการสรรหาและอนุบาลกล้าไม้ล่วงหน้าก่อนนำมาปลูกในแปลงทดลอง โดยกล้าไม้พันธุ์ไม้ต่างๆ เป็นการเพาะจากเมล็ดพันธุ์ซึ่งจะมีระบบรากแก้วที่แข็งแรงและเจริญเติบโตได้ดี และทำการอนุบาลกล้าไม้ให้เติบโตและแข็งแรงในระยะ 6 - 8 เดือน มีความสูงประมาณ 60 - 80 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถใช้ไม้ค้ำยันลำต้นได้ในขณะที่มีคลื่นลมแรง ก่อนนำไปปลูกในพื้นที่แปลงทดลอง



รูปที่ 1 การจัดเตรียมและการอนุบาลพันธุ์กล้าไม้สำหรับการปลูกป่าบริเวณชายหาด

3.3 การเตรียมพื้นที่แปลงทดลอง

ผู้วิจัยได้สำรวจพื้นที่บริเวณหาดชลทัศน์ ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เพื่อคัดเลือกพื้นที่สำหรับจัดทำแปลงทดลอง โดยได้ทำการปรับสภาพพื้นที่ สร้างเนินดิน (รูปที่ 2ก) จัดเตรียมดินในสัดส่วนที่เหมาะสมกับปุ๋ยอินทรีย์ และวัสดุการเกษตรอื่นๆ ที่จะใช้ปลูกป่าบริเวณชายหาด ประกอบด้วย ดิน ปริมาตร 300 ลูกบาศก์เมตร มูลวัว จำนวน 3,000 กิโลกรัม พร้อมทั้ง จัดทำแนวกำแพงด้วยตาข่ายไนล่อนกว้าง 2 เมตร รอบระยะแปลงทดลอง เพื่อป้องกันไม่ให้ต้นไม้ได้รับไอเค็มมากและคลื่นลมแรงซึ่งอาจทำให้ต้นไม้คงอได้ง่าย (รูปที่ 2ข และ 2ค) มีการวางแนวท่อและติดตั้งระบบการให้น้ำ เนื่องจากสภาพแปลงทดลองเป็นพื้นที่ดินทรายบริเวณริมชายหาดและไม่มีแหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้น จึงได้ทำการติดตั้งระบบน้ำ (น้ำบาดาล) แบบสปริงเกอร์สำหรับการดูแลรักษาต้นไม้ในช่วงแรกของการปลูกป่าบริเวณชายหาดเพื่อให้ต้นไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดี (รูปที่ 2ง) ทำการขุดหลุมแบบส้อมไม่เป็นแถว หลุมที่ขุดต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดถุงดำที่ใช้บรรจุกล้าไม้ 1.5 เท่า และมีความหนาแน่นของหลุม 4 - 5 หลุมต่อตารางเมตร รวมทั้ง จัดเตรียมไม้ไผ่สำหรับปักหลักป้องกันต้นไม้ล้มในระยะแรกของการปลูกโดยมีความยาว 60 - 80 เซนติเมตร ฟางข้าวเพื่อรักษาความชื้นหน้าดิน จำนวน 50 ก้อน และเชือกปอสำหรับผูกไม้ไผ่กับต้นไม้ ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่แปลงทดลอง แสดงในรูปที่ 2



ก) การปรับพื้นที่ทำเนินดินและแนวกัน

ข) การวางแนวท่อน้ำ



ค) การติดตั้งระบบน้ำ



ง) การขุดหลุมโดยวิธีการสูม

รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่แปลงทดลอง

3.4 ขั้นตอนการปลูกป่าในเขตพื้นที่แปลงทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการปลูกป่าในเขตพื้นที่แปลงทดลองตามหลักการที่ได้พัฒนาขึ้น ณ พื้นที่แปลงทดลอง ณ หาดชลาทัศน์ ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา จำนวน 2,242 ต้น โดยมีขั้นตอนการปลูกตามแนวหลักการปลูกป่าในเขต (Eco-forest)¹⁰⁻¹¹ ดังนี้ นำกล้าไม้จุ่มน้ำให้ท่วมถุงพลาสติกจนพองอากาศหมดจนหมดเพื่อให้น้ำเข้าไปแทนที่อากาศในอนุภาคของดินทำให้ดินอุ้มน้ำไว้ได้จำนวนมาก (รูปที่ 3ก) ดึงถุงดำออกอย่างระมัดระวังไม่ให้รากขาดหรือชำ ใช้มือประคองรากวางต้นไม้ในหลุมกลบดิน (รูปที่ 3ข) จากนั้นจึงปักไม้ไผ่และผูกเชือกเหนือกิ่งหรือใบเพื่อประคองต้นไม้ในระยะของการปลูกและนำไม้มาปักชิดกับกล้าไม้ที่ปลูกป้องกันกล้าไม้ล้ม และผูกเชือกอยู่เหนือกิ่ง หรือเหนือใบไม้ล่างสุด (รูปที่ 3ค) และคลุมหน้าดินด้วยวัสดุคลุมดิน (ฟางข้าว) เพื่อรักษาความชื้นในแปลงทดลอง (รูปที่ 3ง) โดยทำการปลูกในวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2563



ก) จุ่มกล้าไม้ลงในถังน้ำ



ข) นำกล้าไม้ลงหลุม



ค) ปักไม้ค้ำยัน

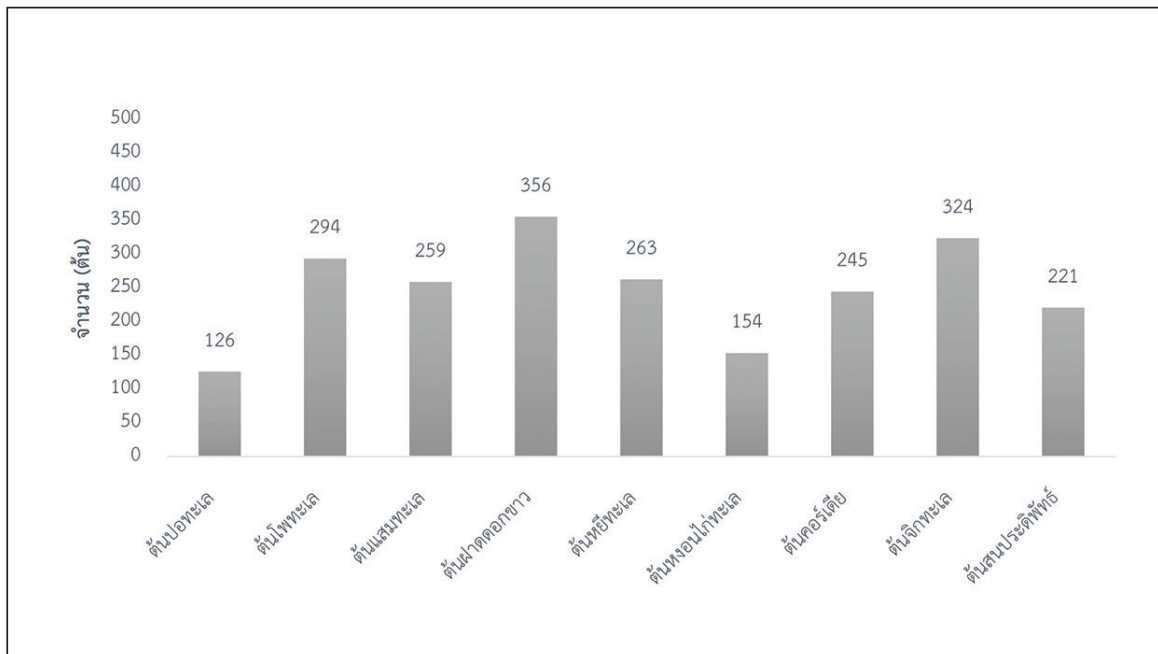


ง) คลุมหน้าดินด้วยฟางข้าว

รูปที่ 3 ขั้นตอนการปลูกกล้าไม้ในพื้นที่แปลงทดลอง

3.5 การกระจายของชนิดพันธุ์ไม้

ผลการศึกษากการกระจายชนิดพันธุ์ไม้ชายหาดในแปลงทดลอง พบว่า ต้นฝาดดอกขาว (ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก) มีความเด่นมากที่สุด จำนวน 356 ต้น คิดเป็นสัดส่วน 15.88% รองลงมา คือ ต้นจิกทะเล (ไม้ยืนต้นขนาดกลาง) จำนวน 324 ต้น 14.45% และต้นโพทะเล (ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก) จำนวน 294 ต้น คิดเป็น 13.11% ตามลำดับ เนื่องจากเป็นชนิดพืชที่สามารถเพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ได้ง่ายและมีลักษณะใบใหญ่และหนาสามารถรองรับแรงคลื่นลมทะเลได้ดี ในขณะที่ต้นหงอนไก่กับต้นปอทะเลเป็นพันธุ์พืชที่มีลักษณะไม้พุ่มขนาดเล็กถึงกลาง สูง 3 - 5 เมตร จึงถูกจัดให้โครงสร้างของลำดับความสูงระดับล่างจึงมีสัดส่วนและจำนวนน้อยกว่า และขณะที่ต้นสนประดิพัทธ์เป็นพันธุ์ไม้อัตลักษณ์ท้องถิ่นมีสัดส่วนปานกลางถึงน้อยเนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ซึ่งอาจมีความสูงเด่นชัดกว่าชนิดอื่นมากเกินไปเมื่อเติบโตเต็มที่ในแปลงทดลอง ข้อมูลการกระจายของชนิดพันธุ์ไม้อื่นๆ แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกระจายชนิดพันธุ์ไม้ในแปลงทดลอง

3.6 อัตราการรอดและการเจริญเติบโตของต้นไม้

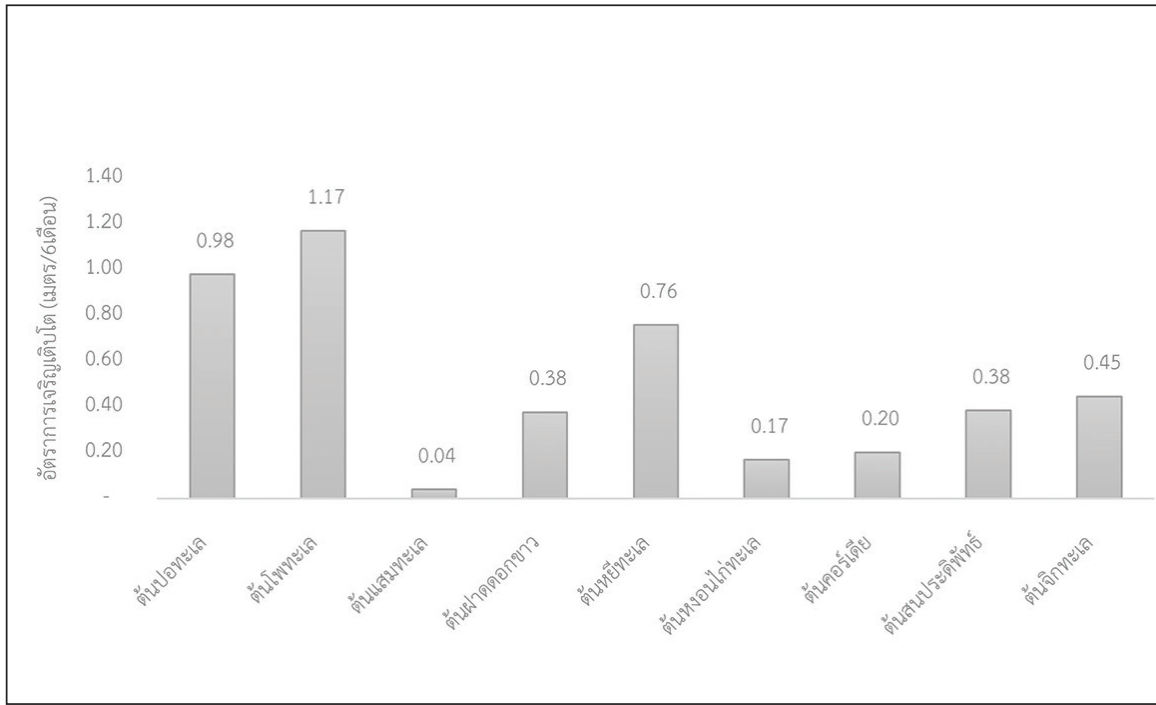
การศึกษาอัตราการรอดของต้นไม้ 9 ชนิดพันธุ์ในแปลงทดลอง (ต้นปอทะเล ต้นโพทะเล ต้นแสมทะเล ต้นฝาดดอกขาว ต้นหยีทะเล ต้นหงอนไก่ทะเล ต้นคอร์เดีย ต้นจิกทะเล ต้นสนประดิพัทธ์) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ถูกสำรวจและเก็บข้อมูลเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 อายุต้นไม้ 8 เดือน ผลการศึกษา พบว่า 1) ในภาพรวม ต้นไม้มีอัตราการรอดเฉลี่ยสูงถึง 96% 2) ต้นไม้ในแต่ละชนิดพันธุ์มีอัตราการรอดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และ 3) ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นไม้โดยเก็บข้อมูลจากข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเรือนยอด พบว่า ต้นไม้ 9 ชนิด มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยชนิดพันธุ์ไม้ที่มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ต้นสนประดิพัทธ์ โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงเฉลี่ย 2.08 ± 0.60 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2.15 ± 0.74 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่และเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของพื้นที่ท้องถื่น รองลงมา คือ ต้นปอทะเล มีค่าเฉลี่ยความสูงเฉลี่ย 1.81 ± 0.42 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.09 ± 1.99 เซนติเมตร และต้นโพทะเล มีค่าเฉลี่ยความสูงเฉลี่ย 1.80 ± 0.34 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.60 ± 0.62 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กสูง ไม้ขนาดเล็ก หรือ ไม้พุ่ม ซึ่งด้วยลักษณะของชนิดพันธุ์ไม้เจริญเติบโตได้ดีในดินทรายและสภาพแวดล้อมชายหาดมากกว่าชนิดพันธุ์อื่นๆ ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นไม้นี้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลอัตราการรอดต้นไม้ และการเจริญเติบโตของต้นไม้

ลำดับที่	ชื่อพันธุ์ไม้	% อัตราการรอดต้นไม้	ค่าเฉลี่ยความสูง (เมตร)	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)
1	ต้นสนประดิพัทธ์	95	2.08 ± 0.60	2.15 ± 0.74
2	ต้นปอทะเล	97	1.81 ± 0.42	2.09 ± 1.99
3	ต้นโพทะเล	92	1.80 ± 0.34	1.60 ± 0.62
4	ต้นคอร์เดีย	98	1.61 ± 0.34	1.21 ± 0.46
5	ต้นหยีทะเล	96	1.48 ± 0.40	1.10 ± 0.47
6	ต้นจิกทะเล	97	0.95 ± 0.43	0.95 ± 0.54
7	ต้นฝาดดอกขาว	97	0.93 ± 0.31	0.59 ± 0.30
8	ต้นแสมทะเล	97	0.66 ± 0.16	0.49 ± 0.22
9	ต้นหงอนไก่ทะเล	98	0.52 ± 0.16	0.65 ± 0.67

หมายเหตุ : ข้อมูลผลการสำรวจ ณ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 (อายุต้นไม้ 8 เดือน)

นอกจากนี้ ผลการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของต้นไม้อายุ 2 เดือน และ 8 เดือน พบว่า ต้นโพทะเล ต้นปอทะเล และต้นหยีทะเล มีอัตราการเติบโตสูงสุด (ความสูงเรือนยอด) เท่ากับ 1.17 0.98 และ 0.76 เมตรต่อระยะติดตาม ตามลำดับ และต้นแสมทะเลมีอัตราการเติบโตน้อยที่สุด เท่ากับ 0.04 เมตรต่อระยะติดตาม แสดงถึงศักยภาพของต้นไม้ในการเติบโตเร็วในสภาพแวดล้อมของพื้นที่ชายหาดและเติบโตได้ดีในดินที่ได้มีการปรับสภาพและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และสภาพภูมิอากาศในแปลงทดลอง ข้อมูลผลการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้อายุ 2 เดือน และ 8 เดือน แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของต้นไม้ทั้ง 9 ชนิดพันธุ์ในแปลงทดลอง



(ก) 1 เดือน



(ข) 2 เดือน



(ค) 4 เดือน



(ง) 8 เดือน



(จ) 10 เดือน



(ฉ) 11 เดือน

รูปที่ 6 ติดตามการเติบโตของต้นไม้ในแปลงทดลองการปลูกป่านิเวศ

ผลการติดตามการเติบโตของต้นไม้ในแปลงทดลองตั้งแต่ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 - เมษายน พ.ศ. 2564 โดยต้นไม้มีอายุ 1 เดือน - 11 เดือน แสดงดังในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเติบโตของต้นไม้ที่แปรผันตามอายุและฤดูกาล โดยต้นไม้มีการเจริญเติบโตในช่วงฤดูฝนเนื่องจากได้รับปริมาณน้ำที่เพียงพอ ในขณะที่เดือนมีนาคม (อายุต้นไม้ 10 เดือน) ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน พบว่า ต้นไม้ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศร้อนและแห้งแล้ง รวมถึงลมไอความเค็มจากทะเลและแนวกันแปลงพื้นที่โดยรอบบางส่วนล้มได้รับความเสียหาย และพื้นที่สภาพอีกครั้งในช่วงปลายเดือนเมษายน 2564 เนื่องจากได้รับปริมาณน้ำฝนอย่างเพียงพอในพื้นที่ศึกษา และนอกจากนี้ ผู้วิจัยและเทศบาลนครสงขลาได้ร่วมกันดูแลบำรุงรักษาแปลงทดลองการปลูกป่านิเวศในระยะเวลาการติดตาม โดยการตรวจสอบและซ่อมแซมไม้ปักค้ำยันกล้าไม้ที่ชำรุด ตรวจสอบความหนาแน่นของฟางเพื่อรักษาความชื้นหน้าดิน ตรวจสอบการทำงานของระบบรดน้ำและรดน้ำในพื้นที่แปลงทดลองปลูกป่านิเวศ



รูปที่ 7 แปลงทดลองการปลูกป่านิเวศ ณ หาดชลาทัศน์ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

สรุปผลการศึกษานี้ ผลการดำเนินงานข้างต้นทำให้ได้ผลการพัฒนาและรูปแบบการปลูกป่านิเวศชายหาด เพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่งด้วยหลักการปลูกป่านิเวศชายหาด (Coastal eco-forest) วิธีการและขั้นตอนปลูกป่านิเวศชายหาด ผลการติดตามการเจริญเติบโตของต้นไม้ในระยะเวลาติดตามทำให้ทราบชนิดพันธุ์ที่เหมาะสมและข้อจำกัดจากการดำเนินงาน ตลอดจน แนวทางการปรับปรุงรูปแบบการปลูกป่านิเวศชายหาดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

4.1.1 ผลการศึกษาการพัฒนาารูปแบบการปลูกป่าบริเวณเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่ง ในพื้นที่แปลงทดลอง ณ หาดชลาทัศน์ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ในการศึกษาได้พัฒนาด้วยหลักการปลูกป่าบริเวณชายหาด (Coastal eco-forest) เพื่อสร้างระบบนิเวศเลียนแบบโครงสร้างธรรมชาติทำให้เกิดการแข่งขันและเจริญเติบโตหนาแน่นเสมือนกำแพงธรรมชาติที่แข็งแรง กลุ่มพันธุ์ไม้ที่นำมาใช้ในการปลูกป่าบริเวณควรประกอบด้วยหลากหลายชนิดที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกในสภาพพื้นที่ชายหาด มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว มีความทนทานต่อไอน้ำเค็ม ชนิดพันธุ์ไม้ควรมีการคล้ำดับชั้นความสูง (ไม้ยืนต้น ไม้ยืนต้นเตี้ย ไม้พุ่ม) เพื่อช่วยลดแรงปะทะจากคลื่นลมทะเลและไอน้ำเค็มตามลำดับชั้นความสูง และมีอายุและความสูงของกล้าไม้ที่เหมาะสมเพื่อสามารถรองรับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศในช่วงแรกของการปลูก ขณะที่รูปแบบการปลูกป่าบริเวณชายหาดที่ได้พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยขั้นตอน การขุดหลุมแบบสุมและมีความถี่ ซึ่งจะช่วยให้ต้นไม้เกิดการแข่งขันการเจริญเติบโตในแต่ละชนิดพันธุ์พืช การจัดเตรียมกล้าไม้ที่เพาะจากเมล็ดพันธุ์ และมีรากแก้วแข็งแรง การสร้างเนินดินและผสมปุ๋ยมูลสัตว์เพื่อเพิ่มสารอินทรีย์ในดิน การค้ำยันกล้าไม้เพื่อสร้างความแข็งแรงในระยะแรก การใช้ฟางเป็นวัสดุคลุมดินเพื่อรักษาความชื้นในดินและย่อยสลายเป็นธาตุอาหารในดิน การจัดทำแนวกันลมและไอน้ำเค็มในช่วงที่กล้าไม้ยังไม่เติบโตเต็มที่ การจัดทำระบบการให้น้ำในแปลง และขั้นตอนสำคัญในการดูแลบำรุงรักษาอย่างมีระบบภายใต้การดูแลของหน่วยงานในพื้นที่ ซึ่งหลักการปลูกป่าเพื่อลดผลกระทบฯ ที่ได้พัฒนาในช่วงต้นนี้มีข้อดีแตกต่างจากการศึกษาอื่นๆ กล่าวคือ สามารถสร้างระบบนิเวศป่าชายฝั่งได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบการปลูกแบบปกติและเจริญเติบโตแบบธรรมชาติและมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง

ผลการศึกษาอัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้จากระยะเวลาติดตาม 8 เดือน พบว่า ต้นไม้มีอัตราการรอดเฉลี่ยสูงถึง 96% ชนิดพันธุ์ไม้ที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดโดยพิจารณาจากความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ ต้นสนประดิพัทธ์ ต้นปอทะเล และต้นโพทะเล ตามลำดับ ผลการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ทั้ง 9 ชนิดพันธุ์ในระยะการติดตาม พบว่า ต้นโพทะเล ต้นปอทะเล และต้นหยีทะเล มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด และพบว่า ต้นเสมทะเล มีอัตราการเจริญเติบโตน้อยที่สุด และผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าต้นสนประดิพัทธ์ (พันธุ์ไม้เอกลักษณ์ท้องถิ่น) ต้นปอทะเล และต้นโพทะเล เป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับใช้ในการปลูกป่าบริเวณเพื่อลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งและพายุซัดฝั่งในพื้นที่แปลงทดลองของสภาพแวดล้อมชายหาด ผลการติดตามการเจริญเติบโตของต้นไม้ในระยะเวลา 11 เดือน พบว่า เนื่องด้วยสภาพพื้นที่แปลงทดลองติดชายฝั่งทะเลการติดตั้งแนวกันรอบแปลงจะสามารถช่วยลดความรุนแรงจากคลื่นลมแรงในช่วงที่กล้าไม้ยังไม่เติบโตเต็มที่และลดการเกาะของไอน้ำเค็มซึ่งเป็นสาเหตุต่อสภาวะใบแห้งกรอบ แต่ขณะเดียวกันพบว่า ฝนตกในช่วงมรสุมและเสริมด้วยการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอในช่วงฤดูร้อน (ช่วงผลัดใบ) จะช่วยให้ต้นไม้สามารถเติบโตและสามารถชะล้างไอน้ำเค็มที่เกาะติดบริเวณใบและกลับฟื้นคืนสภาพโดยเร็วก่อนแห้งเฉาตาย นอกจากนี้ผลการติดตามการปลูกป่าบริเวณในแปลงทดลองพบว่าแนวกันโดยรอบแปลงทดลองเสียหายและได้รับผลกระทบจากลมมรสุมพัดผ่านและหน้าดินแห้งในช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนมีนาคม - เมษายน พ.ศ. 2564 ซึ่งสามารถเสริมประสิทธิภาพของวิธีการปลูกป่าบริเวณชายหาดที่ได้พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ร่วมกับวิธีการอื่น เช่น การปลูกพืชบนสันทรายด้วยพีชระดับล่างหรือพีชคลุมดินอย่างหนาแน่นด้วยชนิดพันธุ์ไม้ท้องถิ่นและขยายพันธุ์ง่าย เช่น ผักบุ้งทะเล และ หญ้าแฝก เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรง รักษาความชื้นหน้าดิน เพิ่มการยึดเกาะหน้าดินให้แข็งแรงและสามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้างและคุณภาพของดินให้ดีขึ้น⁹⁻¹⁰ พร้อมทั้ง จัดทำระยะความสูงของแนวกันแปลงให้เหมาะสมมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดผลกระทบต่อแปลงทดลอง



วิธีการดำเนินงานอย่างมีส่วนร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ด้วยกระบวนการประชุมเพื่อระดมความคิดเห็นต่อแนวทางการปลูกป่าบริเวณจากหน่วยงานภาครัฐในระดับท้องถิ่น ประชาชนในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง หาดขลาคัทศน์ ประชาชนในพื้นที่เขตเทศบาลนครสงขลา การยอมรับจากภาคประชาชนต่อแนวทางการนำวิธีการปลูกป่าเนเวสมาใช้เพื่อลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งมาใช้ในพื้นที่ ตลอดจน ความร่วมมือจากเครือข่ายการดำเนินงานในระดับพื้นที่จากเทศบาลนครสงขลา และหน่วยงานภาคการศึกษา เช่น มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา นับเป็นกระบวนการทางสังคมสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินงานในระดับพื้นที่ประสบผลสำเร็จในการศึกษานี้

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การศึกษานี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาและพัฒนารูปแบบการปลูกป่าเนเวชชายหาดเพื่อลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งตามหลักการปลูกป่าเนเวช (Eco-forest) ในพื้นที่ต้นแบบแห่งแรกของประเทศ แต่เนื่องจากเป็นผลการศึกษาในระยะแรกและต้นไม้อายุน้อย (11 เดือน) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาการเติบโตของต้นไม้เพื่อทำให้เกิดระบบนิเวศของป่าเนเวชชายหาดได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพการลดผลกระทบในระยะยาว และการนำหลักการปลูกป่าเนเวชชายหาดไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานในพื้นที่ที่ได้ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ใดๆ ในอนาคตนั้น ควรพิจารณาความเหมาะสมของวิธีการ และลักษณะกายภาพของพื้นที่ ลักษณะอุทกศาสตร์ สภาพภูมิอากาศ ทิศทางลมในแต่ละพื้นที่ร่วมด้วยเป็นสำคัญเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนการดำเนินงานให้ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.2.2 ต้นสนประดิพัทธ์ซึ่งเป็นต้นไม้ประจำท้องถิ่นมีความเหมาะสมต่อการปลูกเพื่อลดผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่และเป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่มีอัตราการรอดสูงและเจริญเติบโตได้ดี สามารถนำมาใช้ปลูกร่วมกับต้นไม้พันธุ์อื่นๆ เพื่อเป็นแนวกันลมภายในแปลงทดลองได้ แต่ทั้งนี้ ความสูงของต้นสนประดิพัทธ์ที่อาจเด่นชัดมากกว่าชนิดพันธุ์อื่นเกินไปทำให้บังการได้รับแสงแดดของชนิดพันธุ์อื่นๆ ในระยะยาว และความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลงทดลองที่อาจจะมากเกินไป (4 - 5 ต้นต่อตารางเมตร) ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณ ดังนั้น ควรศึกษาอัตราความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของการปลูกป่าเนเวชเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการกัดเซาะชายฝั่งต่อการดำเนินงานพื้นที่อื่นๆ ในอนาคต

4.2.3 พื้นที่ศึกษาวิจัย ณ แปลงทดลองการปลูกป่าเนเวช หาดขลาคัทศน์ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สามารถใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้รูปแบบและตัวอย่างการปลูกป่าเนเวชเพื่อลดผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง และแหล่งเรียนรู้ตัวอย่างความหลากหลายทางชีวภาพของพันธุ์ไม้ชายหาดให้แก่เยาวชนและประชาชนผู้สนใจในพื้นที่และสามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้และขยายผลในพื้นที่อื่นๆ รวมถึง เป็นพื้นที่ศึกษาวิจัยด้านพลวัตคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายฝั่งร่วมกับเครือข่ายการดำเนินงานในพื้นที่ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เทศบาลนครสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ประชาชนในพื้นที่เขตเทศบาลนครสงขลา ที่เล็งเห็นความสำคัญของโครงการและให้อนุเคราะห์พื้นที่แปลงทดลองการปลูกป่าเนเวช ณ หาดขลาคัทศน์ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และอำนวยความสะดวกการดำเนินงาน ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำจนทำให้การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

1. Wong PP, Losada IJ, Gattuso J-P, Hinkel J, Khattabi A, McInnes KL, et al. Coastal systems and low-lying areas. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, et al, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press;2014;361-409
2. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์ของประเทศไทย ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2559.
3. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. สถานการณ์ชายฝั่งและการจัดการปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งจากอดีตถึงปัจจุบัน [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง; 2561. [เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2561]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.dmcr.go.th/detailLib/4050>
4. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. คู่มือความรู้การกัดเซาะชายฝั่ง. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง 2561. [เข้าถึงเมื่อ 12 พฤษภาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.dmcr.go.th/detailLib/3962>
5. Rao, NS, Andrea G, Rosimeiry P, Xuanwen W. Global values of coastal ecosystem services: A spatial economic analysis of shoreline protection values. *Ecosyst Serv* 2015;11:95-105.
6. Project Summary : Disaster-Preventive-Forests [Internet]. Japan: updated; 2011 [cited 2002 May 14]. Available from: <https://morinoproject.com/english>
7. Miyawaki A. Restoration of living environment based on vegetation ecology: theory and practice. *Ecol Res* 2004;19(1):83-90.
8. Tanaka N, Sasaki Y, Mowjood M.I.M., Jinadasa KBSN, Homchuen S. (2006). Coastal vegetation structures and their functions in tsunami protection: Experience of the recent Indian Ocean tsunami. *Landsc Ecol Eng* 2006;3(1):33-45.
9. สิรินทรา วัฒนโธ. โครงการการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งทะเลด้วยวิธีการปลูกพืชบนสันทรายในอุทยานแห่งชาติทางทะเลที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิ. *สารศาสตร์* [อินเทอร์เน็ต]. 2555. [เข้าถึงเมื่อ 17 กุมภาพันธ์ 2564]; (17):39-50 เข้าถึงได้จาก : <https://www.academia.edu/122070930>
10. ชลตรงค์ ทองสง. รายงานบริการวิชาการ: โครงการการพัฒนาฐานการเรียนรู้การป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและฟื้นฟูระบบนิเวศริมทะเลด้วยพืชพรรณ. ชุมพร: มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร; 2560.
11. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาและพัฒนารูปแบบการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและชุมชน. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2560.
12. Yamane T. *Statistics, An Introductory Analysis*. 2nd ed. New York: Harper and Row; 1967.



การพัฒนาดัชนีและเครื่องมือสำหรับประเมินความตระหนัก
ของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Development of index and tool for assessing public awareness on climate change

ปรีดาร์ตน์ พลละเอียด* ปรางทิพย์ จันท์ศรี อัสมน ลิมสกุล

Preedarat Pholla-iad*, Prangtip Chansri, Atsamon Limsakul

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: Preedarat1988@gmail.com*

บทคัดย่อ

ประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรอบทศวรรษที่ผ่านมา หน่วยงานและสถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องได้สร้างความรู้ความเข้าใจและความตระหนักถึงสาเหตุ ปัญหา และผลกระทบให้แก่ประชาชนมาอย่างต่อเนื่อง แต่ทั้งนี้ยังขาดวิธีการ เทคนิคและเครื่องมือสำหรับการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ที่เหมาะสม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนีความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระบบประมวลผลสำหรับประเมินความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และประเมินระดับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของ 3 กลุ่มตัวอย่าง การพัฒนาดัชนีความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Awareness Index ; CCAI) อาศัยแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับความตระหนักใน 3 มิติ คือ ความรู้ ความกังวล และพฤติกรรม โดยโครงสร้างและองค์ประกอบของดัชนี CCAI ถูกพัฒนาจากแบบสอบถามด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากนั้นทำการพัฒนาดัชนี CCAI ที่มีสเกลในช่วง 0 - 1 และระบบประมวลผลในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ที่ง่ายต่อการใช้งาน และสามารถทราบผลระดับความตระหนักได้ทันที ผลการประเมินระดับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชน 3 กลุ่มเป้าหมาย พบว่า ประชาชนในพื้นที่อำเภอไทยรัฐตัว ก มีค่าเฉลี่ยดัชนี CCAI อยู่ในระดับ 0.5 ประชาชนตามภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ มีค่าเฉลี่ยดัชนี CCAI อยู่ในระดับ 0.76 และประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยดัชนี CCAI อยู่ในระดับ 0.78 นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อความแตกต่างของค่าดัชนี CCAI ประกอบด้วย อายุ ระดับการศึกษา และอาชีพ เป็นต้น แต่ภูมิภาคที่ประชาชนกลุ่มเป้าหมายอยู่อาศัย รวมถึงภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ ทั้ง 6 ราชสาขา และขนาดของเทศบาลที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าดัชนี CCAI ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถไปใช้วัดระดับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชนในระดับพื้นที่ได้จริง และควรสนับสนุนให้มีการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเผยแพร่ให้แก่ภาคส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรา 6 ของกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ : ดัชนีความตระหนัก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ

Abstract

In the past decade Climate Change issue in Thailand was continuously informed and public awareness to the people by related organizations and educational institutions. However, there are no appropriate methodology, technical and tool for trace and evaluate an achievement. Development of index and tool for assessing public awareness on climate change. This study

aimed to develop Climate Change Awareness Index (CCAI), Climate Change Awareness Assessment System and determine the level of awareness related to climate change of the three sample groups. Climate change awareness index (CCAI) was developed by Elements of Environmental Awareness that includes three dimensions namely: Knowledge, Motivation, and Skills. Structure and component of CCAI was developed from online questionnaires on climate change and formulate online questionnaires on climate change and formulate a scale ranging from 0-1. and a systematic form of online website application. Generally, this system is easy to use and the results of data on public awareness on climate change can be displayed on real-time. The results showed that the level of awareness of the people living surrounding the inner Gulf of Thailand was 0.55, the key sectors identified in the Thailand's NAP were at the level of 0.76 and the target group of the DEQP were at the level of 0.78. In addition, factors affecting the CCAI include age, academic attainment and occupation. In contrast, in this region, the six priority sectors identified in NAP, and other Municipalities were not affected by CCAI at the statistical confidence level of 95 percent. The result of this study should be published to public and other related organizations, under Article 6 of the United Nations Framework Convention on Climate Change to take further advantage.

Keyword : Climate Change Awareness Index, Climate Change, National Adaptation Plan

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งได้รับอิทธิพลจากหลายๆ ปัจจัย และปัจจุบันกลายเป็นข้อกังวลสำคัญที่ประชาคมโลกได้ร่วมมือกันเพื่อรับมือและแก้ไขปัญหากันอย่างจริงจัง แม้ว่าข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกำลังเกิดขึ้นทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และมีผลกระทบและความเสี่ยงที่รุนแรง แต่ความรู้ความเข้าใจของประชาชนต่อข้อเท็จจริงของประเด็นนี้ และการสนับสนุนด้านนโยบายจากประชาชนยังมีความคลุมเครือและไม่ชัดเจน¹ ทั้งนี้ การรับรู้ของประชาชนเกี่ยวกับสาเหตุ ผลกระทบ และนัยด้านต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในขอบเขตที่กว้างขึ้น มีผลอย่างสูงต่อแนวทางการตอบสนองของบุคคล สังคม และการเมือง โดยการสนับสนุนจากประชาชนในการแก้ไขปัญหาและดำเนินนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงขึ้นอยู่กับระดับความตระหนักของประชาชน¹⁻³

ช่วงที่ผ่านมา การศึกษาวิจัยด้านการรับรู้และความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่จำกัดอยู่ในประเทศออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และยุโรป¹⁻² ในขณะเดียวกันการรับรู้และความตระหนักของประชาชนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีการศึกษาวิจัยน้อยมากในประเทศกำลังพัฒนา¹⁻² ในแถบภูมิภาคเอเชียหลายๆ งานวิจัยที่พบได้ทำการประเมินความตระหนักโดยเน้นกลุ่มของนักเรียน - นักศึกษา โดยรูปแบบของวิธีการจะใช้การตอบคำถามผ่านแบบสอบถาม เช่น ประเทศมาเลเซีย ประเทศอินเดีย และประเทศอินโดนีเซีย⁴⁻⁷ ในส่วนของการพัฒนาดัชนีความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Awareness Index; CCAI) ก็ได้เริ่มถูกมาใช้ประเมินระดับความตระหนักของประชาชนกลุ่มต่างๆ เช่น การศึกษาของ Kutir et al. (2015) ได้ใช้ดัชนี CCAI ในการศึกษาความตระหนักของเกษตรกรด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการตอบสนองต่อผลกระทบในเขตภาคเหนือของประเทศกัมพูชา และการศึกษาของ Abuelgasim and Daiban (2017) ได้ทำการพัฒนาดัชนี CCAI เพื่อตรวจวัดระดับความตระหนักของประชาชนในประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ เป็นต้น



สำหรับประเทศไทย ประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้รับความสนใจจากประชาชนอย่างแพร่หลายในรอบทศวรรษที่ผ่านมาภาคส่วนต่างๆ ได้สร้างความรู้ความเข้าใจและความตระหนักถึงสาเหตุปัญหา ผลกระทบ รวมทั้งการแก้ไขและตั้งรับต่อปัญหาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ผ่านกิจกรรมต่างๆ ภายใต้มาตรา 6 ของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือปฏิบัติการเพื่อเสริมพลังด้านสภาพภูมิอากาศ (Action for Climate Empowerment; ACE)⁸ อย่างไรก็ตาม การติดตามและประเมินถึงผลสัมฤทธิ์ของการสร้างความรู้ความเข้าใจและปลูกจิตสำนึกด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายใต้กิจกรรมมาตรา 6 ของอนุสัญญาฯ ที่ผ่านมานั้นยังไม่ได้ดำเนินการเนื่องจากขาดวิธีการ เทคนิค และเครื่องมือสำหรับการประเมินที่เหมาะสมเช่นเดียวกันกับประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้เล็งเห็นความสำคัญในประเด็นดังกล่าวดังนั้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ดำเนินโครงการพัฒนาดัชนีและเครื่องมือสำหรับประเมินความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 - 2563 โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ (1) พัฒนาดัชนีความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (2) พัฒนาระบบประมวลผลสำหรับประเมินความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยติดตามและประเมินผลการดำเนินงานภายใต้กิจกรรมมาตรา 6 ของอนุสัญญาฯ ของประเทศไทย อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่ง่ายต่อการใช้งานและเหมาะสมกับหน่วยงานต่างๆ สามารถนำไปใช้ตรวจวัดระดับความตระหนักของประชาชนกลุ่มต่างๆ เชิงตัวเลข และ (3) ประเมินเส้นบรรทัดฐานของระดับความรู้และการมีส่วนร่วมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับต่างๆ เพื่อช่วยสนับสนุนการอนุวัติมาตรา 6 ของอนุสัญญาฯ ของประเทศไทยในระดับภูมิภาคและท้องถิ่น ภายใต้บริบทของ Doha work programme ซึ่งมีระยะเวลาดำเนินการ 8 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ถึงปี พ.ศ. 2563 และความตกลงปารีส หลังจากปี พ.ศ. 2563

2. วิธีการวิจัย

2.1 การพัฒนาเครื่องมือเพื่อประเมินความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.1.1 การพัฒนาแบบสอบถามความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

บทวนตัวอย่างการพัฒนาแบบสอบถาม ปริญญาผู้เชี่ยวชาญ/ผู้มีความรู้ เพื่อพัฒนาและจัดทำแบบสอบถามโดยยึดตามกรอบแนวคิดด้านความตระหนัก 3 มิติ คือ ความรู้ ความตระหนัก และพฤติกรรม ซึ่งมีเนื้อหาคำถามเน้นด้านการปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการยกเว้นแบบสอบถาม จากนั้นรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ/ผู้มีความรู้ด้านการรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อปรับแก้แบบสอบถามให้มีความเหมาะสม และทดสอบความเหมาะสมและความสมบูรณ์ของแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้น โดยการทดสอบหาค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) ของแบบสอบถามที่เกี่ยวกับความรู้ โดยใช้วิธีสหสัมพันธ์อย่างง่ายแบบเพียร์สัน⁹ และทดสอบหาคุณภาพด้านความเชื่อมั่น (Reliability Test) ของแบบสอบถามที่เกี่ยวกับความกังวล และพฤติกรรม โดยใช้วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient)¹⁰ ทั้งนี้ในภายหลัง คณะผู้วิจัยได้นำโครงสร้างของแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการปรับแก้เนื้อหาของข้อคำถามเพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับบริบทของกลุ่มเป้าหมายต่างๆ แม้ว่าข้อคำถามของแบบสอบถามแต่ละชุดจะมีเนื้อหาในเชิงมิติและจำนวนข้อที่แตกต่างกัน แต่คณะผู้วิจัยได้มีการกำหนดน้ำหนักค่าคะแนนข้อคำถามที่มีความสำคัญ ต่อเนื้อหาแบบสอบถามในมิตินั้นๆ เป็นหลัก และเพิ่ม/ลดข้อคำถามอื่นๆ ที่มีความสำคัญน้อยกว่าเข้ามา เพื่อให้ชุดแบบสอบถามนั้นๆ

มีคำถามที่ครอบคลุมและเหมาะสมต่อเนื้อหา ดังนั้น ชุดแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นจึงมีความยืดหยุ่นในการตั้งข้อคำถามที่ต้องการจะประเมินความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชนตามกลุ่มเป้าหมายต่างๆ

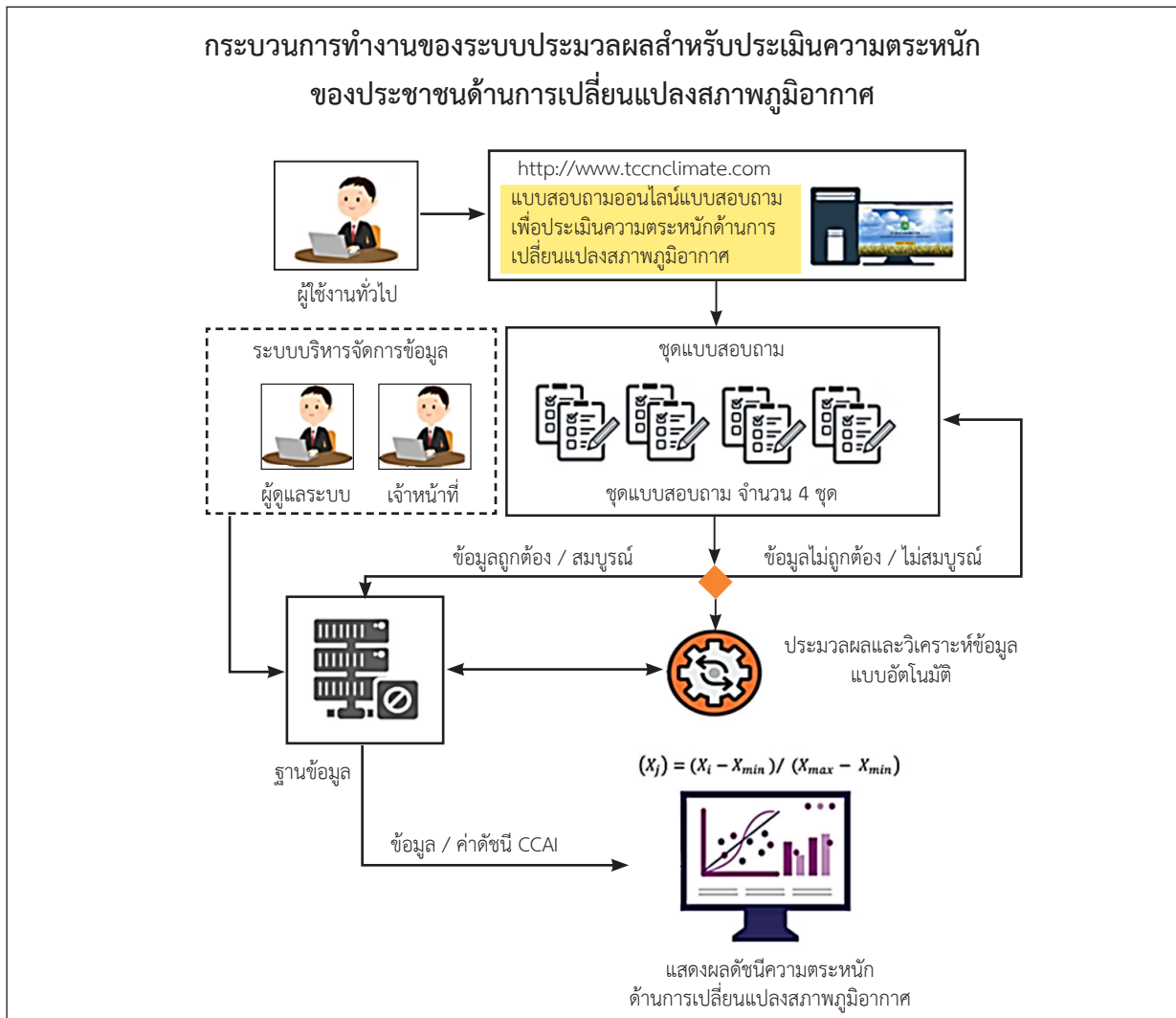
2.1.2 การพัฒนาดัชนีความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

โครงสร้างและองค์ประกอบของดัชนี CCAI ถูกพัฒนาขึ้นมาจากแบบสอบถามที่มีองค์ประกอบ 3 ด้าน คือ ด้านความรู้ ด้านความกังวล และด้านพฤติกรรม ทั้งนี้รายละเอียดของข้อคำถามมีความครอบคลุมเนื้อหา ด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โครงสร้างของดัชนี CCAI ที่ถูกจัดทำขึ้น ประกอบด้วย 1 องค์ประกอบหลัก (Major Component) 3 องค์ประกอบรอง (Sub Component) และตัวแปรที่ใช้คำนวณดัชนี CCAI จากการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมที่สามารถตรวจวัดความตระหนักของประชาชน ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในมิติความรู้ ด้านความกังวล และด้านพฤติกรรมจากแบบสอบถามที่ได้พัฒนาและออกแบบในระยะแรก ซึ่งวิธีการนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ แสงจันทร์ ลี้มจิรกาล และอัศมน ลี้มสกุล (2556)¹³ ที่ได้พัฒนาดัชนีความล่อแหลมระดับชุมชน (Community-based Vulnerability Index : CoVI) โดยพิจารณาคัดเลือกดัชนีแต่ละองค์ประกอบบนพื้นฐานความสอดคล้องในแง่สเกลของข้อมูลโดยจะทำการแปลงสเกลของตัวแปรในแต่ละองค์ประกอบรอง ซึ่งมีหน่วยและสเกลการวัดที่แตกต่างกัน ให้อยู่ในรูปของสเกลตัวเลข (numerical scale) ที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ด้วยเทคนิค Minimum-Maximum Normalization¹¹⁻¹² โดยคะแนนจะอยู่ในช่วง 0 - 1 และคำนวณค่าดัชนี CCAI ด้วย Additive Model โดยให้ค่าน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบรอง มีสัดส่วนของการถ่วงน้ำหนักที่เท่ากัน ซึ่งค่าที่เข้าใกล้ 0 จะบ่งชี้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความตระหนักค่อนข้างไปทางต่ำ และค่าที่เข้าใกล้ 1 จะบ่งชี้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความตระหนักค่อนข้างไปทางสูง จากนั้นทดสอบโอกาสที่เป็นไปได้ของค่าดัชนี CCAI โดยจำลอง (Simulation) โอกาสที่เป็นไปได้ด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือและความเที่ยงของดัชนี CCAI ที่พัฒนาขึ้น ขั้นตอนการคำนวณดัชนี CCAI ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการของ Abuelgasim and Daiban (2017)¹⁴ ที่ได้ทำการพัฒนา Climate Change Awareness Index (CCA) โดยใช้โมเดล Additive Mathematical Operation ในการคำนวณความตระหนัก

2.1.3 การพัฒนาระบบประมวลผลสำหรับประเมินความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ระบบประมวลผลฯ ที่พัฒนาขึ้นเป็นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ที่ง่ายต่อการใช้งาน สามารถทำงานได้ในทุกอุปกรณ์เพียงแค่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถาม จะถูกเก็บรวบรวมไว้ในฐานข้อมูล (Database System) โครงสร้างของระบบประมวลผลฯ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามออนไลน์ มีจำนวน 4 ชุด กำหนดให้แบบสอบถามที่ถูกต้องและสมบูรณ์จะส่งไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล ส่วนที่ 2 การประมวลผลดัชนี CCAI ระบบจะนำผลที่ได้จากแบบสอบถามไปประมวลผลแบบอัตโนมัติ และส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปบันทึกไว้ในฐานข้อมูลเช่นเดียวกัน และส่วนที่ 3 การแสดงผลค่าดัชนี CCAI ข้อมูลผลการตอบแบบสอบถามพร้อมค่าดัชนี CCAI ที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล ได้ถูกนำมาแปลงและนำเสนอในรูปแบบของกราฟ โดยในการแสดงผลจะแสดงค่าดัชนี CCAI ที่มาจากผู้ตอบแบบสอบถาม พร้อมแสดงคะแนนเฉลี่ยค่าดัชนี CCAI ของผู้ตอบแบบสอบถามชุดนั้นทั้งหมดเพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบ แสดงดังรูปที่ 1





รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของระบบประมวลผลสำหรับประเมินความตระหนัก
ของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ซึ่งในการบริหารจัดการข้อมูลได้แบ่งการใช้งานออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ผู้ใช้งานทั่วไป 2) เจ้าหน้าที่ และ 3) ผู้ดูแลระบบ ทั้งนี้ ระบบประมวลผลฯ ถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่น โดยสามารถเพิ่มเติม ปรับปรุง หรือแก้ไขแบบสอบถามให้เหมาะสมตามกลุ่มเป้าหมายและวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยดัชนี CCAI จะปรับการคำนวณตามจำนวนข้อในแบบสอบถามในกรณีที่มีการปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงในแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถทราบผลการประเมินและดาวน์โหลดได้ทันทีในรูปแบบไฟล์ Portable Document Format (pdf) นอกจากนี้ ระบบประมวลผลฯ ยังมีระบบฐานข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่เรียกว่า ระบบหลังบ้าน (Back-office) ซึ่งจะมีการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการตอบแบบสอบถาม โดยสามารถเข้าไปตอบแบบสอบถามได้ที่เว็บไซต์ <http://semiauto.landuselandcover.com>

2.2 การประเมินระดับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชน

สำรวจข้อมูลด้วยระบบประมวลผลสำหรับประเมินความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งในขั้นตอนการคัดเลือกกลุ่มเป้าหมาย ผู้วิจัยได้รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล และกำหนดเกณฑ์เพื่อประกอบการคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายจากแหล่งที่เกี่ยวข้อง และกำหนดชุดแบบสอบถามที่ใช้ดำเนินการเก็บข้อมูลที่สอดคล้องกับบริบทของกลุ่มเป้าหมายนั้นๆ สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดแบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจข้อมูล

กลุ่มเป้าหมาย	ชุดแบบสอบถามที่ใช้	วิธีเลือกตัวอย่าง	เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง
1. ประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล อ่าวไทยรูปตัว ก	แบบสอบถามชุดที่ 2 แบบสอบถามเพื่อประเมินความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชนในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก	สุ่ม	1. เป็นพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล 2. เป็นพื้นที่อยู่ใน 7 จังหวัดของอ่าวไทยรูปตัว ก	373
2. ประชาชนในภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ	แบบสอบถามชุดที่ 4 แบบสอบถามเพื่อประเมินความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ	เจาะจง	1. เป็นเทศบาลนคร เทศบาลเมือง และเทศบาลตำบล 2. เคยดำเนินกิจกรรมหรือโครงการด้านการปรับตัวฯ 3. เป็นเทศบาลนำร่องของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	844
3. ประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม	แบบสอบถามชุดที่ 3 แบบสอบถามเพื่อประเมินความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชน (ฉบับใหม่)	เจาะจง	1. ผลการดำเนินงานด้านการปรับตัวฯ 2. ความพร้อมของเทศบาล	280

3. ผลการวิจัย

ผลการประเมินระดับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่มจากการเก็บข้อมูลสามารถสรุปในภาพรวม แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

กลุ่มเป้าหมาย	ค่าเฉลี่ย ความรู้	ค่าเฉลี่ย ความกังวล	ค่าเฉลี่ย พฤติกรรม	ค่าเฉลี่ย CCAI
พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก	0.68 (SD=0.68)	0.68 (SD=0.29)	0.40 (SD=0.25)	0.55 (SD=0.17)
ภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ	0.77 (SD=0.18)	0.74 (SD=0.21)	0.77 (SD=0.17)	0.76 (SD=0.12)
พื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม	0.84 (SD=0.15)	0.76 (SD=0.19)	0.73 (SD=0.17)	0.73 (SD=0.11)

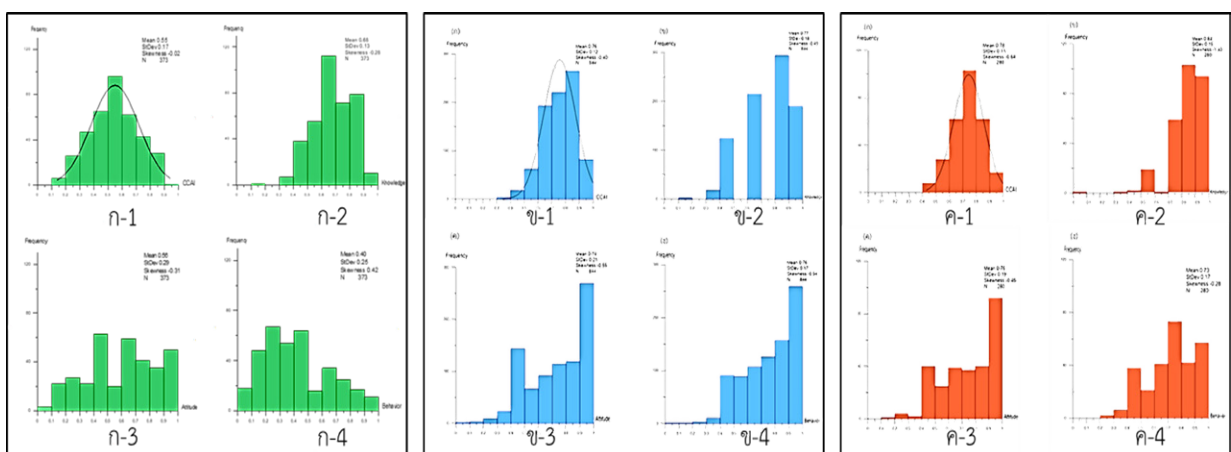
Standard Deviation (SD) หรือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนี CCAI จากกลุ่มเป้าหมายทั้ง 3 กลุ่ม ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มเป้าหมายประชาชนในพื้นที่อำเภอไทยรูปตัว ก มีค่าดัชนี CCAI เท่ากับ 0.55 ซึ่งระดับความตระหนักรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งจากข้อมูลทางกายภาพบริเวณแนวชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี โดยเฉพาะอำเภอที่เป็นสถานที่ท่องเที่ยวหรือเป็นเขตเศรษฐกิจ ส่วนใหญ่ได้รับการป้องกันต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งในรูปแบบของเขื่อนกันคลื่นและการดูแลรักษาชายหาด ส่งผลให้ประชาชนรู้สึกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเรื่องไกลตัว แตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างในจังหวัดอื่นๆ ที่อาศัยบริเวณส่วนหัวของชายฝั่งรูปตัว ก เช่น สมุทรสาคร และกรุงเทพมหานคร โดยผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มนี้จะมีระดับของความรู้ ความกังวลค่อนข้างมาก และพฤติกรรมปรับตัวเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่กับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากได้รับผลกระทบรุนแรงมีการสูญเสียพื้นที่จากการกัดเซาะชายฝั่งซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นเชิงประจักษ์

กลุ่มเป้าหมายประชาชนในภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ มีค่าดัชนี CCAI เท่ากับ 0.76 ซึ่งระดับความตระหนักรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่ในระดับสูง โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเจ้าของที่เทศบาลอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีความโดดเด่นในรายสาขาของภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ และที่ผ่านมามีหน่วยงานได้ดำเนินกิจกรรมที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งมีพฤติกรรมปรับตัวในชีวิตประจำวันที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความรู้พื้นฐานที่เพียงพอต่อการที่จะเข้าใจองค์ความรู้และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ จึงส่งผลให้ผลการประเมินระดับความตระหนักรู้มีค่าดัชนี CCAI ในระดับสูง

กลุ่มเป้าหมายประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีค่าดัชนี CCAI เท่ากับ 0.78 ซึ่งระดับความตระหนักรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่ในระดับสูง เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายนี้เป็นประชาชนที่อาศัยในพื้นที่เทศบาลที่ผ่านเข้ารอบการประเมินเมืองสิ่งแวดล้อมยั่งยืนระดับประเทศ ในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งในแต่ละเทศบาลจะต้องผ่านเกณฑ์การประเมิน โดยเฉพาะตัวชี้วัดที่ 6 การจัดการภัยพิบัติและสาธารณภัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ¹⁵ จึงได้รับการอบรมให้ความรู้จากหน่วยงานต่างๆ และได้เข้าร่วมกิจกรรมเป็นประจำทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่เป็นการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



รูปที่ 2 ฮิสโทแกรมแสดงการกระจายตัวของดัชนี CCAI ของกลุ่มเป้าหมาย

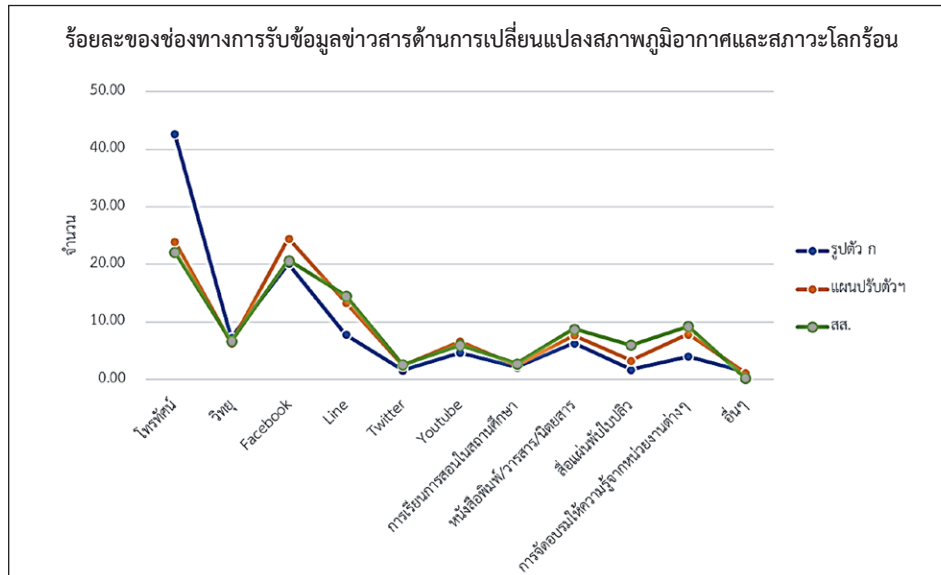
ผลการวิเคราะห์กระจายตัวของค่าดัชนี CCAI ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างของประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ติดชายฝั่งทะเลอำเภอไทยรูปตัว ก จากรูปที่ 2 (ก-1) พบว่า ค่าดัชนี CCAI มีลักษณะการกระจายตัวที่ค่อนข้างสมมาตร แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าดัชนี CCAI อยู่ในระดับปานกลาง คือระหว่าง 0.4 - 0.7 รูปที่ 2 (ก-2)

พบว่าการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยองค์ประกอบด้านความรู้เข้าใจ 1 รูปที่ 2 (ก-3) พบว่าการกระจายตัวขององค์ประกอบความกังวลอยู่ในระดับปานกลาง และรูปที่ 2 (ก-4) ส่วนใหญ่มีคะแนนน้อยกว่า 0.5 จากการวิเคราะห์ข้อมูลกล่าวได้ว่า กลุ่มตัวอย่างในพื้นที่บริเวณอำเภอไทยดง ก มีความรู้และความตระหนักรู้ค่อนข้างดี แต่ยังคงมีการปรับตัวต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศค่อนข้างน้อย อาจเป็นไปได้ว่าระดับความรู้และความกังวลของกลุ่มตัวอย่าง ไม่นำไปสู่การดำเนินการหรือปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในระดับเดียวกัน

รูปที่ 2 (ข-1) การกระจายตัวของค่าดัชนี CCAI กรณีกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนในภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่มีความตระหนักรู้ในระดับสูง รูปที่ 2 (ข-2) พบว่าองค์ประกอบด้านความรู้ส่วนใหญ่มีคะแนนอยู่ที่ 0.8 - 0.9 รูปที่ 2 (ข-3) พบว่า มีความกังวลอยู่ในระดับสูงดูได้จากการกระจายตัวที่มากกว่า และรูปที่ 2 (ข-4) แสดงถึงกลุ่มตัวอย่างมีช่วงพฤติกรรมปรับตัวระดับสูง กล่าวได้ว่าการที่กลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ย CCAI สูงนั้นเนื่องจากมีความรู้ค่อนข้างดี เป็นไปได้ว่ามีความสามารถในการเข้าถึงสื่อช่องทางต่างๆ ที่หลากหลาย และเข้าใจสารที่สื่อออกมาซึ่งเป็นผลมาจากระดับการศึกษา นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างบางส่วนที่ประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือเป็นอาชีพที่ต้องอาศัยปัจจัยทางภูมิอากาศ จะมีอิทธิพลที่ก่อให้เกิดแรงกระตุ้นให้มีความสนใจและติดตามข่าวสารมากขึ้น นำไปสู่การมีความกังวลและพฤติกรรมปรับตัวในการดำรงชีวิตประจำวันอย่างสม่ำเสมอ

กรณีกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จากรูปที่ 2 (ค-1) การกระจายตัวของค่าดัชนี CCAI แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความตระหนักรู้ในระดับสูง เมื่อพิจารณารูปที่ 2 (ค-2) องค์ประกอบด้านความรู้ รูปที่ 2 (ค-3) องค์ประกอบด้านความกังวล และรูปที่ 2 (ค-4) องค์ประกอบด้านพฤติกรรม พบว่ามีทิศทางไปในทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณารายละเอียดพบว่า สภาพแวดล้อมของประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีความคล้ายคลึงเช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนในภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ ดังนั้นสามารถชี้ให้เห็นว่า ความรู้ที่กลุ่มตัวอย่างได้รับ มีผลต่อการเกิดความกังวล และพฤติกรรม ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Roger (1971) ที่กล่าวว่าเมื่อบุคคลมีความรู้ ทักษะคิดเช่นไร จะแสดงพฤติกรรมไปตามความรู้และทัศนคติที่มีอยู่ นั่นคือ ความรู้ ทักษะคิด และพฤติกรรมจะเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน

จากการศึกษา พบว่าปัจจัยทางด้านระดับการศึกษาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความตระหนัก เนื่องจากจำเป็นต้องอาศัยทักษะหรือความชำนาญในการอ่านและฟังของผู้รับสารที่ย่อมมีผลต่อการเข้าใจในสาระข่าวนั้นต่างกันด้วย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านอายุที่มีผลต่อความแตกต่างของค่าดัชนี CCAI นั้น มักเกี่ยวข้องกับประสบการณ์ในการรับรู้เชิงประจักษ์และได้รับผลกระทบของแต่ละบุคคล สภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย นอกจากนี้อาชีพก็มีอิทธิพลต่อการได้รับข่าวสารข้อมูลและเลือกเปิดช่องทางการรับสื่อที่แตกต่างกัน เช่น กลุ่มที่ประกอบอาชีพเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานสิ่งแวดล้อมต่าง มีโอกาสเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร ได้รับการฝึกอบรม การเข้าร่วมกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ จึงส่งผลให้มีความตระหนักสูง ในส่วนของช่องทางการรับสื่อ แสดงดังรูปที่ 3 จากการวิเคราะห์พบว่า ช่องทางการรับข้อมูลจากสื่อต่างๆ มีผลต่อความตระหนัก ที่จะเป็นส่วนหนึ่งที่มาสนับสนุนให้มีความรู้ความเข้าใจด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพิ่มมากขึ้น โดยทั้ง 3 กลุ่มเป้าหมาย มีช่องทางการรับรู้สื่อด้านโทรทัศน์และ Facebook มากที่สุด ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ควรพิจารณาใช้ Social Media เป็นช่องทางในการเผยแพร่หรือประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารซึ่งเชื่อมโยงกับกิจกรรมภายใต้มาตรา 6



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเข้าถึงช่องทางการรับข้อมูลข่าวสารด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของกลุ่มตัวอย่าง

จึงสรุปได้ว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าดัชนี CCAI ของทั้ง 3 กลุ่มเป้าหมายนั้น ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ เป็นต้น ดังตารางที่ 3 ซึ่งในอนาคตการเสริมสร้างความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้กับประชาชนจึงควรพิจารณาให้ความสำคัญต่อปัจจัยพื้นฐานดังกล่าว นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติม จากผลการศึกษาทางสถิติพบว่า ภูมิภาคที่ประชาชนกลุ่มเป้าหมายอยู่อาศัย ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก และภาคใต้ รวมถึงภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติทั้ง 6 ราชสาขา และขนาดของเทศบาลที่แตกต่างกัน ได้แก่ เทศบาลนคร เทศบาลเมือง และเทศบาลตำบล ล้วนไม่มีผลต่อค่าดัชนี CCAI ที่สำรวจได้ ตารางที่ 3 ตารางสรุปผลของปัจจัยต่อค่าดัชนี CCAI ของทั้ง 3 กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย	ปัจจัยที่มีผลต่อความตระหนักของประชาชนด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ			
	เพศ	อายุ	ระดับการศึกษา	อาชีพ
1. พื้นที่อำเภอไทยรูปตัว ก	✓	✓	✓	✓
2. ภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ	✓	✓	✓	✓
3. พื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม	✓	✓	✓	✓

ผลของงานวิจัยนี้ทำให้ได้เครื่องมือที่ง่ายต่อการใช้งาน ที่จะสนับสนุนการติดตามและประเมินผลการดำเนินงานภายใต้กิจกรรมมาตรา 6 ของอนุสัญญาฯ ของประเทศไทย ซึ่งหน่วยงานต่างๆ สามารถนำไปใช้ตรวจวัดระดับความตระหนักของประชาชนกลุ่มต่างๆ เชิงตัวเลข และทราบถึงข้อมูลเส้นบรรทัดฐานระดับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของกลุ่มเป้าหมายทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อเป็นข้อมูลเชิงวิชาการสำหรับการวางแผนการดำเนินงานเพื่อรับมือต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อไป

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนี CCAI ของทั้ง 3 กลุ่มเป้าหมายที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ พบว่าเส้นบรรทัดฐานที่ต่างกันนั้นอาจมีสาเหตุจากวิธีในการคัดเลือกกลุ่มเป้าหมาย โดยพื้นที่อำเภอไทยรูปตัว ก ได้จากการเลือกแบบสุ่มเพื่อเป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมด ที่ประชากรมีโอกาสในการถูกเลือกเท่าๆ กัน และเมื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย CCAI จึงจัดอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นเส้นบรรทัดฐานที่สามารถอ้างอิงของประชาชนในพื้นที่อำเภอไทยรูปตัว ก อย่างแท้จริง แต่ในขณะที่อีก 2 กลุ่มเป้าหมาย ได้จากการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive หรือ Judgmental Sampling) โดยมีหลักการพิจารณาคัดเลือกจากข้อมูลของเทศบาลที่มีประสบการณ์การดำเนินงานที่เกี่ยวข้องด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้เส้นบรรทัดฐานที่ได้จากการสำรวจจัดอยู่ในระดับสูง ดังนั้น จึงไม่สามารถนำมาเป็นเส้นบรรทัดฐานที่แท้จริงของประชาชนในภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ และประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ แต่เป็นเส้นบรรทัดฐานของกลุ่มตัวอย่างในภาคส่วนนั้นๆ ในกรณีของกลุ่มเป้าหมายที่มีประสบการณ์และเป็นตัวอย่างที่ดี (Good Practice)

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ในขั้นตอนของการพัฒนาดัชนี CCAI ควรมีการศึกษาการกำหนดสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบรอง ด้วยวิธีการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญและวิเคราะห์ข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อให้องค์ประกอบแต่ละด้านสะท้อนระดับความตระหนักการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามสภาพความเป็นจริง

4.2.2 การศึกษาระดับความตระหนักในอนาคตนั้น ควรพิจารณาจากพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะชายฝั่ง และพายุซัดฝั่ง หรือศึกษาในกลุ่มประชาชนที่มีความสำคัญ เช่น นักเรียนและเยาวชน เป็นต้น

4.2.3 ควรสนับสนุนให้กลุ่มตัวอย่างของประชาชนในภาคส่วนสำคัญที่ระบุในแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ และประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมายของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีระดับความตระหนักสูง เป็นหน่วยงานที่เลี้ยงให้กับหน่วยงานอื่นๆ ในการดำเนินกิจกรรม/โครงการที่เกี่ยวข้องด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

4.2.4 ทางโครงการฯ ได้เริ่มเสริมศักยภาพการใช้งานระบบประมวลผลฯ ให้แก่ภาคส่วนต่างๆ และนำไปขยายผลแล้วบางส่วน ทั้งนี้ ควรมีการนำไปใช้ประโยชน์เพิ่มเติมในภาพกว้างเพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินความตระหนักของประชาชนในระดับพื้นที่ และยังเป็นข้อมูลทางวิชาการสำหรับสนับสนุนการดำเนินงานหรือประกอบการกำหนดแนวทางการดำเนินงานตามมาตรา 6 ประเด็นการสร้างจิตสำนึกด้านการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับประเทศ ระดับกระทรวง ระดับภูมิภาค และระดับท้องถิ่น

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณประชาชนในพื้นที่กลุ่มเป้าหมาย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค สถาบันการศึกษา ภาคเอกชน และภาคประชาชนที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลที่ปรึกษาโครงการจากมหาวิทยาลัยต่างๆ นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณะผู้บริหารกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนในระดับนโยบายตลอดมา ทางคณะผู้วิจัย คาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็ประโยชน์ให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อนำไปประเมินระดับความตระหนักของประชาชนกลุ่มต่างๆ และเป็นเครื่องมืออย่างง่ายที่เหมาะสมของประเทศไทย



เอกสารอ้างอิง

1. Lee TM, Markowitz EM, Howe PD, Ko C-Y, Leiserowitz AA. Predictors of public climate change awareness and risk perception around the world. *Nat Clim Chang* 2015;5:1014-20.
2. Capstick S, Whitmarsh L, Poortinga W, Pidgeon N, Upham P. International trends in public perceptions of climate change over the past quarter century. *Wiley Interdiscip Rev Clim Change* 2015;6:35-61.
3. Rahman SMA, Tasmin S, Uddin MK, Islam MT, Sujaudin M. Climate change awareness among the high school students: Case study from a climate vulnerable country. *Int J Built Environ Sustain* 2014;1:18-26.
4. Mei NS, Wai CW, Ahamad R. Environmental awareness and behavior index for Malaysia. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2016;222:668-75.
5. Kumar V, Jat HS, Sharma PC, Singh B, Gathala MK, Malik RK, et al. Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental footprint of production. Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India. *Agrc Ecosyst Environ* 2018;252:132-47.
6. Ningrum IH, Irianto H, Riptanti EW. Analysis of soybean production and import trends and its import factors in Indonesia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2018;142:012059.
7. Yilmaz ZA., Yang W, Zhang, H, Lin J. Cross-Domain Modeling of Sentence-Level Evidence for Document Retrieval [Internet]. Hong Kong, China: Association for Computational Linguistics; 2019 [cited 2019 Jun 12] Available from: <https://aclanthology.org/D19 - 1352.pdf>
8. อัศมน ลิ้มสกุล. มาตรา 6 ของกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ = Article 6 of the United Nations Framework Convention on Climate Change. *ว. Green Research* 2560;14(37):1-10.
9. Streiner DL, Norman GR. *Health Measurement Scales: A practical guide to their development and use*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 1995.
10. Cronbach LJ. *Essentials of Psychological Test*. 5th ed. New York: Harper Collins; 1990.
11. United nations development programme (UNDP). *Human Development Report 2004* [Internet]. [cited 2020 Aug 15]. Available from: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2004>.
12. Sullivan PO. Diagnosis and classification of chronic low back pain disorders: maladaptive movement and motor control impairments as underlying mechanism. *Manual Ther* 2005;10:242-55.
13. แสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล, อัศมน ลิ้มสกุล. โครงการ “การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย: การวิเคราะห์ความเสี่ยงและความล่อแหลมของพื้นที่วิกฤติ” ระยะที่ 2. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556 [เข้าถึงเมื่อ 2 กรกฎาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.researchgate.net/publication/327987697.pdf>
14. Abuelgasim A, Daiban S. Levels of Climate Change Awareness in the United Arab Emirates. *Horizons in Humanities and Social Sciences: An International Refereed Journal* 2017;2(2):42-53. [cited 2019 May 5] Available from: https://www.researchgate.net/publication/317566042_Levels_of_Climate_Change_Awareness_in_the_United_Arab_Emirates
15. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน. คู่มือการประเมินเมืองสิ่งแวดล้อมยั่งยืน. กรุงเทพฯ: จันวาณิชซีเคียวริตี้พรีนติ้ง จำกัด; 2563.

การประเมินความใช้ได้ของแบบจำลอง WRF-Chem สำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Evaluation of WRF-Chem Modeling for the upper part of Northern Thailand

ศิริพงศ์ สุขทวี* อุดลย์เดช ปัดภัย สุธีระ บุญญาพิทักษ์ รุ่งระวี คงสงค์ นิรัน เปี่ยมโย รัชตวรรณ เกตุวัง

Sirapong Sooktawee*, Aduldech Patpai, Suteera Boonyapitak, Rungrawee Kongsong,

Nirun Piemyai, Ratchatawan Ketwang

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: sooktawee@gmail.com*

บทคัดย่อ

พื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยได้ประสบกับปัญหาหมอกควันมาเป็นระยะเวลาเกือบทศวรรษ ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย บ่อยครั้งปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นของ PM10 นี้ เกี่ยวข้องกับปัจจัยแหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น การเผาในที่โล่ง และการแพร่กระจายในชั้นบรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งอาจสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดทั้งในพื้นที่ทั้งภายในและภายนอกภาคเหนือตอนบน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) model coupled with Chemistry (WRF-Chem) ทำการจำลองระดับความเข้มข้น PM10 ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหมอกควัน เพื่อประเมินความใช้ได้ของแบบจำลองโดยพิจารณาประสิทธิภาพการจำลองค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน (เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง แม่ฮ่องสอน น่าน ลำพูน แพร่ และพะเยา) พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจากทุกสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าเท่ากับ $112.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าที่ได้จากแบบจำลอง WRF-Chem เฉลี่ยตามพิกัดของทุกสถานีตรวจวัดมีค่าเท่ากับ $82.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยมีค่า Bias หรือค่าความโน้มเอียง $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือประมาณ 26% ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีแนวโน้มจำลองได้ค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดและมีค่าทางสถิติมีค่าสัมบูรณ์ของ Fractional Bias (|FB|) = 0.3 ค่า Normalized Mean Square Error (NMSE) = 0.46 และ Factor of Two (FAC2) = 0.523 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลที่ได้นี้สามารถนำการกำหนดค่าตัวเลือกทางฟิสิกส์และเคมีพิจารณาไปใช้ในแบบจำลอง WRF-Chem สำหรับประเทศไทยได้ต่อไป

คำสำคัญ : PM10 ภาคเหนือ หมอกควัน

Abstract

The upper northern part of Thailand has been facing haze for a decade. The concentrations of particulate matter less than 10 micron (PM10) exceed the national ambient air quality standards for Thailand, which was related to PM10 emission sources from open burning and atmospheric processes such as wind circulation and diffusion. The emissions include both internal sources and external sources surrounding the upper Northern Thailand. This study utilized the Weather Research and Forecasting (WRF) model coupled with Chemistry (WRF-Chem) to simulate PM10 concentrations during the haze period on March 2016. The model performance evaluation for PM10 simulation was performed by using 24-hour average concentration data which was done



by comparing the model data and the air quality data obtained from the Pollution Control Department and the Environmental Research and Training Center which included 8 provinces from the upper northern part of Thailand. Results showed that the mean value obtained from all air quality monitoring stations was $112.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the mean value of the model data was $82.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Its bias value was $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ or about 26%, which showed that the model tend to give under-prediction value. The statistical indices were Fractional Bias (|FB|) = 0.3, Normalized Mean Square Error (NMSE) = 0.46, and Factor of Two (FAC2) = 0.523, which were within the acceptable values. The physical configurations and chemical schemes obtained from this study can be considered when using WRF-Chem model for further studies in Thailand.

Keywords : PM10, Northern Part of Thailand, Haze

1. บทนำ

ปัญหาหมอกควันกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาสำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้สืบเนื่องมาจากหมอกควันนี้เป็นมลพิษที่สามารถเคลื่อนย้ายข้ามพรมแดนได้¹ ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีปัญหาหมอกควัน ความรุนแรงของปัญหา เชื้อมโยงและบ่งชี้ไปถึงการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปมาเป็นระยะเวลาหลายปีติดต่อกัน และมีค่าความเข้มข้น PM10 สูงในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนเมษายนของทุกปี² โดยมีสาเหตุมาจากการเผาในที่โล่งที่เป็นการเผาเศษวัชพืช วัสดุ เพื่อเตรียมปรับปรุงพื้นที่สำหรับการเกษตร และยังมีไฟฟ้าที่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีปริมาณฝุ่นเพิ่มขึ้น การเผาต่างๆ เหล่านี้ เป็นปัจจัยทางแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อปัญหาหมอกควัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝุ่นจะกระจายตัวได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา หากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาไม่เหมาะสมก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองและมลพิษทางอากาศสะสมอยู่ในพื้นที่ กล่าวคือสภาวะอากาศที่แห้งและเสถียรทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยวและการบริการ การจราจรทั้งทางบกและทางอากาศ สุขภาพของประชาชนในพื้นที่โดยตรง³⁻⁶

ประโยชน์จากแบบจำลองสำหรับการจัดการและแก้ปัญหาหมอกควันนั้น กรมควบคุมมลพิษได้ใช้ระบบพยากรณ์เพื่อการเตือนภัยมลภาวะหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ประมาณ 25 ตารางกิโลเมตร⁷ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง 2554 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังนี้ 1) แบบจำลอง 5th-generation Mesoscale Model (MM5) พัฒนาโดย Pennsylvania State University กับ National Center of Atmospheric Research (NCAR) ประเทศสหรัฐอเมริกาในการจำลองระบบหมุนเวียนของบรรยากาศ 2) ปริมาณการปลดปล่อยของฝุ่นแขวนลอย ได้ใช้ข้อมูล MODIS active fire จาก Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ประเทศสหรัฐอเมริกาในการประมาณค่าการปลดปล่อย และ 3) การจำลองการกระจายตัวฝุ่นแขวนลอย ใช้แบบจำลอง Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) ของ Air Resources Laboratory (ARL), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง MM5 ได้หยุดการพัฒนาและไม่มี การสนับสนุนใดๆ โดยในปัจจุบันแบบจำลอง Weather Research and Forecasting Model (WRF) ได้มาแทนที่แบบจำลอง MM5 และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น ในต่างประเทศได้มีการนำแบบจำลอง WRF มาใช้ควบคู่กับแบบจำลองมลพิษทางอากาศ Community Multiscale Air Quality (CMAQ) เพื่อทำนายคุณภาพ

อากาศล่วงหน้า โดยเป็นระบบการทำนาย PM10 และคุณภาพอากาศอื่นๆ ที่ความละเอียด 3 ตารางกิโลเมตร และมีการศึกษาพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกรุงโซล พบว่ามีความสามารถที่จะคาดการณ์การเกิดเหตุการณ์หรือ peak ของ PM10 ได้⁸ นอกจากนี้ในปัจจุบันแบบจำลอง WRF ได้ถูกพัฒนาให้เป็น coupling model กับแบบจำลองทางเคมีบรรยากาศ เป็น WRF-Chem ซึ่งสามารถทำการจำลองการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศได้เช่นเดียวกัน แบบจำลอง WRF-Chem จึงเป็นหนึ่งในแบบจำลองที่มีลักษณะสภาพอากาศและเคมีในบรรยากาศที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศสำหรับการจำลองมลพิษทางอากาศในปัจจุบัน

ดังนั้น การศึกษานี้จึงทำการประเมินการใช้งานแบบจำลอง WRF-Chem สำหรับการคาดการณ์และทำนายคุณภาพอากาศ (ปริมาณของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน) ล่วงหน้า ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 12 ตารางกิโลเมตร และใช้ค่าอัตราการระบายนมลพิษที่เผยแพร่สำหรับการใช้งานแบบจำลอง ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำหรับการใช้แบบจำลอง WRF-Chem จัดการปัญหาด้านหมอกควันสำหรับภาคเหนือของประเทศไทย บนพื้นฐานองค์ความรู้และข้อมูล ณ ปัจจุบัน

2. วิธีการวิจัย

การจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-Chem มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง WRF ซึ่งก่อนที่จะทำการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-Chem นั้น จะต้องเตรียมขอบเขตพื้นที่การจำลอง (Domain) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลอง WRF ในลำดับแรกก่อน หลังจากนั้นจึงเป็นการนำข้อมูลการระบายนมลพิษและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง WRF มานำเข้าแบบจำลอง WRF-Chem ต่อไป

2.1 ข้อมูลภูมิประเทศและอุตุนิยมวิทยา

สำหรับข้อมูลเริ่มต้นที่จำเป็นต้องใช้ในการนำเข้าแบบจำลอง WRF ลำดับแรกคือข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ต่างๆ เช่น ความสูงของภูมิประเทศ (Terrain Height) ลักษณะการใช้ที่ดิน (Landuse) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้จัดเตรียมมาพร้อมกับแบบจำลอง WRF ตัวอย่างเช่น ข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดิน (Landuse) ที่มาพร้อมกับแบบจำลองได้ใช้ข้อมูลจาก USGS และ MODIS⁹ ถัดมาเป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้สำหรับกำหนดสภาวะเบื้องต้น (Initial Condition) สำหรับการจำลองในสภาวะจริงที่จะต้องทำการประมวลผลก่อนผ่านทางแพ็คเกจที่เรียกว่า WRF Preprocessing System และผลลัพธ์ที่ได้จะใช้สำหรับการคำนวณในแบบจำลอง WRF ต่อไป โดยข้อมูลนำเข้านี้ได้ใช้ชุดข้อมูล Reanalysis Data ของ NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis data¹⁰ และ Real-Time Global Sea Surface Temperature (RTG-SST) Analysis¹¹

โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของชุดข้อมูล Reanalysis Data ของ NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis data สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/> ข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวระนาบ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ แบ่งเป็น 26 ชั้นในแนวตั้งจากระดับความกดอากาศ 1000 millibars ถึง¹⁰ millibars และมีตัวแปรประกอบด้วย Air Temperature, Cloud Liquid Water/Ice, Convection, Evaporation, Geopotential Height, Humidity, Hydrostatic Pressure, Ice Extent, Land Use/Land Cover Classification, Planetary Boundary Layer Height, Potential Temperature, Sea Level Pressure, Sea Surface Temperature, Skin Temperature, Snow Water Equivalent, Soil Moisture/Water Content, Soil Temperature, Surface Pressure, Surface Winds, Terrain Elevation, Total Precipitable Water, Tropopause, Tropospheric Ozone, Upper Air Temperature, Upper Level Winds, Vertical Wind Velocity/Speed, และ Vorticity¹⁰ และสำหรับชุดข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของ Real-Time Global Sea Surface Temperature (RTG-SST) Analysis มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวระนาบ $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ¹¹



2.2 ข้อมูลการระบายมลพิษ

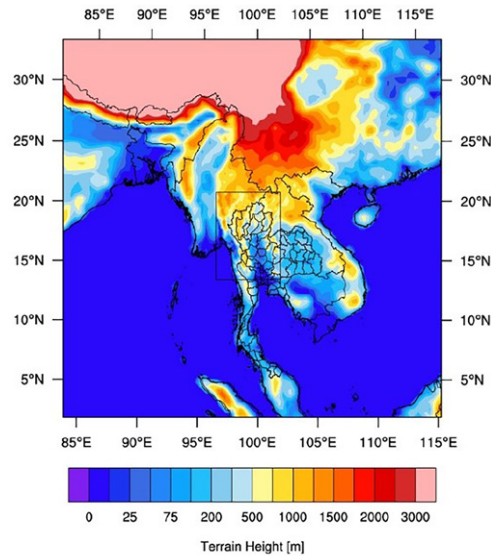
สำหรับข้อมูลการระบายฝุ่นและมลพิษจากการเผาไหม้ การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลจาก The Fire Inventory from NCAR (FINN) และสามารถดาวน์โหลดข้อมูลการระบายฝุ่นและมลพิษได้ที่ <http://bai.acom.ucar.edu/Data/fire/> และ <https://www.acom.ucar.edu/acresp/dc3/finn-data.shtml> ชุดข้อมูลนี้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้การคำนวณตามการศึกษาของ Wiedinmyer, C¹² ที่ใช้ข้อมูลการตรวจวัดของดาวเทียมในการตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้และการปกคลุมของที่ดิน ปัจจัยการปล่อยมลพิษ และปริมาณเชื้อเพลิงที่ประมาณการ มาคำนวณเพื่อให้ประมาณอัตราการระบายของฝุ่นและมลพิษที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ที่มีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานด้านการจำลองการเคลื่อนย้ายของมลพิษ (ในทางเคมี) ระดับภูมิภาคและระดับโลก

ข้อมูลการระบายมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ใช้ชุดข้อมูล EDGAR-HTAP version 2¹³ มีความละเอียด 0.1° x 0.1° ซึ่งประกอบด้วยอัตราการระบายของก๊าซ CH₄, CO, SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃, PM₁₀, PM_{2.5}, BC และ OC ชุดข้อมูลนี้ได้สร้างจากข้อมูลการปล่อยมลพิษที่ได้มีการรายงานในระดับประเทศ รวมทั้งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในระดับภูมิภาค และเสริมด้วยข้อมูลจาก EDGARv4.3, US-EPA, MICS-Asia, EMEP/TNO, REAS โดยแบ่งเป็นภาคส่วนต่างๆ htap_1_air สำหรับการระบายมลพิษจากภาคการขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศและในประเทศ htap_2_shipping สำหรับการระบายมลพิษจากภาคการขนส่งทางเรือ htap_3_energy สำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า htap_4_industry สำหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิต การทำเหมืองแร่ โลหะ ซีเมนต์ เคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมที่ใช้ตัวทำละลาย htap_5_transport สำหรับภาคการขนส่งภาคพื้นดิน (รวมทั้งถนน รถไฟ ระบบท่อ การจราจรทางน้ำในประเทศ) htap_6_residential สำหรับภาคที่อยู่อาศัยและการบำบัดของเสีย และ htap_8_agriculture สำหรับภาคการเกษตร

2.3 พื้นที่ศึกษาและรายละเอียดการจำลอง WRF-Chem

ในการศึกษานี้ช่วงเวลาสำหรับการจำลองได้เลือกช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 เนื่องจากข้อมูลในอดีตชี้ให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมของทุกปี² สำหรับขอบเขตพื้นที่การจำลอง (Domain) ได้ออกแบบการจำลองเป็นแบบการจำลองย่อยส่วนโดยมี Domain ทั้งหมดจำนวน 2 Domains ซึ่งพื้นที่การจำลองแรก (Domain1) มีตารางพื้นที่ (Grid Cell) ขนาด 36 x 36 ตารางกิโลเมตร อยู่จำนวน 100 x 100 โดยครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย พม่า ลาว และพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อให้ในการจำลองทางอุตุนิยมวิทยาสามารถได้รับอิทธิพลจากสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบ เช่น ระบบการไหลเวียนของลมมรสุม เป็นต้น สำหรับพื้นที่การจำลองที่ 2 (Domain2) มีตารางพื้นที่ (Grid Cell) ขนาด 12 x 12 ตารางกิโลเมตร อยู่จำนวน 52 x 70 ได้ถูกย่อยส่วนจาก Domain1 ให้มีความละเอียดมากขึ้นและมุ่งเน้นให้พื้นที่การจำลองครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

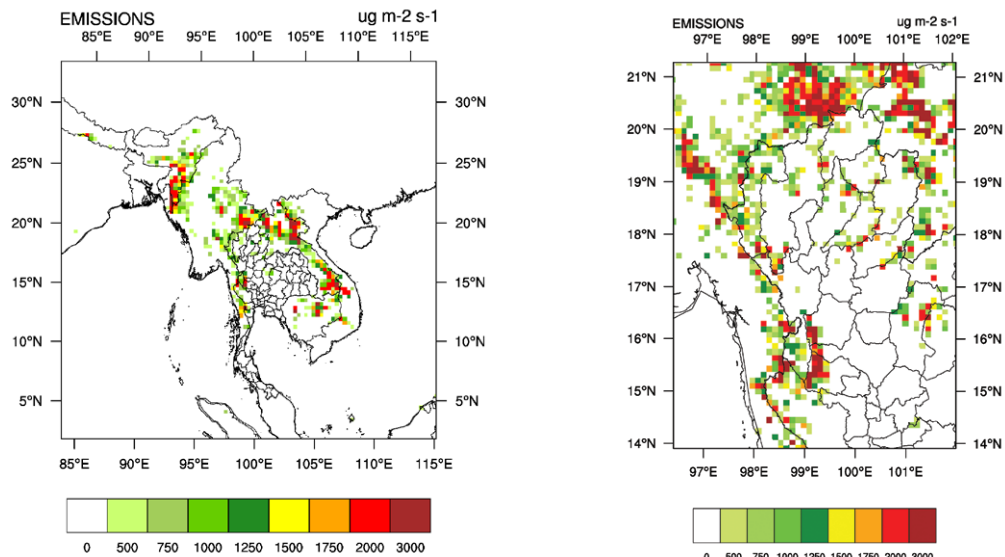
ในส่วนการแบ่งชั้นสำหรับการจำลองในแนวตั้งสำหรับทั้ง 2 Domains นั้น ได้ทำการแบ่งชั้นจากพื้นผิวดินไปจนกระทั่งถึงความสูงของชั้นบรรยากาศที่ระดับความกดอากาศ 5,000 Pa. จำนวน 31 ชั้น โดยมีค่า eta_levels สำหรับใช้ในการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-Chem ดังนี้ 1.000, 0.999, 0.997, 0.995, 0.992, 0.987, 0.980, 0.970, 0.950, 0.910, 0.860, 0.800, 0.750, 0.700, 0.650, 0.600, 0.550, 0.500, 0.450, 0.400, 0.350, 0.300, 0.250, 0.200, 0.150, 0.100, 0.075, 0.050, 0.025, 0.010, 0.000 ในชั้นแรกจะมีความสูงจากระดับผิวพื้นดินประมาณ 4 เมตร ซึ่งมีความสูงอยู่ในระดับใกล้เคียงกับตำแหน่งของท่อชักตัวอย่างอากาศ



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่การจำลองแรก (Domain1) และพื้นที่การจำลองที่ 2 (Domain2) สำหรับแผนที่แสดงระดับความสูงของภูมิประเทศ

3. ผลการวิจัย

ในการจำลองด้วยแบบจำลอง WRF-Chem ด้วยข้อมูลการระบายจากแหล่งกำเนิดภายในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมจากมนุษย์ พืช และจากการเผาในที่โล่ง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทข้างต้น โดยปริมาณการระบายรวมตลอดเดือนมีนาคม 2559 จากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่งโดยใช้ชุดข้อมูลของ FINN แสดงดังรูปที่ 2 สำหรับพื้นที่การจำลอง Domain1 ที่ครอบคลุมประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน และย่อยส่วนสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบน (Domain2) แสดงดังรูปที่ 2 ก และ 2 ข ตามลำดับ

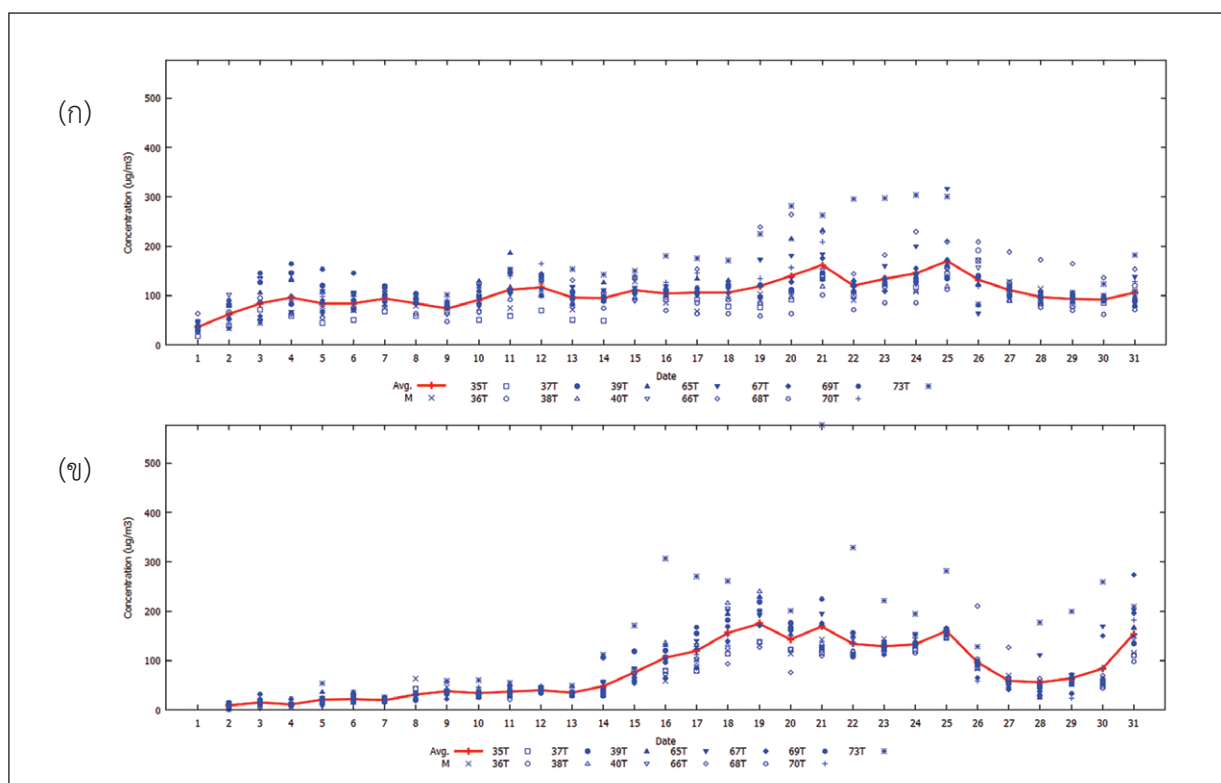


รูปที่ 2 แสดงปริมาณการระบายรวมตลอดเดือนมีนาคม 2559 จากแหล่งกำเนิดการเผาในที่โล่ง โดยใช้ชุดข้อมูลของ FINN สำหรับ (ก) Domain1 และ (ข) Domain2

จากนั้นนำผลค่าความเข้มข้นของ PM10 ที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบด้วย

1. สถานี องค์การบริหารส่วนตำบลสันป่ายาง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่
2. สถานี 35 ศาลากลาง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
3. สถานี 36 โรงเรียนยุพราชฯ จังหวัดเชียงใหม่
4. สถานี 37 สำนักงานอุตุนิยมวิทยา จังหวัดลำปาง
5. สถานี 38 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านสบป่าด อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
6. สถานี 39 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าสี่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
7. สถานี 40 สำนักงานการประปาแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
8. สถานี 65 สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย
9. สถานี 66 สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดแม่ฮ่องสอน
10. สถานี 67 สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน จังหวัดน่าน
11. สถานี 68 สนามกีฬาองค์การบริหารส่วนจังหวัดลำพูน จังหวัดลำพูน
12. สถานี 69 สำนักงานอุตุนิยมวิทยา จังหวัดแพร่
13. สถานี 70 อุทยานการเรียนรู้ภู่ว่านพะเยา จังหวัดพะเยา
14. สถานี 73 สำนักงานสาธารณสุข อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้น PM10 เฉลี่ยรวมทุกสถานี จากการตรวจวัดมีความเข้มข้น PM10 เริ่มสูงขึ้นในช่วงวันที่ 19 - 26 มีนาคม พ.ศ. 2559 ในขณะที่ผลจากแบบจำลอง มีความเข้มข้น PM10 เริ่มสูงขึ้นในช่วงวันที่ 15 - 26 มีนาคม พ.ศ. 2559 โดยความแตกต่างของช่วงความเข้มข้น PM10 มากกว่าช่วงก่อนหน้าสูงกว่าการตรวจวัดที่มีระดับความแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งบ่งชี้ว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง ในช่วงที่มีความเข้มข้นไม่สูงก่อนหน้าวันที่ 15 มีนาคม นั้น แบบจำลองจะให้ค่าการจำลองที่ต่ำกว่าการตรวจวัด อาจเป็นผลเนื่องมาจากค่าความเข้มข้นแบ็กกราวด์หรือแหล่งกำเนิดโดยทั่วไปที่ไม่ใช่การเผาในที่โล่งมีความไม่สมบูรณ์เพียงพอ หรือมาจากค่าการระบายนพิษที่นำเข้าแบบจำลองน้อยกว่าความเป็นจริง



รูปที่ 3 แสดงค่าความเข้มข้น PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ที่ได้จาก (ก) การตรวจวัด และ (ข) แบบจำลอง WRF-Chem โดยเส้นสีแดงคือค่าเฉลี่ย

และเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติต่างๆ ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัด แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าในภาพรวมค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจากทุกสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีค่าเท่ากับ 112.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าที่ได้จากแบบจำลอง WRF-Chem ในทุกสถานีตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 82.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยมีค่า Bias หรือค่าความโน้มเอียง -30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือประมาณ 26% ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีแนวโน้มจำลองได้ค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด -30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือประมาณ 26% โดยเฉลี่ย และหากนำเกณฑ์การยอมรับแบบจำลองที่แนะนำโดย¹⁴ ที่ระบุไว้ว่าค่าดัชนีทางสถิติ |FB| ไม่เกิน 0.3 ค่า NMSE ไม่เกิน 1.5 และค่า FAC2 อยู่ในช่วง 0.5-2.0 นั้น กล่าวได้ว่าแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากผลการคำนวณพบว่าในภาพรวมการศึกษาค้างนี้มีค่า |FB| = 0.3 ค่า NMSE = 0.46 และค่า FAC2=0.523 ซึ่งในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 1 แสดงค่าสถิติต่างๆ ได้จากการคำนวณระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัด สำหรับการจำลองในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

Station	MEAN (Obs)	MEAN (Model)	BIAS	NMSE	CORR	FAC2	FB	1 st HIGH	RMSE	MAE	MNE	NGE	n
ทุกสถานี	112.17	82.17	30.00	0.46	0.533	0.733	0.30	577.0	65.42	54.8	-0.29	0.52	415
M	99.58	74.68	24.90	0.29	0.539	0.750	0.28	156.7	46.79	41.85	-0.27	0.45	28
35	82.83	63.50	19.33	0.23	0.728	0.767	0.26	146.1	34.83	29.75	-0.28	0.41	29
36	109.13	65.52	43.62	0.49	0.423	0.600	0.49	146.1	58.94	50.37	-0.41	0.48	30
37	111.90	81.81	30.09	0.50	0.077	0.731	0.31	218.1	67.81	57.43	-0.26	0.52	30
38	101.07	80.94	20.12	0.58	0.000	0.801	0.22	240.4	69.17	60.50	-0.19	0.61	29
39	122.13	80.26	41.87	0.52	0.342	0.657	0.41	230.1	71.38	61.82	-0.34	0.53	30
40	111.53	79.45	32.08	0.56	0.054	0.712	0.33	225.0	70.48	59.90	-0.27	0.54	30
65	115.10	89.87	25.23	0.33	0.646	0.781	0.24	201.8	58.51	49.87	-0.27	0.50	30
66	141.69	71.45	70.24	0.63	0.768	0.504	0.65	209.8	79.77	70.29	-0.55	0.55	29
67	105.03	80.64	24.39	0.42	0.633	0.768	0.26	272.9	59.98	50.27	-0.29	0.53	30
68	78.00	65.57	12.43	0.42	0.219	0.841	0.17	147.0	46.17	41.70	-0.14	0.56	30
69	120.13	83.81	36.32	0.61	0.040	0.698	0.35	224.8	78.46	69.01	-0.28	0.59	30
70	119.40	78.75	40.65	0.41	0.658	0.660	0.41	221.9	61.87	54.56	-0.39	0.50	30
73	151.63	152.56	-0.93	0.34	0.719	1.006	-0.01	577.0	89.15	69.53	-0.09	0.53	30

สรุปผล

ในการศึกษานี้เป็นการประเมินการใช้แบบจำลองด้านอุตุนิยมวิทยาและคุณภาพอากาศ WRF-Chem สำหรับปัญหาหมอกควันในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยที่มีปัญหาหมอกควัน โดยเลือกช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ทำการจำลองระดับความเข้มข้นของ PM10 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลหลัก ดังนี้ ข้อมูลการเผาในที่โล่งจากชุดข้อมูล The Fire INventory from NCAR (FINN) ข้อมูลการระบายมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ใช้ชุดข้อมูล EDGAR-HTAP version2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก ชุดข้อมูล Reanalysis Data ของ NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis data และข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากชุดข้อมูล Real-Time Global Sea Surface Temperature (RTG-SST) Analysis

ผลการจำลองที่ได้ตลอดช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ได้นำมาคำนวณเป็นค่าความเข้มข้น PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เพื่อให้สอดคล้องกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย โดยให้มีช่วงเวลาที่ตรงกันกับข้อมูลการตรวจจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในภาคเหนือตอนบนของกรมควบคุมมลพิษและทำการตรวจวัดเพิ่มเติม ณ องค์การบริหารส่วนตำบลสันป่ายาง จังหวัดเชียงใหม่ ผลจากการเปรียบเทียบที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากการจำลองมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด (Under Prediction) โดยมีค่า Bias หรือค่าความโน้มเอียง $-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ หรือประมาณ 26% และมีค่าทดสอบทางสถิติ $|\text{FB}| = 0.3$ ค่า $\text{NMSE} = 0.46$ และค่า $\text{FAC2} = 0.523$ หากนำเกณฑ์การยอมรับแบบจำลองที่แนะนำโดย¹⁴ ที่ระบุไว้ว่าค่าดัชนีทางสถิติ $|\text{FB}|$ ไม่เกิน 0.3 ค่า NMSE ไม่เกิน 1.5 และค่า FAC2 อยู่ในช่วง 0.5 - 2.0 นั้น กล่าวได้ว่าผลการจำลองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการจำลอง PM10 ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และหากต้องการพัฒนาให้การจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้น ประเทศไทยควรมีฐานข้อมูลอัตราการระบายมลพิษจากกิจกรรมต่างๆ ที่เป็นปัจจุบันและอยู่ในรูปแบบสำหรับใช้งานกับแบบจำลอง

ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากแบบจำลอง WRF-Chem นั้นเป็นแบบจำลองทางฟิสิกส์และเคมีในบรรยากาศแบบสามมิติที่มีรายละเอียดซับซ้อนส่งผลให้ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีศักยภาพสูงและใช้เวลาในการจำลองนานกว่าแบบจำลองคุณภาพอากาศโดยทั่วไป นอกจากนี้ข้อมูลการระบายมลพิษทางอากาศหรือการระบาย PM10 จากแหล่งกำเนิดของประเทศไทยมีข้อมูลไม่เพียงพอ ไม่เป็นปัจจุบัน และถูกจัดเก็บไม่เหมาะสมกับการใช้งานด้านแบบจำลองคุณภาพอากาศ ซึ่งจะส่งผลให้การจำลองที่ได้มีค่าความแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงมากขึ้น

4. วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

4.1 วิจารณ์

ผลค่าความเข้มข้น PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem ที่ได้ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด (Under Prediction) ประมาณ 26% ซึ่งเป็นการจำลองระยะสั้นและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดค่าตัวเลือกทางฟิสิกส์และเคมีที่ได้จากการทบทวนเอกสารการศึกษาที่มีการใช้งานแบบจำลอง WRF ในการจำลองสภาพอากาศของประเทศไทย และการกำหนดค่าตัวเลือกทางฟิสิกส์และเคมีในการศึกษานี้หน่วยงานและนักวิจัยที่มีการใช้งานแบบจำลอง WRF-Chem สามารถพิจารณานำไปใช้ในการปรับปรุงกำหนดค่าตัวเลือกของแบบจำลอง WRF-Chem สำหรับประเทศไทยได้ต่อไป อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแบบจำลองในการพยากรณ์ล่วงหน้าให้มีประสิทธิภาพและลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษจากการเผาชีวมวลเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้การจำลองมลพิษอากาศในบรรยากาศด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศมีความคลาดเคลื่อนสูง โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยมีตัวแปรที่ใช้ประมาณการปล่อย PM10 มีค่าไม่เหมาะสมครอบคลุมกับชนิด พื้นที่ที่มีความหลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอีกด้วย เช่น การประมาณการปล่อย PM10 ที่เกิดจากการเผาในที่โล่งสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมอาจมีปริมาณ PM10 ที่เกิดจาก

การเผาในพื้นที่ปลูกพืชแตกต่างกันก็อาจส่งผลให้มีปริมาณ PM10 เกิดขึ้นไม่เท่ากัน หรือหากเป็นพืชชนิดเดียวกันแต่ปริมาณชีวมวลในพื้นที่ไม่เท่ากันก็ส่งผลให้ PM10 ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน รวมถึงระยะเวลาที่มีการลุกไหม้ที่ส่งผลให้เกิด PM10 สู่บรรยากาศในแต่ละพื้นที่ก็อาจมีช่วงระยะเวลายาวนานไม่เท่ากัน จากสาเหตุนี้ข้อมูลบัญชีการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวล จึงส่งผลทำให้การจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

4.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลการระบายมลพิษ เช่น PM10 และ PM2.5 ที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง WRF-Chem เป็นส่วนสำคัญยิ่งที่จะทำให้การจำลองให้ผลใกล้เคียงความเป็นจริงมากน้อยเพียงใด สำหรับประเทศไทยนั้นควรพัฒนาข้อมูลการระบายมลพิษทางอากาศจากทุกแหล่งกำเนิดครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศและให้เป็นปัจจุบัน นอกจากนี้หากจะใช้แบบจำลองในการพยากรณ์ล่วงหน้าควรมีการศึกษาจัดทำพยากรณ์ข้อมูลการระบายมลพิษจากการเผาในที่โล่งซึ่งสามารถที่จะได้มาจากการพยากรณ์พื้นที่การเผาล่วงหน้า จะส่งผลให้การใช้แบบจำลองในการพยากรณ์มลพิษล่วงหน้ามีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดลองพยากรณ์ครั้งนี้ใช้อัตราการระบายมลพิษจากฐานข้อมูลเผยแพร่ในระดับ Global Scale จึงควรที่จะดำเนินการพัฒนาฐานข้อมูลการระบายมลพิษของประเทศไทยให้เป็นปัจจุบันต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ลุล่วงด้วยดีนั้นเนื่องมาจากการสนับสนุนของหน่วยงานต้นสังกัด ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยได้ลุล่วง และขอขอบพระคุณ องค์การบริหารส่วนตำบลสันป่าแยง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับติดตั้งรถตรวจวัดคุณภาพอากาศ รวมถึงการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ และ The National Center for Atmospheric Research (NCAR), The National Centers for Environmental Prediction (NCEP), The Joint Research Centre of European Commission สำหรับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล อุตุนิยมหาวิทยาลัยการระบายมลพิษจากการเผาในที่โล่ง และการระบายมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์แบบตารางพื้นที่ รวมถึง The Atmospheric Chemistry Observations and Modeling Lab (ACOM) of NCAR สำหรับ WRF-Chem processor tools และผู้พัฒนาแบบจำลอง WRF-Chem ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. Litta H. Case Study One: Transboundary Haze Pollution In:Regimes in Southeast Asia: An Analysis of Environmental Cooperation. Fachbücher: Springer Fachmedien; 2012. p. 89-138.
2. Sooktawee S, Humphries U, Patpai A, Kongsong R, Boonyapitak S, Piemyai N. Visualization and Interpretation of PM10 Monitoring Data Related to Causes of Haze Episodes in Northern Thailand. Applied Environmental Research 2015;37(2):33-48.
3. Chantara S, Sillapapiromsuk S, Wiriya W. Atmospheric pollutants in Chiang Mai (Thailand) over a five-year period (2005-2009), their possible sources and relation to air mass movement. Atmos Environ 2012;60:88-98.
4. Kim Oanh NT, Leelasakultum K. Analysis of meteorology and emission in haze episode prevalence over mountain-bounded region for early warning. Sci Total Environ 2011; 409(11):2261-71.



5. Tiypairat Y, Sajor E. State simplification, heterogeneous causes of vegetation fires and implications on local haze management: case study in Thailand. *Environ Dev Sustain* 2012;14(6):1047-64.
6. Wiriya W, Prapamontol T, Chantara S. PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai (Thailand): Seasonal variations, source identification, health risk assessment and their relationship to air-mass movement. *Atmos Res* 2013;124:109-22.
7. เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์. การพัฒนาระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อใช้ในการพยากรณ์เตือนภัยมลภาวะหมอกควันสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และการประยุกต์ใช้ในฤดูไฟป่าหน้าแล้ง. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ; 2552.
8. Koo, Y-S, Kim S-T, Cho J-S, Jang Y-K. Performance evaluation of the updated air quality forecasting system for Seoul predicting PM10. *Atmos Environ* 2012;58:56-69.
9. National Center for Atmospheric Research. User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 3.7, Mesoscale and Microscale Meteorology Laboratory. Boulder: National Center for Atmospheric Research; 2016.
10. National Centers for Environmental Prediction. N. W. S., NOAA, U. S. Department of Commerce, 2000: NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. [Internet]. 2000 [cited 2016 Mar 3]. Available from: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>
11. Thiébaux J, Rogers E, Wang W, Katz B. A New High-Resolution Blended Real-Time Global Sea Surface Temperature Analysis. *B Am Meteorol Soc* 2003;84(5):645-56.
12. Wiedinmyer C, Akagi SK, Yokelson RJ, Emmons LK, Al-Saadi JA, Orlando JJ, et al. The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning. *Geosci Model Dev* 2011;4(3):625-41.
13. Janssens-Maenhout G, Crippa M, Guizzardi D, Dentener F, Muntean M, Pouliot G, et al. HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution. *Atmos Chem Phys* 2015;15(19):11411-32.
14. Chang JC, Hanna SR. Air quality model performance evaluation. *Meteorol Atmos ;Phys* 2004;87(1):167-96.

ระบบภาพถ่ายดัชนีภัยแล้งในอนาคตอันเนื่องมาจากสถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก Visualizing system of projected drought caused by representative concentration pathways

ศิริพงษ์ สุขทวี* อุดลย์เดช ปัตภัย นิรัน เปี่ยมโย รัชตวรรณ เกตุวัง

Sirapong Sooktawee*, Aduldech Patpai, Nirun Piemyai, Ratchatawan Ketwang

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: sooktawee@gmail.com*

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกส่งผลให้เกิดสภาวะน้ำมากและภัยแล้งเปลี่ยนแปลงไป และ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ได้มีการจำลองปริมาณฝนและพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เปลี่ยนไปอันเนื่องมาจากสถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก (Representative Concentration Pathways: RCPs) ต่างๆ ระหว่างช่วงปี ค.ศ. 1974 - 2100 การจำลองนี้อยู่ภายใต้โครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) และผลลัพธ์ของปริมาณฝนที่ครอบคลุมบริเวณประเทศไทย จากการฉายภาพนี้ได้ถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีภัยแล้ง Standardized Precipitation Index (SPI) ที่ความละเอียด 10 x 10 กิโลเมตร และจัดทำเป็นระบบแสดงแผนที่ภาพถ่ายดัชนีภัยแล้ง SPI รายเดือน ที่สามารถเป็นข้อมูลนำไปประกอบการพิจารณาพร้อมกับข้อมูลอื่นๆ เช่น การเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา เพื่อตัดสินใจวางแผนบริหารจัดการผลกระทบจากภัยแล้งในอนาคต

คำสำคัญ : ภัยแล้ง ดัชนีภัยแล้ง ประเทศไทย

Abstract

Climate change as a result of increased greenhouse gases had resulted in significant precipitation changes and drought conditions. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) conducted a simulation on rainfall and other parameters under various conditions related to cause climate change (RCPs) between 1974-2100. This simulation was taken under the CMIP5 project. From the results of the projection, the results of rainfall over Thailand were used to calculate the standardized precipitation index (SPI) within a resolution of 10x10 km. which was used as monthly projected drought maps. The results will provide information in conjunction with other data such as the occurrence of El Niño and La Niña to enable decision-makers data to manage the effects of drought in the future.

Keywords : Drought, Standardized Precipitation Index, Thailand

1. บทนำ

ภัยแล้ง เป็นปรากฏการณ์ในด้านอุทก - อุตุนิยมวิทยา (Hydro-meteorology) ที่แสดงถึงสภาวะที่ปริมาณน้ำไม่เพียงพอ และเป็นสภาวะที่ซับซ้อนเกิดขึ้นซ้ำๆ มีสาเหตุจากความแปรปรวนตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงด้านวัฏจักรของน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นและสะสมของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศหลังจากยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม เป็นปัจจัยเสริมที่ส่งผลให้ภัยแล้งมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในแง่ความถี่ของการเกิดและความรุนแรง¹⁻³ การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความแห้งแล้งเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ของโลกตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1950



ทั้งในด้านของความถี่ของการเกิดและความรุนแรงของความแห้งแล้งที่เพิ่มขึ้นในบริเวณทะเลเมดิเตอร์เรเนียน แอฟริกาตะวันตก ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศออสเตรเลีย¹⁻⁴ สำหรับประเทศไทย จากฐานของข้อมูลสถิติ จากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยพบว่าภัยแล้งมีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อเพิ่มขึ้นในประเทศไทยทั้งในแง่ของพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบ ระยะเวลาการประสบภัย และความเสียหายด้านเศรษฐกิจ⁵ ระยะเวลาของการเกิดและความรุนแรง ของความแห้งแล้ง ถูกคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ของโลกซึ่งรวมถึงภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้ ภายใต้การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก อุณหภูมิโลกและการคายระเหยของน้ำในอนาคต จะทำให้พื้นที่ที่เกิด ความแห้งแล้งซ้ำซากมีความแห้งแล้งที่ยาวนานและรุนแรงเพิ่มมากขึ้น¹⁻⁴

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดเพื่อติดตามและประเมินภัยแล้งภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ได้มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก³ ดัชนีความแห้งแล้งหลายๆ ดัชนี เช่น Palmer Drought Severity Index (PDSI), Standardized Precipitation Index (SPI) และ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ติดตามและประเมินภัยแล้งในพื้นที่ต่างๆ ของโลก^{1-3,6} รวมทั้งการศึกษาดัชนีสำหรับภัยแล้ง ในประเทศไทย⁷⁻⁸ นอกจากนี้ยังมีความก้าวหน้าในการพัฒนาระบบสังเกตการณ์ภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม จากดาวเทียม เพิ่มโอกาสในการติดตามภัยแล้งมีความละเอียดมากขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งส่งผลให้การประเมิน ภัยแล้งมีความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มมากขึ้น ครอบคลุมในพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลตรวจวัดที่ผิวพื้น ตลอดจนเหมาะสมกับ การดำเนินงานตั้งรับและปรับตัวในระดับท้องถิ่น⁹⁻¹² อย่างไรก็ตาม การศึกษาถึงการฉายภาพดัชนีภัยแล้งในอนาคต ที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลักษณะเชิงพื้นที่ - เวลาของภัยแล้งสำหรับประเทศไทยจากอดีตถึงปัจจุบัน และในอนาคตยังมีอยู่น้อย ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจบริหารจัดการ ที่จะช่วยให้ประเทศไทยเตรียมการรับมือภัยแล้งได้ดียิ่งขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษาและข้อมูลสำหรับการคำนวณค่าดัชนีภัยแล้ง

พื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ครอบคลุมประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนทางตะวันออกเฉียงใต้ของทวีประหว่างละติจูด $5^{\circ}37'N - 20^{\circ}27'N$ และลองจิจูด $97^{\circ}22'E - 105^{\circ}37'E$ ครอบคลุม 513, 115 ตารางกิโลเมตร สภาพภูมิอากาศ ของประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งแปรปรวนตามฤดูกาล โดยที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้เริ่มในเดือนพฤษภาคมนำกระแสอากาศชื้นที่อบอุ่นจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่ประเทศไทย ทำให้เกิดฝนตกชุกหนาแน่นทั่วทั้งประเทศ ฝนในช่วงเวลานี้ไม่เพียงแต่เกิดจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่ยังเป็นผล มาจากร่องความกดอากาศต่ำแถบศูนย์สูตร (Intertropical Convergence Zone : ITCZ) และพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งก่อให้เกิดปริมาณน้ำฝนจำนวนมาก กำลังความแรงของมรสุมแตกต่างกันไปบ้าง มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยปกติเริ่มในกลางเดือนพฤษภาคมและสิ้นสุดในกลางเดือนตุลาคม ในขณะที่มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยปกติจะเริ่มในกลางเดือนตุลาคมและสิ้นสุดในกลางเดือนกุมภาพันธ์ ตามสภาพภูมิอากาศและรูปแบบเงื่อนไข ทางอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทยอาจแบ่งออกเป็น 5 ภาค ประกอบด้วย ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตกเฉียงใต้¹³⁻¹⁴

ในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่ได้มาจากการ คาดการณ์โดยแบบจำลองทางสภาพภูมิอากาศในโครงการ CMIP5 และได้ทำการลดขนาดตารางข้อมูล (Grid Cell) ให้มีความละเอียดสูงขึ้นอยู่กับที่ 0.1 องศา (ประมาณ 10 กิโลเมตร) โดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ซึ่งการลดขนาดความละเอียด (Down scale) ของข้อมูลให้มีความเหมาะสมกับประเทศไทยนั้นได้ใช้ข้อมูล ปริมาณน้ำฝนที่สังเกตได้ของสถานีมาตรวัดปริมาณน้ำฝน 102 สถานีเก็บรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา และอุณหภูมิรายวันจาก <http://pcmdi9.lln.gov/esgf-web-fe/> สำหรับปรับค่าความโน้มเอียง (Bias Correction)

ในช่วงเวลาของการฉายภาพจากแบบจำลองทางสภาพภูมิอากาศซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา ปัจจุบัน (ค.ศ. 1979 - 2005) อนาคตใกล้ (ค.ศ. 2006 - 2039) อนาคตกลาง (ค.ศ. 2040 - 2069) และอนาคตไกล (ค.ศ. 2070 - 2099) และสำหรับสถานการณ์การจำลองสภาพภูมิอากาศ (RCP) ที่เลือกนำมาศึกษาคือ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ซึ่งนำเสนอในรายงานการประเมินครั้งที่ห้า (AR5) ของ IPCC ว่า RCP 8.5 เป็นการปล่อยที่สูงสอดคล้องกับอนาคตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสถานการณ์ RCP 4.5 เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลางที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการแห่งชาติแปซิฟิกตะวันตกเฉียงเหนือในสหรัฐอเมริกา ที่สอดคล้องกับอนาคตของการลดการปล่อยก๊าซแต่ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น¹³⁻¹⁴

สำหรับสถานการณ์การจำลองสภาพภูมิอากาศ RCP 4.5 เป็นสถานการณ์ระยะบายมลพิษระดับกลาง หมายถึงกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษมีการลดการปล่อยมลพิษและมีนโยบายสภาพภูมิอากาศที่เข้มงวดเพิ่มขึ้น RCP 4.5 นี้ได้รับการพัฒนาโดย Pacific Northwest National Laboratory ในสหรัฐอเมริกา โดยให้ค่าการแผ่รังสีจะมีเสถียรภาพหลังจากปี ค.ศ. 2100 ซึ่งสอดคล้องสถานการณ์ในอนาคต SRES B1 ที่มีการลดการปล่อยมลพิษค่อนข้างมาก เช่น ลดการใช้พลังงาน มีโครงการปลูกป่าที่รัดกุม มีนโยบายสภาพภูมิอากาศที่เข้มงวด มีการปล่อยก๊าซมีเทนที่เสถียร มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก่อนที่จะเริ่มลดลงประมาณปี ค.ศ. 2040 ในขณะที่ RCP 8.5 เป็นการปล่อยมลพิษสูง หมายถึง กิจกรรมในอนาคตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายเพื่อลดการปล่อยมลพิษ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำไปสู่ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกสูงในอนาคต RCP 8.5 นี้สอดคล้องกับกิจกรรมในอนาคตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายเพื่อลดการปล่อยมลพิษ เทียบเคียงใกล้กับสถานการณ์จำลอง SRES A1F1 โดยมีกิจกรรมหลักๆ เช่น ปล่อย CO₂ ประมาณ 3 เท่าภายในปี ค.ศ. 2100 การปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพิ่มการใช้พื้นที่ทางการเกษตรและทุ่งหญ้า ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก 12 พันล้านคนภายในปี ค.ศ. 2100 ลดอัตราการพัฒนาเทคโนโลยี มีการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก มีการใช้พลังงานสูง ไม่มีการใช้นโยบายด้านสภาพภูมิอากาศ

2.2 การคำนวณค่าดัชนีภัยแล้ง SPI

การคำนวณค่าดัชนี SPI สามารถคำนวณได้จากชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝนตลอดคาบเวลาหลายเดือน โดยมีระยะเวลาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 30 ปี ช่วงเวลาเฉลี่ย (j เดือน โดย j คือ 3 6 12 24 หรือ 48 เดือน) จะถูกเลือกเพื่อกำหนดเป็นตัวแทนของระยะเวลาที่สัมพันธ์กับการขาดแคลนปริมาณน้ำฝนจะส่งผลกระทบเป็นภัยแล้ง¹⁵ ซึ่งการกระจายตัวของฝนในเชิงการวิเคราะห์ทางภูมิอากาศมีลักษณะการกระจายตัวแบบ gamma distribution โดยการกระจายตัวนี้สามารถกำหนดได้โดย frequency หรือ probability density function¹⁵⁻¹⁷ มีรายละเอียดดังนี้

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

เมื่อ $\alpha > 0$ โดยที่ α คือ shape factor และ $\beta > 0$ โดยที่ β คือ scale factor

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

เมื่อ $\Gamma(\alpha)$ คือ gamma function

เนื่องจากการกระจายตัวของฝนมีลักษณะเหมาะสมกับการกระจายตัวของ gamma function ดังนั้นการคำนวณของ SPI เกี่ยวข้องกับการแจกแจงความถี่สำหรับแต่ละสถานีสามารถประเมินค่า α และ β ได้ดังนี้¹⁶

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัด และเมื่อให้ $\alpha t = x/\beta$ จะได้

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma \alpha} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

ซึ่งเมื่อไม่มีฝนตก ข้อมูลปริมาณฝนจะมีค่าเป็น 0 และเมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะไม่สามารถหา gamma function ได้ ดังนั้น function นี้จึงเปลี่ยนรูปเป็น

$$H(x) = q + (1 - q) G(x)$$

เมื่อ q คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีรายงานฝนตก ซึ่งมีค่าเท่ากับข้อมูลที่ไม่มีฝนตก (m)หารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด (n) จากนั้นทำการแปลง $H(x)$ เป็นค่าปกติมาตรฐาน Z (standard normal) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งคือที่ได้นี้คือค่า SPI¹⁵⁻¹⁷

การศึกษานี้ได้คำนวณดัชนี SPI สำหรับมาตราระยะเวลา (Time Scale) 3 6 และ 12 เดือน โดยใช้ Package ในโปรแกรมสถิติ R ที่เป็นการพัฒนาและเผยแพร่แบบ Open source¹⁸ โดยใช้ชุดข้อมูลนำเข้ารายเดือนของปริมาณน้ำฝนเรียงตามลำดับเวลามาคำนวณเป็นค่าดัชนี SPI การศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงถึงการให้ Package ของโปรแกรม R ที่หลากหลาย เช่น การศึกษาเปรียบเทียบดัชนีภัยแล้งบริเวณลุ่มน้ำอินเดียน¹⁹ สำหรับความหมายของค่าดัชนี SPI ถ้ามีค่ามากกว่า 2 หมายถึง มีภาวะฝนรุนแรง มีค่าอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 1.99 มีภาวะฝนชุกมาก มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.49 มีภาวะฝนชุกปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วง -0.99 ถึง 0.99 ระดับปริมาณฝนอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับปกติ ไม่เป็นภาวะภัยแล้งหรือฝนชุก มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 ถึง -1.49 มีภาวะฝนแล้งปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วง -1.5 ถึง -1.99 มีภาวะฝนแล้งมาก มีค่าอยู่ในช่วง -2 ถึง มีภาวะฝนแล้งรุนแรง¹⁷ ดังนั้นเมื่อสามารถหาค่าดัชนีภัยแล้งในแต่ละช่องตาราง (Grid Cell) ได้ทั้งหมดแล้ว จึงควรที่จะนำค่าดัชนีภัยแล้งในช่องตารางทั้งหมดมาแสดงผลเชิงพื้นที่ (แผนที่) เพื่อที่จะได้เห็นถึงสถานะแนวโน้มในแต่ละพื้นที่ที่จะมีสถานะภัยแล้งอย่างไร รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาด้วย ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถพัฒนาให้เกิดขึ้นได้ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมอื่นๆ

2.3 การจัดทำระบบภาพฉายดัชนีภัยแล้ง

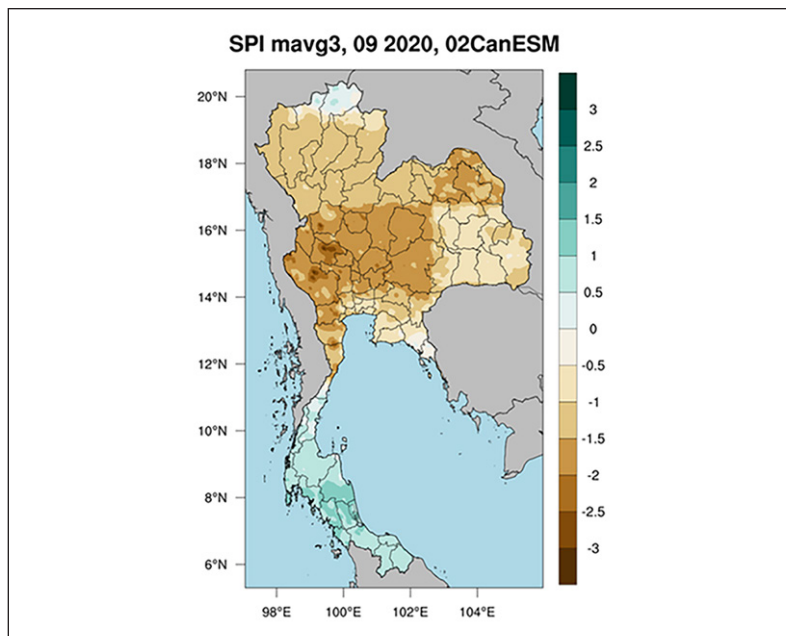
การดำเนินงานขั้นแรกเป็นการจัดทำข้อมูลแผนที่ดัชนีภัยแล้ง Standardized Precipitation Index (SPI) ที่มีขนาด window ทุก 3 6 และ 12 เดือน จากชุดข้อมูลของแบบจำลองในโครงการ CMIP5 ประกอบด้วยแบบจำลอง Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (CanESM), แบบจำลอง NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), แบบจำลอง Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC5) และแบบจำลอง Norwegian Climate Centre (NorESM1_M) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.1 ลักษณะข้อมูลและการสร้างรูปภาพดัชนี SPI

ข้อมูลดัชนีภัยแล้งจากทั้ง 4 แบบจำลองมีการเก็บไว้ใน Text File ซึ่งสามารถเปิดอ่านได้จากโปรแกรม Notepad หรือ Microsoft Word โดยมีลักษณะเดียวกันดังนี้ ไฟล์ในแต่ละไฟล์จัดเก็บข้อมูลเป็นรายเดือนในแต่ละปี ในแต่ละไฟล์แบ่งออกเป็น 4 คอลัมน์ ประกอบด้วย ลำดับแถว ละติจูด ลองจิจูด และค่าดัชนี SPI แต่ละแถวของข้อมูลแสดงถึงข้อมูลในแต่ละกริดของแบบจำลอง โดยแต่ละแถวมีค่า ละติจูด ลองจิจูด เปลี่ยนทุกๆ 0.1 องศา หรือประมาณ 10 กิโลเมตร ซึ่งแสดงว่าข้อมูลของแบบจำลองในแต่ละกริดมีเป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตร จำนวนกริดในแต่ละไฟล์มีทั้งหมด 5,094 กริด เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับจัดทำแผนที่ของไฟล์นั้นๆ จากนั้นนำข้อมูลดัชนี SPI ในแต่ละกริดไปสร้างเป็นรูปภาพโดยนำมาจัดเรียงตามตำแหน่งหรือพิกัดจริงที่สัมพันธ์กับดัชนี SPI นั้นๆ ก่อนนำมาสร้างเป็นรูปภาพที่แสดงดัชนี SPI ครอบคลุมตรงกับประเทศไทย

2.3.2 การสร้างแผนที่ดัชนีภัยแล้ง SPI

เนื่องจากรูปภาพที่ได้มานั้นบริเวณนอกประเทศไทยจะถูกกำหนดให้เป็นสีเทาซึ่งหากนำไปซ้อนทับกับแผนที่โลกจะทำให้ปิดทับแผนที่ของประเทศอื่น จึงจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนสีแผนที่ดัชนีภัยแล้งภายนอกประเทศไทยให้โปร่งใสเป็นแบบ Transparency ซึ่งสามารถทำได้จากโปรแกรม Photoshop

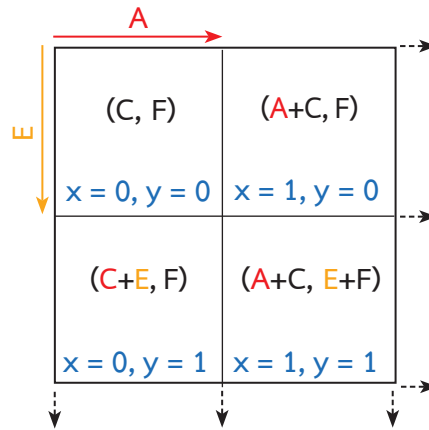


รูปที่ 1 แผนที่ดัชนีภัยแล้ง SPI จากแบบจำลอง CanESM ในเดือนกันยายน ค.ศ. 2020 จากการคำนวณค่าใน Window เฉลี่ย 3 เดือน

นอกจากนี้แฟ้มรูปภาพที่เป็นไฟล์ชนิดต่างๆ เช่น PNG, JPG และ GIF จะเป็นไฟล์ที่ไม่ได้เกี่ยวข้องและไม่มีข้อมูลเชิงพื้นที่ทางด้าน Geo-Science ซึ่งไม่สามารถบอกพิกัดในเชิงแผนที่ได้ ดังนั้นจึงนำเทคนิคทางคอมพิวเตอร์มาใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งอ้างอิงของแฟ้มรูปภาพให้ตรงกับตำแหน่งพิกัดจริงบนพื้นผิวโลก เทคนิคนี้เรียกว่าการสร้าง Geo-reference

PGW File เป็นไฟล์ที่สร้างขึ้นมาใช้คู่กับไฟล์รูปภาพแผนที่ชนิด PNG ภายในประกอบด้วยข้อความธรรมดา ทักษะที่ใช้โดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ GIS เพื่อสร้างภาพแผนที่เชิงภูมิศาสตร์แบบ Raster ตัวแปรภายใน PGW File ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ 6 ตัวแปร ของการแปลงแผนที่แบบภาพอ้างอิงอธิบายตำแหน่งขนาดและการหมุนไปเป็นแผนที่ชนิด Rater ความหมายทั่วไปของพารามิเตอร์ทั้ง 6 ใน PGW File ตามที่กำหนดโดย ESRI มีดังนี้

บรรทัดที่ 1: A: ขนาดพิกเซลใน x-direction ในหน่วยแผนที่/พิกเซล บรรทัดที่ 2: D: การหมุนรอบแกน y
 บรรทัดที่ 3: B: การหมุนรอบแกน x บรรทัดที่ 4: E: ขนาดพิกเซลในทิศทาง y ในหน่วยแผนที่ซึ่งเกือบจะเป็น
 ค่าลบเสมอ, บรรทัดที่ 5: C: พิกัด x ของกึ่งกลางของพิกเซลซ้ายบน บรรทัดที่ 6: F: พิกัด y ของกึ่งกลางของพิกเซล
 ซ้ายบน



รูปที่ 2 แสดงการกำหนดค่าสำหรับ PWG File

สำหรับค่าในไฟล์ pgw สำหรับการจัดทำแผนที่ดัชนีแล้งในครั้งนี้อาจคำนวณได้จากข้อมูลดังต่อไปนี้
 ไฟล์แผนที่รูปภาพ PNG มีพิกัดในแต่ละทิศทางดังนี้ Lon: 97.06-105.96 Lat: 5.3-20.8 โดยที่ความละเอียด
 ของรูปมีขนาด 498 x 871 Pixel บรรทัดที่ 1: A: ขนาดพิกเซลใน x - direction ในหน่วยแผนที่/พิกเซล
 สามารถหาได้จาก $(105.96 - 97.05) / 498 = 0.017836 \text{ deg/pixel} = 0.017836$ บรรทัดที่ 2: D: การหมุน รอบแกน y
 เนื่องจากไม่มีการหมุนดังนั้นมีค่าเท่ากับ 0.0 บรรทัดที่ 3: B: การหมุนรอบแกน x เนื่องจากไม่มีการหมุน ดังนั้น
 มีค่าเท่ากับ 0.0 บรรทัดที่ 4: E: ขนาดพิกเซลในทิศทาง y ในหน่วยแผนที่ซึ่งเกือบจะเป็นค่าลบเสมอ สามารถหาได้
 ในวิธีเดียวกันกับบรรทัดที่ 1 มีค่าเท่ากับ -0.017816 บรรทัดที่ 5: C: พิกัด x ของกึ่งกลางของพิกเซลซ้ายบน
 มีค่าเท่ากับ 97.06 บรรทัดที่ 6: F: พิกัด y ของกึ่งกลางของพิกเซลซ้ายบน มีค่าเท่ากับ 20.8 เมื่อนำภาพแผนที่
 ดัชนีแล้งที่ได้จัดทำ Georeference เรียบร้อยแล้วแสดงบนแผนที่ GIS Google map หรือ Openstreet map
 จะแสดงภาพที่ซ้อนทับประเทศไทยได้อย่างถูกต้อง

3. ผลการวิจัย

ระบบภาพถ่ายดัชนีแล้งในอนาคตที่สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจบริหารจัดการ
 โดยข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นข้อมูลปริมาณฝนที่เกิดจากผลกระทบมาจากสถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก
 RCP4.5 RCP8.5 จาก 4 แบบจำลองภายใต้โครงการ CMIP5 ของ UNFCCC โดยเป็นข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่
 ค.ศ. 1979 - 2099 ซึ่งได้เพิ่มความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ให้เป็น 10×10 ตารางกิโลเมตร โดยสถาบันสารสนเทศ
 ทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ข้อมูลดังกล่าวนี้ได้นำมาคำนวณเป็นค่าดัชนีแล้ง SPI แบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ทุก 3
 6 และ 12 เดือน โดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 3 เดือนสามารถนำไปพิจารณาประกอบการตัดสินใจในด้านการเกษตร
 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 6 เดือนสามารถนำไปพิจารณาประกอบการตัดสินใจในการจัดการและกักเก็บน้ำในแหล่งน้ำ
 และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 12 เดือนสามารถนำไปพิจารณาประกอบการตัดสินใจในการจัดการน้ำในแหล่งน้ำ
 ผิวดินและใต้ดิน โดยค่าดัชนีแล้ง SPI สามารถแปลผลค่าของดัชนีได้ดังนี้ ถ้ามีค่ามากกว่า 2 หมายถึง มีภาวะ
 ฝนรุนแรง มีค่าอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 1.99 มีภาวะฝนชุกมาก มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.49 มีภาวะฝนชุกปานกลาง

มีค่าอยู่ในช่วง -0.99 ถึง 0.99 ระดับปริมาณฝนอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับปกติ มีค่าอยู่ในช่วง -1.0 ถึง -1.49 มีภาวะฝนแล้งปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วง -1.5 ถึง -1.99 มีภาวะฝนแล้งมาก มีค่าอยู่ในช่วง -2 มีภาวะฝนแล้งรุนแรง ข้อมูลดัชนีภัยแล้งได้ถูกคำนวณที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 x 10 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมประเทศไทย ในทุกๆ เดือน สำหรับทั้งสามค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

จากข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีไฟล์ข้อมูลจำนวนมากในลักษณะของฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ซึ่งได้นำมาพัฒนาเป็นต้นแบบของระบบข้อมูลที่สามารถแสดงผลแผนที่ดัชนีภัยแล้งผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สามารถเลือกดูผลคาดการณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ การแสดงผลแผนที่ดัชนีภัยแล้งอันเป็นผลเนื่องมาจากสถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจกทางอินเทอร์เน็ต โดยผู้ใช้งานภายนอก บุคคลทั่วไป หน่วยงาน สถาบันการศึกษา และอื่นๆ เข้าถึงได้ทาง <http://61.19.17.238:5000/static/index.html> โดยระบบมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน คือ ส่วนการเลือกแบบจำลอง ปี เดือน และจำนวนเดือนค่าเฉลี่ย ส่วนคำอธิบายรายชื่อแบบจำลองที่นำมาประยุกต์ใช้งาน ส่วนสัญลักษณ์แถบสีแสดงค่าดัชนีภัยแล้ง SPI และส่วนแผนที่คาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง SPI โดยมีขั้นตอนการใช้งานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกแบบจำลองที่ต้องการ โดยที่ “ระบบภาพฉายดัชนีภัยแล้ง” มีให้เลือก 4 แบบจำลอง ประกอบด้วย (1) CanESM : The Canadian Earth System Model (2) GFDL : Geophysical Fluid Dynamics Laboratory’s Model (3) MIROC5 : Model for Interdisciplinary Research on Climate (4) NorESM1_M : The Norwegian Earth System Model

ขั้นตอนที่ 2 เลือก “สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ” หรือ Representative Concentration Pathways (RCP) มีให้เลือก 2 แบบ คือ 1 RCP 4.5 การปล่อยมลพิษชั้นกลาง หมายถึง มีการลดการปล่อยมลพิษและมีนโยบายสภาพภูมิอากาศที่เข้มงวด และ 2 RCP 8.5 การปล่อยมลพิษสูง หมายถึง กิจกรรมในอนาคตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายเพื่อลดการปล่อยมลพิษ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำไปสู่ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกสูงในอนาคต

ขั้นตอนที่ 3 เลือกปี ค.ศ. ที่ต้องการดูข้อมูล ซึ่งมีให้เลือกในช่วงระหว่าง ปี ค.ศ. 1979 - 2099

ขั้นตอนที่ 4 เลือกเดือน ที่ต้องการดูข้อมูล ซึ่งมีให้เลือกตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม

ขั้นตอนที่ 5 เลือกค่าเฉลี่ยราย 3 6 หรือ 12 เดือน

ค่าเฉลี่ยราย 3 เดือน หมายถึง ค่าเฉลี่ยย้อนหลังจากเดือนที่เลือก เช่น เมื่อเลือกเดือนมกราคม จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม

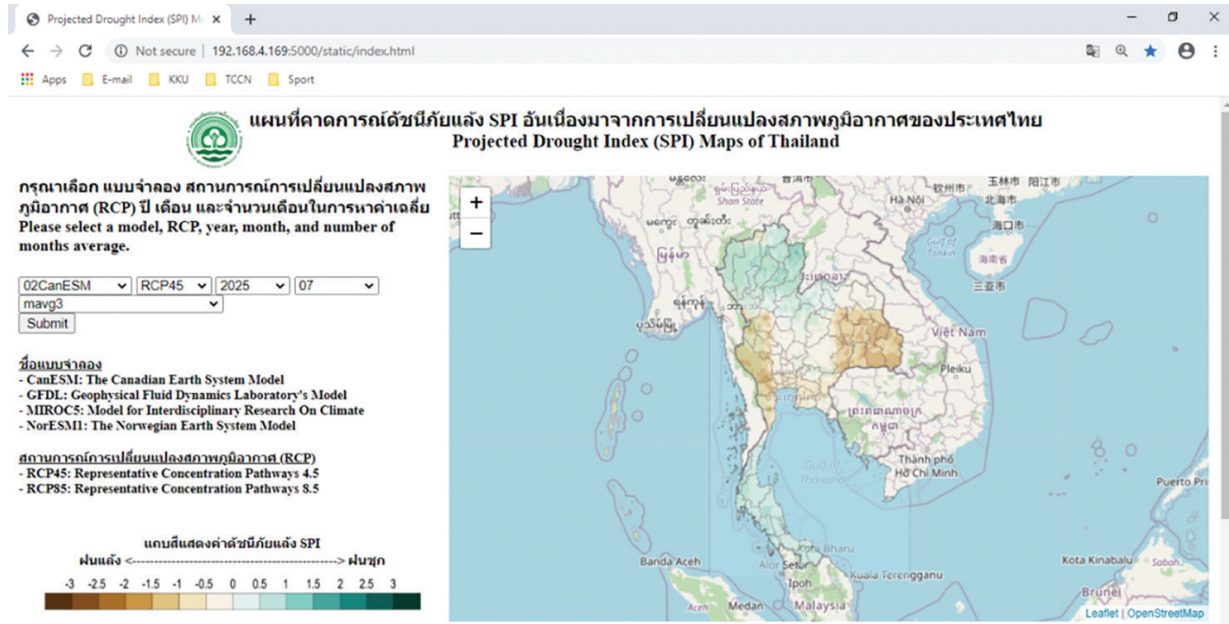
ค่าเฉลี่ยราย 6 เดือน หมายถึง ค่าเฉลี่ยย้อนหลังจากเดือนที่เลือก เช่น เมื่อเลือกเดือนมกราคม จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากเดือนสิงหาคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม

ค่าเฉลี่ยราย 12 เดือน หมายถึง ค่าเฉลี่ยย้อนหลังจากเดือนที่เลือก เช่น เมื่อเลือกเดือนมกราคม จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม

เมื่อผู้ใช้งานดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ครบถ้วนแล้ว ระบบจะแสดงผลให้เห็นในแผนที่ดัชนีภัยแล้งที่ซ้อนทับกับแผนที่ประเทศไทยบนระบบ OpenStreetMap ซึ่งสามารถย่อและขยายดูรายละเอียดในแต่ละพื้นที่ได้ตามต้องการ



กรณีตัวอย่าง การเลือกแบบจำลอง CanESM > RCP 4.5 > ปี ค.ศ. 2025 > เดือน กรกฎาคม > ค่าเฉลี่ยราย 3 เดือน ระบบจะแสดงผลในรูปแบบด้านล่างนี้



รูปที่ 3 แสดงระบบภาพฉายดัชนีภัยแล้งอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก

อย่างไรก็ตาม ระบบภาพฉายดัชนีภัยแล้งอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนี้เป็นเพียงต้นแบบ ซึ่งยังคงมีการพัฒนาต่อไป

สรุปผล

ภายใต้การดำเนินงานของโครงการนี้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์โดยแบบจำลองทางสภาพภูมิอากาศในโครงการ CMIP5 มาพัฒนาเป็นต้นแบบของระบบที่แสดงภาพฉายดัชนีภัยแล้งในอนาคตผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและสามารถเลือกดูผลคาดการณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน และนำมาพิจารณาประกอบการคาดการณ์การเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา เพื่อตัดสินใจวางแผนบริหารจัดการผลกระทบจากภัยแล้งได้ ซึ่งระบบนี้เป็นเพียงต้นแบบซึ่งยังต้องการการศึกษาเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการคาดการณ์ภัยแล้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายก๊าซเรือนกระจกกับปริมาณฝนจากสภาวะที่เกิดขึ้นจริง โดยทำการศึกษาทางสถิติเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้งาน เช่น การหา Mean Standard Error Mean Bias และ Index of Agreement เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายก๊าซเรือนกระจก (Representative Concentration Pathways : RCPs) ต่างๆ ว่าสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ฉายภาพในอนาคตนั้น สถานการณ์ใดใกล้เคียง และเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

ผลการศึกษาถึงการฉายภาพดัชนีภัยแล้งในอนาคตที่เกิดจากสถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ในลักษณะเชิงพื้นที่และเวลาของภัยแล้งสำหรับประเทศไทยจากอดีตถึงปัจจุบันและในอนาคตยังมีอยู่น้อย นับเป็นข้อมูลนำเข้าสู่ที่สำคัญในการประเมินพื้นที่เสี่ยง และอธิบายระดับความอันตรายจากภัยแล้ง โดยเลือกดัชนี SPI ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือและแนวทางที่ง่าย สะดวกและรวดเร็วในการประเมินสถานการณ์และพื้นที่เสี่ยงเบื้องต้น

แต่การใช้ข้อมูลควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ในภาคสนามของระดับความรุนแรงของแผนที่ดัชนีภัยแล้ง เพื่อเปรียบเทียบจากความสอดคล้องของพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้งหรือเปรียบเทียบข้อมูลการเกิดความแห้งแล้งของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) ที่มีการบันทึกไว้ เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิชาการที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ รวมทั้งรูปแบบและแนวทางที่เหมาะสมต่อบริบทของประเทศไทยที่สามารถนำไปสู่การวางแผน จัดการ และขยายผล ได้อย่างเป็นรูปธรรม

4.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบภาพถ่ายภัยดัชนีภัยแล้งในอนาคตอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์การระบาย ก๊าซเรือนกระจกนั้นเป็นข้อมูลที่เกิดมาจากสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นควรที่จะมีการศึกษา ต่อเนื่องเพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจริงกับที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ได้สละเวลาอันมีค่าแก่คณะผู้วิจัย เพื่อให้ข้อมูลและคำปรึกษาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้จากใจจริง

เอกสารอ้างอิง

1. Dai A. Drought under global warming: a review, Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 2011;2(1):45-65.
2. Dai A. Increasing drought under global warming in observations and models, Nat Clim Change 2013;3(2):52-58.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
4. Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, editors. Intergovernmental Panel on Climate Change: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge: Cambridge University Press; 2012.
5. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. สถานการณ์ภัยแล้งของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2532 - 2559 [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 15 มกราคม 2563]. เข้าถึงได้จาก <http://www.disaster.go.th/th/download.php>.
6. van der Schrier G, Barichivich J, Briffa KR, Jones PD. A scPDSI-based global data set of dry and wet spells for 1901-2009. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2013; 118(10):4025-48.
7. กรมอุตุนิยมวิทยา. ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา; 2554. เอกสารวิชาการเลขที่ 551.577.38-01-2554.
8. Homdee T, Pongput K, Kanae S. (2016), A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. Agriculture and Natural Resources 2016;50(3):211-219.
9. Sorooshian S, AghaKouchak A, Arkin P, Eylander J, Foufoula-Georgiou E, Harmon R, et al. Advanced Concepts on Remote Sensing of Precipitation at Multiple Scales, B Am Meteorol Soc 2011;92:1353-57.



10. Damberg L, AghaKouchak A. Global trends and patterns of drought from space. *Theor Appl Climatol* 2014;117(3):441-48.
11. Orvos PI, Homonnai V, Várai A, Bozák Z, János IM. Global trend analysis of the MODIS drought severity index. *Geosci Instrum Meth* 2015;4(2):189-96.
12. Wardlow B, Anderson MC, Verdin J. *Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches*. Boca Raton: CRC Press; 2012.
13. Chaowiwat W, Sarinnapakorn K, Boonya-aroonnet S. Bias Correction of Seasonal Rainfall Forecasts of Thailand from General Circulation Model by Using the Ratio of Gamma CDF Parameter Method. *Naresuan University Engineering Journal* 2016; 11(1 Suppl May):S7-13.
14. Chaowiwat W, Sarinnapakorn K, Weesakul S. Future Changes In Extreme Rainfall Over Thailand. *Journal of Climate Change Science* 2019;9:30–53.
15. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The Relationship of Drought Frequency and Duration Times Scales. In: *8th Conference on Applied Climatology*; 1993 Jan 17-22 Anaheim, California: American Meteorological Society, Anaheim; 1993. p. 179-84.
16. Thorn HCS. *Some methods of climatological analysis: Technical Note No. 81*. Geneva: World Meteorological Organization; 1966.
17. Shah R, Bharadiya N, Manekar V. Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method For Surat District, Gujarat. *Aquatic Procedia* 2015;4:1243-49.
18. Beguería S, Vicente-Serrano SM. Package ‘SPEI’ Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. n.p.: UTC; 2017.
19. Pathak, AA, Dodamani BM. Comparison of Meteorological Drought Indices for Different Climatic Regions of an Indian River Basin. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 2019;56:563-76. doi: 10.1007/s13143-019-00162-5.

การศึกษาพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงเพื่อจัดการปัญหามลพิษทางเสียงจากท่าอากาศยานภูมิภาค Study of noise sensitive areas for regional airport noise pollution management

วิรัช เอื้อทรงธรรม* สุมาลี ปานมาศ เจษฎาพร รอดพิพัฒน์ ญัฐพงศ์ จันทร์สมบัติ ยุพิน บัวจันพอ
ภาวณี นาคประเวศน์ เกษณีย์ นนทคำจันทร์ ศิวฤทธิ์ โรจนสีมานนท์

Wirach Auesongtham*, Sumalee Panmat, Jadsadaporn Rodpipat, Nattapong Chansombat
Yupin Buajanpho, Pavinee Nakpraves, Kessanee Nontakumjan, Sivarit Rojanasimanon

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: wirachh@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันท่าอากาศยานภูมิภาคได้มีการพัฒนาเพื่อให้เป็นท่าอากาศยานนานาชาติ ซึ่งท่าอากาศยานควรมีแผนงานป้องกันผลกระทบด้านเสียงที่อาจเกิดขึ้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้เล็งเห็นถึงปัญหา จึงได้ดำเนินการศึกษาพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงเพื่อจัดการปัญหามลพิษทางเสียงจากท่าอากาศยานภูมิภาค โดยศึกษาผลกระทบด้านเสียงและแนวทางการจัดการการบิน ศึกษาพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่โดยรอบท่าอากาศยาน จำนวน 7 แห่ง ดังนี้ ท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี แม่ฟ้าหลวง หาดใหญ่ กระบี่ ท่าอากาศยานแม่สอด บุรีรัมย์ และนครศรีธรรมราช ผลการตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับการประเมินผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยานพิจารณาค่าระดับเสียงกลางวัน - กลางคืน และค่า Noise Exposure Forecast พบว่าพื้นที่โดยรอบของท่าอากาศยานแม่สอด บุรีรัมย์ และนครศรีธรรมราชมีบางพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยาน สำหรับท่าอากาศยานนานาชาติอีก 4 แห่ง มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงอยู่ภายในเขตพื้นที่ของท่าอากาศยาน ยกเว้นท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี และกระบี่ซึ่งมีพื้นที่บางส่วนอยู่นอกเขตพื้นที่ของท่าอากาศยาน ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวควรมีการเฝ้าระวังผลกระทบด้านเสียงอากาศยาน สำหรับการศึกษพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงรอบท่าอากาศยาน พบว่ามีพื้นที่อ่อนไหวที่ได้รับผลกระทบด้านเสียง จำนวน 1 พื้นที่ คือ ที่โรงเรียนอนุบาลค่ายประจักษ์ศิลปาคม ซึ่งตั้งอยู่ปลายทางวิ่งของท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี สำหรับการใช้อยู่อาศัยที่โดยรอบท่าอากาศยานยังมีความเหมาะสมกับสถานการณ์ระดับเสียงในปัจจุบัน และได้ดำเนินการจัดทำฐานข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมท่าอากาศยาน บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด สามารถนำข้อมูลไปใช้พิจารณาในการพัฒนาท่าอากาศยาน การบริหารจัดการการบินได้ต่อไป

คำสำคัญ : เสียง พื้นที่อ่อนไหวด้านเสียง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับเสียงกลางวัน - กลางคืน

Abstract

Thailand had recently developed the domestic airports into international airports which may cause impact to the areas surrounding the airports. The Environmental Research and Training Centre (ERTC), conducted a study on the sensitive areas affected from aircraft noise in the provincial airports. The study focused on the impacts of noise pollution, the noise sensitive areas, and land uses on 7 regional airports in the country namely: Udonthani, Mae Fah Luang, Hat Yai, Krabi, Mae Sot, Buriram and Nakhonsithammarat. The results of 24 hours average measurement indicated that the noise



levels did not exceed the standard level for Thailand. Evaluation of the impact of aircraft noise by using the day-night average sound level (DNL) and Noise Exposure Forecast (NEF) was also performed and the results showed that aircraft noise did not affect the areas surrounding the airports during international flight operations. The aircraft noise affected primarily only the areas inside the airports territory. However, at Udonthani international airport, the results showed that aircraft noise had extended outside the airport. The study also revealed that land use within the vicinity of these 7 airports were not affected by the aircraft noise. The DEQP had set up a digital file format for noise sensitive areas of all airports through the GIS system which will be utilized as important information for concerned agencies to consider for further airports development including flight route adjustment and flight management to protect and resolve noise problems.

Keywords : noise, noise sensitive area, land use, day - night sound level, Noise Exposure Forecast

1. บทนำ

การพัฒนาท่าอากาศยานในภูมิภาคของประเทศไทยได้เริ่มหลังมีการพัฒนาท่าอากาศยานดอนเมืองเล็กน้อย เช่น ที่นครราชสีมา สงขลา อุบลราชธานี และเชียงใหม่ เป็นต้น ปัจจุบันท่าอากาศยานในภูมิภาคเหล่านี้ได้รับการพัฒนาเพื่อช่วยการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของภูมิภาค ทำให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของการขนส่งทางอากาศ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของสายการบินต้นทุนต่ำภายในประเทศ และต่างประเทศ ทำให้ปริมาณการจราจรทางอากาศมีจำนวนสูงขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากข้อมูลสถิติการขนส่งทางอากาศในปี พ.ศ. 2547 - 2558 ที่มีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มขึ้นจาก 307,280 เที่ยวบิน เป็น 730,559 เที่ยวบิน คิดเป็นร้อยละ 137.8 จากปัญหาจำนวนเที่ยวบินที่เพิ่มมากขึ้นดังกล่าว ทำให้การจัดการจราจรทางอากาศในพื้นที่ใกล้ท่าอากาศยานไม่เหมาะสมประชาชนที่อาศัยในชุมชนใกล้ท่าอากาศยานได้รับผลกระทบด้านเสียง ซึ่งในปัจจุบันปัญหาร้องเรียนเรื่องเสียงจากอากาศยานยังคงมีอยู่ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังไม่สามารถจัดการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นรูปธรรม ประกอบกับในปัจจุบันการออกแบบเส้นทางการบินจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องมาเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานไหนจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงจากท่าอากาศยาน ทำให้การออกแบบเส้นทางการบินไม่ได้นำข้อมูลพื้นที่ดังกล่าวมาพิจารณาในการออกแบบเส้นทางการบิน ก่อให้เกิดผลกระทบด้านเสียงต่อประชาชนในพื้นที่อ่อนไหวบริเวณโดยรอบท่าอากาศยานทั่วประเทศเรื่อยมา และแนวทางการแก้ไขปัญหานี้มีอีกแนวทางหนึ่งนอกจากการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน คือ ฐานข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงที่ได้จากการศึกษาจะเป็นประโยชน์สำหรับ บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ในการออกแบบการจราจรทางอากาศที่เหมาะสมและสามารถลดผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยานได้อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการพิจารณาในการให้ประชาชนอยู่อาศัยบริเวณโดยรอบท่าอากาศยาน ดังนั้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบด้านเสียงและแนวทางการจัดการการบินของท่าอากาศยานในภูมิภาค พร้อมทั้งศึกษาพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่โดยรอบท่าอากาศยาน และจัดทำระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS) พื้นที่อ่อนไหวด้านเสียง สำหรับให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมท่าอากาศยาน บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด สามารถนำข้อมูลไปใช้พิจารณาในการพัฒนาท่าอากาศยาน การบริหารจัดการการบินได้ต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยได้ดำเนินการศึกษาค่าระดับเสียง เส้นทางและวิธีการบินขึ้นและลงของอากาศยาน และพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงในพื้นที่บริเวณโดยรอบท่าอากาศยานที่ตั้งอยู่ในภูมิภาค “พื้นที่อ่อนไหวด้านเสียง” คือ พื้นที่ที่มีเสียงดังแทรกแซงกิจกรรมปกติที่เกี่ยวข้องกับการใช้พื้นที่ โดยทั่วไปแล้วพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียง ได้แก่ พื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา พื้นที่ด้านสาธารณสุข พื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับศาสนา สวน และพื้นที่สันหนนาการ พื้นที่ที่มีลักษณะความเป็นป่า เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า และพื้นที่ศิลปวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ เป็นต้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาศึกษาท่าอากาศยานที่มีจำนวนเที่ยวบินรวมในปี พ.ศ. 2558 มากกว่า 20,000 เที่ยวบินต่อปี รวมทั้งพิจารณาจากที่ตั้งของท่าอากาศยานที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนเที่ยวบินแบบก้าวกระโดด โดยมีท่าอากาศยานที่ทำการศึกษา จำนวน 7 แห่ง ดังนี้ ท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี ท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวง เชียงราย ท่าอากาศยานนานาชาติกระบี่ ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ สงขลา ท่าอากาศยานบุรีรัมย์ ท่าอากาศยานแม่สอด ตาก และท่าอากาศยานนครศรีธรรมราช ในการศึกษาวิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลจำนวนเที่ยวบิน และจัดทำแผนที่โดยรอบของท่าอากาศยานแต่ละแห่งเพื่อนำมาวางแผนกำหนดจุดตรวจวัดเสียงสำหรับเก็บข้อมูลระดับเสียง ข้อมูลสิ่งปลูกสร้างและการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบท่าอากาศยาน¹⁻² จากนั้นจึงได้ดำเนินการเก็บข้อมูลระดับเสียงโดยใช้เครื่องวัดเสียงยี่ห้อ 01 dB รุ่น DUO จำนวน 9 เครื่อง ติดตั้งรอบท่าอากาศยานและตรวจวัดเป็นค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (L_{eq} 24 hours) ค่าระดับเสียงแบบแยกความถี่ (Octave band) ตรวจวัดค่าระดับเสียงพร้อมกันทั้ง 9 เครื่อง และเก็บข้อมูลระดับเสียงต่อเนื่องนาน 7 วัน (เพื่อให้ครบรอบตารางการบินใน 1 สัปดาห์) พร้อมทั้งสำรวจและเก็บข้อมูลสารสนเทศสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เส้นเท้าระดับเสียง และนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์และแปรผลข้อมูลค่าระดับเสียงเป็นค่า Noise Exposure Forecast หรือ เส้นเท้าระดับเสียง NEF ซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อทำนายระดับความรุนแรงของการรบกวนจากเสียงของอากาศยานบนพื้นฐานของข้อมูลเสียงและข้อมูลจากการดำเนินการของท่าอากาศยาน ซึ่งโดยทั่วไปสามารถคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณเส้นเท้าระดับเสียง โดยที่เส้นหรือแนวเส้นนี้จะสัมพันธ์กับค่าระดับเสียงที่รบกวนในสเกลตั้งแต่ “0” ขึ้นไป โดยปกติพื้นที่ที่อยู่ในแนวเส้นเท้าระดับเสียงที่มากกว่า 30 ขึ้นไปถือว่าเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการดำเนินการของท่าอากาศยาน ในประเทศไทยการจัดทำรายงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (EIA) ของท่าอากาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิและท่าอากาศยานอื่นๆ ได้มีการใช้ NEF เป็นกรอบในการประเมินผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยาน และวิเคราะห์ค่าระดับเสียงกลางวัน - กลางคืน (Day-Night Sound Level, DNL)³ พร้อมทั้งประเมินผลค่าระดับเสียง NEF และ DNL กับข้อมูลสารสนเทศทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรอบท่าอากาศยาน⁴ สุดท้ายได้ดำเนินการจัดทำระบบสารสนเทศฐานข้อมูลพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียง⁵⁻⁶ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ที่มีใช้ในต่างประเทศ และแม่ข่ายภูมิสารสนเทศบนอินเทอร์เน็ต เพื่อสนับสนุนการจัดการปัญหามลพิษทางเสียงจากอากาศยาน

3. ผลการวิจัย

การศึกษาศาณการณ์ระดับเสียงของท่าอากาศยานทั้ง 7 แห่ง พบว่าข้อมูลค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ มีเพียงท่าอากาศยานบางแห่งที่มีจุดตรวจวัดระดับเสียงบางจุดที่มีค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าเกินค่ามาตรฐาน เช่น ท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี หลายจุดได้รับเสียงจากการฝึกซ้อมบินของอากาศยานทหารและเสียงจากการจราจร ท่าอากาศยานนานาชาติกระบี่ที่จุดตรวจวัดโรงเรียนเหนือคลองประชารุ่ง ซึ่งตั้งใกล้กับทางหลวงหมายเลข 4 ได้รับเสียงจากการจราจร ท่าอากาศยานแม่สอดที่โรงเรียนบ้านแม่ตาว ค่าระดับเสียงที่เกิดจากกิจกรรมการเรียนการสอนและเสียงตามสายภายในโรงเรียน



สำหรับค่าระดับเสียงเฉลี่ยกลางวัน - กลางคืน ทุกจุดมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐาน DNL ต้องไม่เกิน 65 เดซิเบลเอ) ยกเว้นที่ทำอากาศยานนครศรีธรรมราช ที่จุดตรวจวัดบ้านประชาชนที่ตั้งอยู่ห่างเพียง 500 เมตร จากปลายทางวิ่ง ที่มีค่าเกินมาตรฐาน ในส่วนของค่า Noise Exposure Forecast จะมีบางจุดตรวจวัดที่มีค่าสูงเกิน 30 เช่น ทำอากาศยานนานาชาติอุดรธานี ที่สถานีอุดรนิคมวิทยาซึ่งตั้งอยู่ใกล้ปลายทางวิ่งของทำอากาศยาน ทำอากาศยานนานาชาติกระบี่ ที่สาธารณสุขอำเภอเหนือคลอง และทำอากาศยานนครศรีธรรมราช ที่จุดตรวจวัดบ้านประชาชนที่ตั้งอยู่ห่างเพียง 500 เมตร จากปลายทางวิ่ง

ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับเสียง L_{eq} 24 Hrs, DNL และ NEF

ทำอากาศยาน	ค่าระดับเสียง*		
	L_{eq} 24 Hrs**	DNL ***	NEF****
ทำอากาศยานนานาชาติอุดรธานี	81.2	62.9	30.3
ทำอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวง	64.2	61.3	28.6
ทำอากาศยานนานาชาติกระบี่	72.0	67.8	35.2
ทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่	70.0	61.9	29.6
ทำอากาศยานบุรีรัมย์	66.7	58.3	24.8
ทำอากาศยานแม่สอด	78.3	47.9	13.7
ทำอากาศยานนครศรีธรรมราช	64.7	65.8	32.0

* ค่าระดับเสียงสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัดและการคำนวณจากจุดตรวจวัดรอบทำอากาศยาน

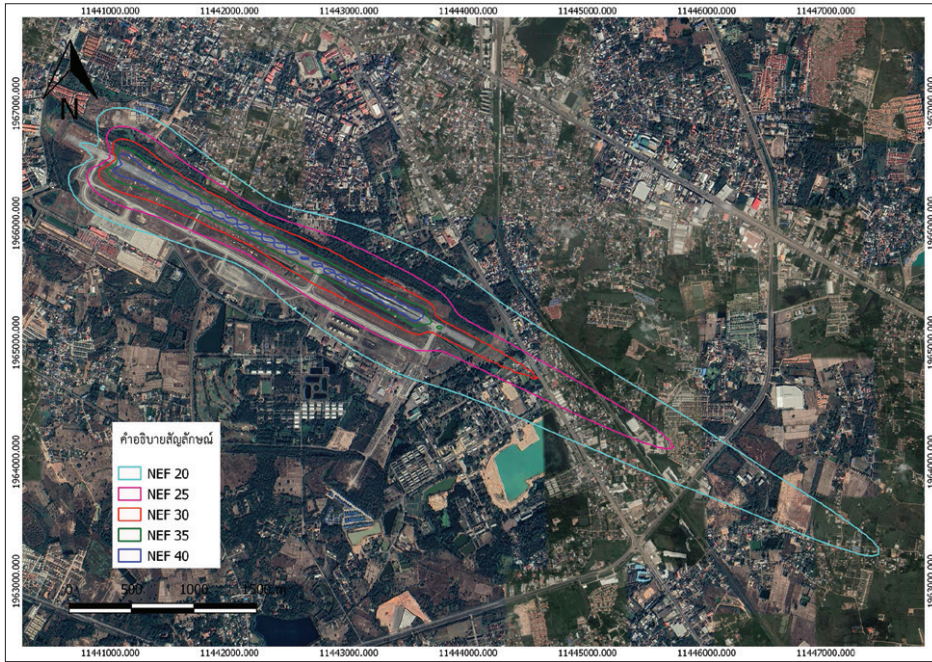
** มาตรฐานค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของประเทศไทย ต้องมีค่าไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ

*** มาตรฐานค่าระดับเสียง DNL ต้องมีค่าไม่เกิน 65 เดซิเบลเอ

**** มาตรฐานค่าระดับเสียง NEF ต้องมีค่าไม่เกิน 30

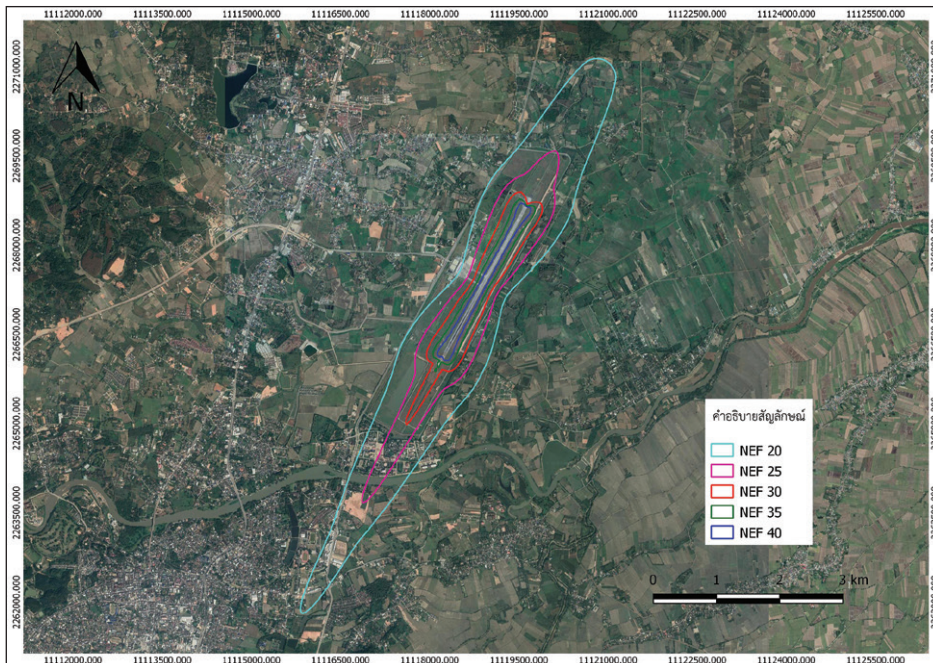
การจัดทำเส้นระดับเสียงจากสถานการณ์การบินจริงในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดระดับเสียงด้วยโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Aviation Environmental Design Tool หรือ AEDT โดยนำข้อมูลการจราจรทางอากาศของทำอากาศยานแต่ละแห่งมาคำนวณในโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคาดการณ์ระดับเสียงจากอากาศยานในแต่ละวัน ซึ่งจะได้แผนที่ระดับเสียง NEF และค่าความสัมพันธ์ของค่า NEF จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละทำอากาศยาน ดังนี้

- ทำอากาศยานนานาชาติอุดรธานี ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF จากการตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AEDT มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.93 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) เท่ากับ 1.83 จากจำนวนตัวอย่าง 79 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 1



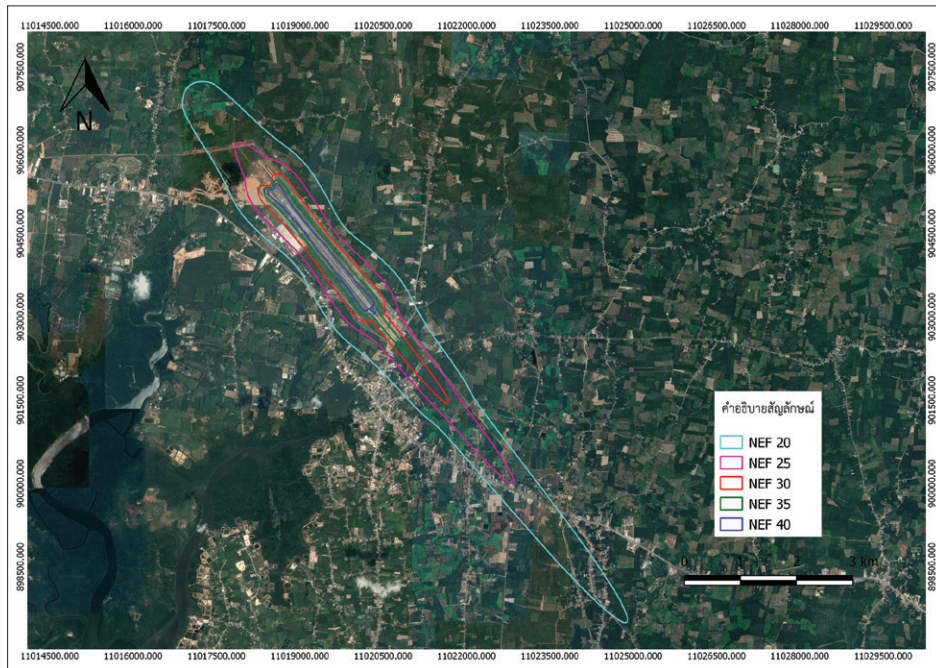
รูปที่ 1 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี

- ท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.86 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 1.81 จากจำนวนตัวอย่าง 84 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 2



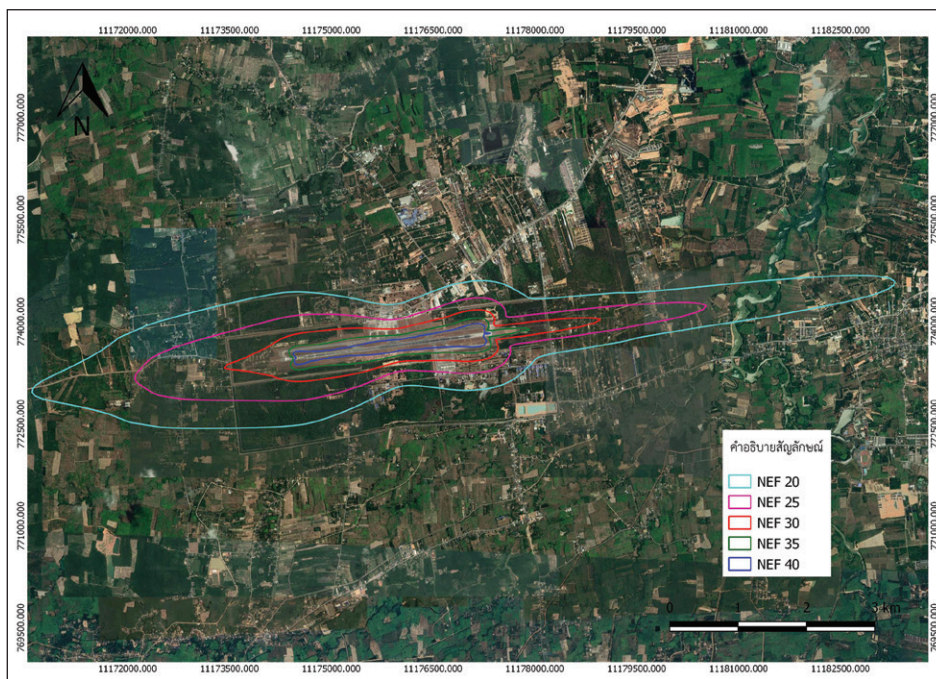
รูปที่ 2 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวง

- ท่าอากาศยานนานาชาติกระบี่ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.89 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 2.26 จากจำนวนตัวอย่าง 95 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 3



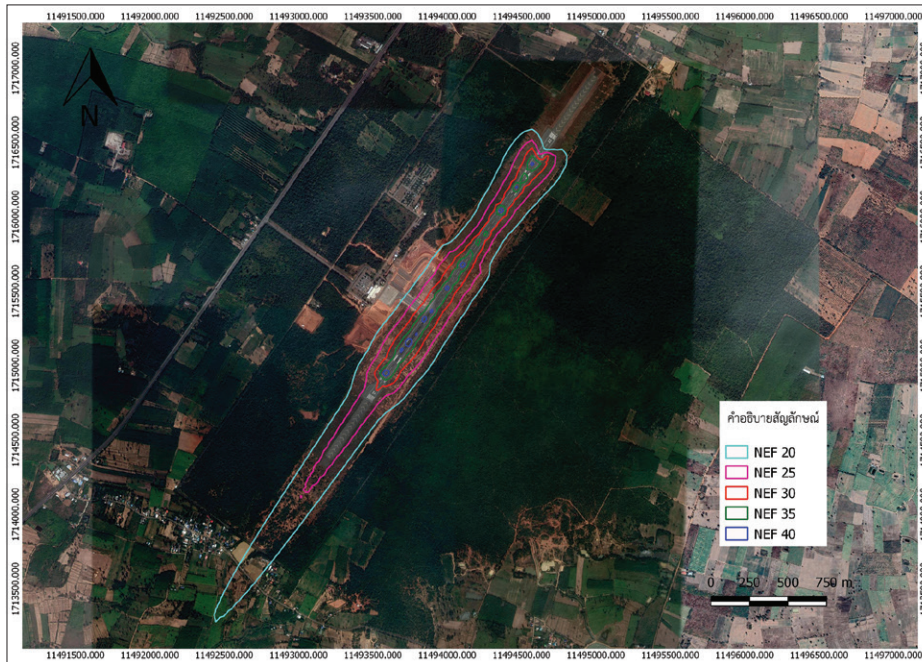
รูปที่ 3 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานนานาชาติกระบี่

- ท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.83 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 2.49 จากจำนวนตัวอย่าง 94 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 4



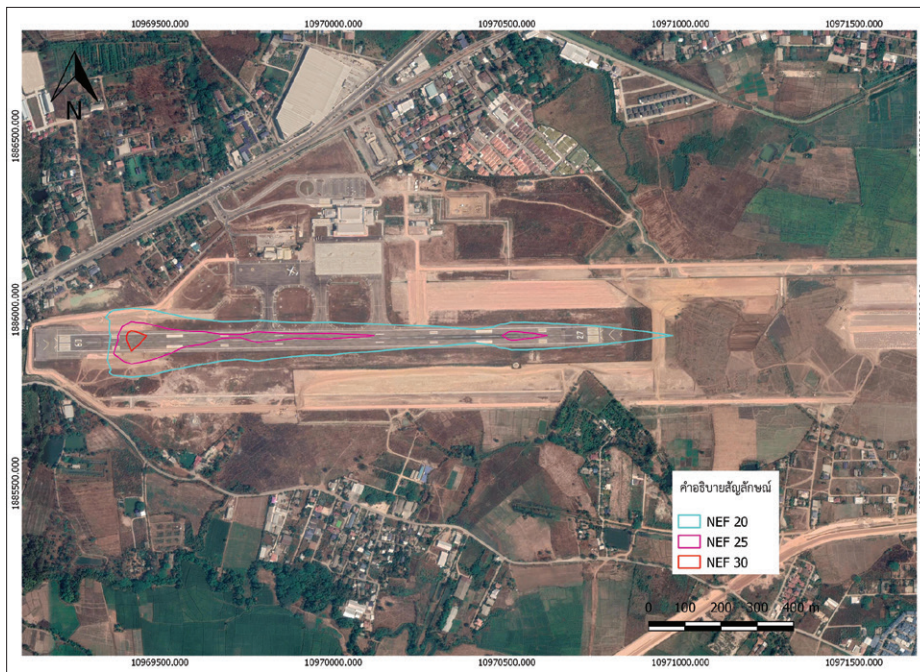
รูปที่ 4 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่

- ท่าอากาศยานบุรีรัมย์ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.63 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 3.37 จากจำนวนตัวอย่าง 81 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 5



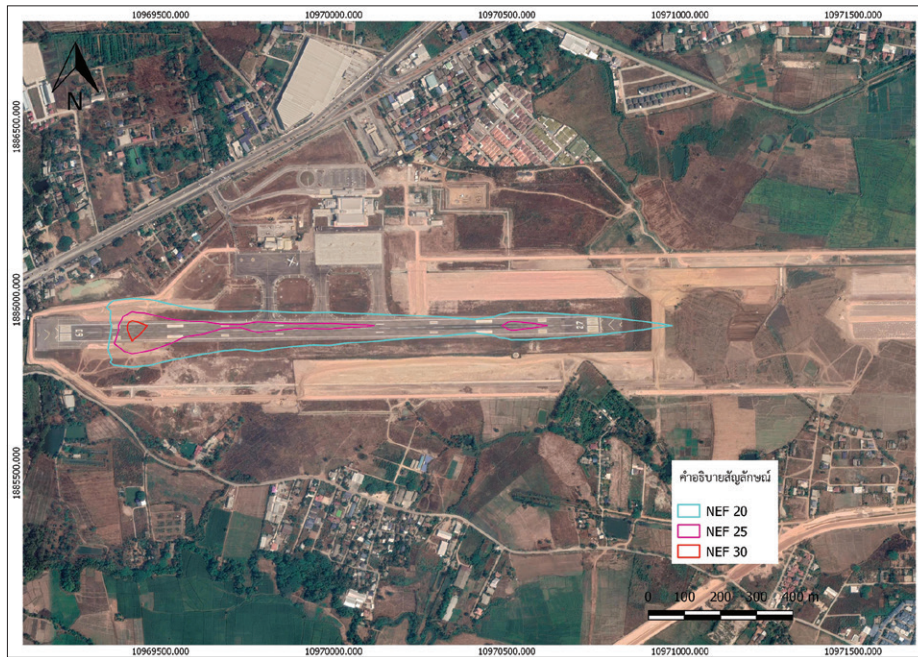
รูปที่ 5 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานบุรีรัมย์

- ท่าอากาศยานแม่สอด ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.75 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 1.78 จากจำนวนตัวอย่าง 67 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานแม่สอด

- ท่าอากาศยานนครศรีธรรมราช ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า NEF ที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่า NEF ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าความสัมพันธ์ R^2 เท่ากับ 0.88 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 2.95 จากจำนวนตัวอย่าง 87 ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีแผนที่ระดับเสียง NEF แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงเส้นเท่าระดับเสียงของท่าอากาศยานนครศรีธรรมราช

การศึกษาข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงอากาศยานเน้นไปทางด้านกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นลักษณะสาธารณะที่อ่อนไหวต่อเสียง (Public use noise-sensitive facilities) เป็นการศึกษาสำรวจพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงที่อยู่ในพื้นที่เขตปลอดภัยทางเดินอากาศของท่าอากาศยาน ได้แก่ โรงเรียน มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลและการสาธารณสุข สถานประกอบกิจกรรมทางศาสนา และศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก โดยผลการศึกษาของท่าอากาศยานแต่ละแห่ง มีดังนี้

- ท่าอากาศยานนานาชาติอู่ตะเภา ผลการสำรวจพบว่าในพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการเดินอากาศของท่าอากาศยาน มีจำนวน 177 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 พบว่ายังไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อ่อนไหวด้านเสียงได้รับผลกระทบจากกิจกรรมทางการบิน ทั้งนี้ในอนาคตหากมีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มขึ้น จะมีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังหรือมีแผนมาตรการป้องกันเรื่องเสียง ได้แก่ สถานพยาบาลและการสาธารณสุข จำนวน 2 แห่ง คือ โรงพยาบาลค่ายประจักษ์ศิลปาคม และโรงพยาบาลกองบิน 23 มีโรงเรียน 2 แห่ง ได้แก่ โรงเรียนอัครพิชัยรักษ์พิทยา โรงเรียนอนุบาลค่ายประจักษ์ศิลปาคม และศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก มณฑลทหารบกที่ 24 (ตั้งอยู่ภายในโรงเรียนอนุบาลค่ายประจักษ์ศิลปาคม)

- ท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวง ผลการสำรวจพบว่าในพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการเดินอากาศของท่าอากาศยาน มีจำนวน 122 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 พบว่ามีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงอยู่ในเขตพื้นที่ท่าอากาศยานทั้งหมด แต่มีจุดที่ควรเฝ้าระวังที่อยู่นอกเขตท่าอากาศยาน และอยู่ในแนวบินขึ้น - ลง ได้แก่ บริเวณปลายทางวิ่ง 03 (ด้านทิศใต้ของท่าอากาศยาน) ได้แก่ โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย มหาวิทยาลัยพะเยา (วิทยาเขตเชียงราย) และมหาวิทยาลัยรามคำแหง สาขาวิทยบริการเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดเชียงราย และบริเวณปลายทางวิ่ง 21 (ด้านทิศเหนือของท่าอากาศยาน) ได้แก่ วัดป่าห้วยขุมเงิน

- ท่าอากาศยานนานาชาติกระบี่ ผลการสำรวจพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการเดินอากาศของท่าอากาศยาน มีจำนวน 50 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 พบว่ามีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงบางส่วนออกนอกเขตพื้นที่ท่าอากาศยาน ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินปัจจุบันเป็นพื้นที่สวน ดังนั้นกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อ่อนไหวต่อเสียงอากาศยานที่ต้องพึงระวัง คือ โรงเรียนโชคชัยกระบี่ ซึ่งเป็นโรงเรียนระดับอนุบาล - ประถมศึกษา และวัดพานิชรัตนานุกูล (วัดเหนือคลอง)

- ทำอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่ ผลการสำรวจพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการบินของทำอากาศยาน มีจำนวน 43 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงจากทำอากาศยานอยู่ในเขตพื้นที่ทำอากาศยานทั้งหมด แต่มีจุดที่ควรเฝ้าระวังที่อยู่นอกเขตพื้นที่ทำอากาศยาน และอยู่ในแนวบินขึ้น - ลง ได้แก่ บริเวณปลายทางวิ่ง 08 (ด้านทิศตะวันตกของทำอากาศยาน) ได้แก่ วัดนพเก้าวาราม และบริเวณปลายทางวิ่ง 26 (ด้านทิศตะวันออกของทำอากาศยาน) ได้แก่ มหาวิทยาลัยรามคำแหง สาขาวิทยบริการเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสงขลา โรงเรียนวัดบางศาลา และวัดบางศาลา รวมทั้งบริเวณด้านข้างทำอากาศยาน ด้านทิศใต้ คือ วัดเลียบ

- ทำอากาศยานบุรีรัมย์ ผลการสำรวจพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการบินของทำอากาศยาน มีจำนวน 66 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 พบว่ามีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงอยู่ในเขตพื้นที่ทำอากาศยานทั้งหมด แต่มีจุดที่ควรเฝ้าระวังที่อยู่นอกเขตพื้นที่ทำอากาศยานและอยู่ในแนวบินขึ้น - ลง ได้แก่ บริเวณปลายทางวิ่ง 04 (ด้านทิศใต้ของทำอากาศยาน) ได้แก่ โรงเรียนบ้านโคกสุพรรณ และสำนักสงฆ์โคกสุพรรณ และบริเวณปลายทางวิ่ง 22 (ด้านทิศเหนือของทำอากาศยาน) ได้แก่ สำนักสงฆ์บ้านใหม่สนามบิน

- ทำอากาศยานนานาชาติแม่สอด ผลการสำรวจพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการบินของทำอากาศยาน มีจำนวน 82 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 พบว่ายังไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อ่อนไหวด้านเสียงได้รับผลกระทบจากกิจกรรมทางการบิน ทั้งนี้หากมีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มมากขึ้นตามแผนแม่บทการพัฒนาทำอากาศยานจำเป็นต้องเฝ้าระวังในพื้นที่ด้านข้างปลายทางวิ่ง 27 เนื่องจากผังเมืองรวมเมืองแม่สอดกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย (สีเหลือง) ซึ่งเป็นที่ตั้งของหมู่บ้านจัดสรรรวมทั้งบริเวณปลายทางวิ่ง 27 ด้านฝั่งตะวันออก มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อ่อนไหวอยู่ 2 แห่ง คือ วัดตรีรัตนาราม (วัดใหม่หนองบัวคุณ) และมัสยิดอารอฟะฮ์

- ทำอากาศยานนครศรีธรรมราช มีพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงภายในพื้นที่เขตปลอดภัยการบินของทำอากาศยาน มีจำนวน 100 แห่ง จากสถานการณ์การบินในปี 2562 พบว่ามีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงบางส่วนอยู่นอกเขตพื้นที่ทำอากาศยานและมีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบด้านเสียงในแนวบินขึ้น - ลงของอากาศยาน บริเวณปลายทางวิ่ง 01 (ด้านทิศใต้ของทำอากาศยาน) ได้แก่ โรงเรียนเทศบาลตำบลท่าแพ และสถานที่ปฏิบัติธรรมเวทสถานแห่งเทพแห่งธรรม และบริเวณปลายทางวิ่ง 19 (ด้านทิศเหนือของทำอากาศยาน) มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อ่อนไหวต่อเสียงจากอากาศยาน ได้แก่ มัสยิดแสงศาสน์ (บ้านศาลาบางปู) วัดวิสุทธิอาราม โรงเรียนวัดวิสุทธิอาราม และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านศาลาบางปู นอกจากนี้ หากพิจารณาถึงผลกระทบด้านเสียงต่อที่พักอาศัยบริเวณปลายทางวิ่ง 19 มีบ้านเรือนประชาชนประมาณ 11 ครัวเรือน ที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยาน หากทำอากาศยานมีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นกรณีที่ทำอากาศยานพัฒนาหรือเพิ่มจำนวนเที่ยวบิน (ทั้งอากาศยานพาณิชย์และเฮลิคอปเตอร์) ควรให้ความสำคัญกับครัวเรือนบริเวณดังกล่าว โดยกำหนดมาตรการหรือแผนการจัดการเรื่องเสียงจากอากาศยาน

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัยผลลัพธ์

จากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ค่าระดับเสียง DNL และค่า NEF พบว่าทำอากาศยานนานาชาติกระบี่ ทำอากาศยานนานาชาติอุดรธานี และทำอากาศยานนครศรีธรรมราช มีแนวโน้มที่เสียงจากอากาศยานจะส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบทำอากาศยาน เนื่องจากมีบางจุดตรวจวัดมีค่า NEF เกินค่ามาตรฐาน สำหรับทำอากาศยานอื่นๆ เช่น ทำอากาศยานแม่สอดที่มีค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินเกณฑ์ค่ามาตรฐาน เช่น โรงเรียนบ้านแม่ตาว ควรมีการพิจารณาแยกแหล่งกำเนิดเสียงให้ชัดเจนว่ามาจากเสียง



อากาศยานหรือเสียงจากกิจกรรมอื่นที่มีผลต่อระดับเสียงในชุมชน เช่น เสียงการจราจร ควรมีการบันทึกเสียงร่วมด้วย ขณะทำการตรวจวัดเสียงเพื่อให้สามารถพิจารณาแหล่งเสียงได้ชัดเจนมากขึ้น สำหรับจุดตรวจวัดเสียงที่มีค่า NEF เกินค่ามาตรฐาน เช่น ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาอุดรธานี สาธารณสุขอำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ และที่บ้านประชาชนที่ตั้งอยู่ใกล้ปลายทางวิ่งของท่าอากาศยานนครศรีธรรมราชควรมีการเฝ้าระวังและวางแผนป้องกันการศึกษผลกระทบของเสียงจากท่าอากาศยานในครั้งนี้อย่างไรก็ตาม ท่าอากาศยานบางแห่งมีอาคารของทหารหรือเฮลิคอปเตอร์ของบริษัทเอกชนร่วมใช้ทางวิ่งด้วย ดังนั้นจึงมีการพิจารณาแยกข้อมูลค่าระดับเสียงของอากาศยานทหารและเฮลิคอปเตอร์กับค่าระดับเสียงของอากาศยานพาณิชย์ออกจากกันให้ชัดเจน เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการ แต่เสียงที่เกิดจากอากาศยานทหารและจากเฮลิคอปเตอร์ซึ่งมีเสียงค่อนข้างสูงอาจมีผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบท่าอากาศยาน ซึ่งท่าอากาศยานควรมีมาตรการป้องกันปัญหาเสียงที่เกิดจากอากาศยานดังกล่าวด้วย อีกทั้งกรมท่าอากาศยานซึ่งเป็นหน่วยงานทำหน้าที่กำกับดูแลท่าอากาศยานในภูมิภาค (ยกเว้นท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวงและท่าอากาศยานนานาชาติหาดใหญ่) ขณะนั้นไม่ได้มีแผนการพัฒนาท่าอากาศยานในอนาคตอย่างชัดเจน ทำให้ไม่สามารถคาดการณ์ผลกระทบของเสียงจากท่าอากาศยานในอนาคตได้ สำหรับการศึกษาพื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงมีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียง จำนวน 1 พื้นที่คือ ที่โรงเรียนอนุบาลค่ายประจักษ์ศิลปาคม ซึ่งตั้งอยู่ปลายทางวิ่งของท่าอากาศยานนานาชาติอุดรธานี ดังแสดงในรูปที่ 1 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการวางแผนเพื่อป้องกันเสียงจากอากาศยานที่อาจมีผลกระทบได้ และสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบท่าอากาศยานยังมีความเหมาะสมกับสถานการณ์ระดับเสียงในปัจจุบัน ในช่วงปี พ.ศ. 2563 - 2564 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดสถานการณ์โรคระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ทำให้จำนวนผู้โดยสารและจำนวนเที่ยวบินลดลงเป็นอย่างมาก แต่หากสถานการณ์โรคระบาดคลี่คลายลงและรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการท่องเที่ยวคาดว่าจำนวนผู้โดยสารและจำนวนเที่ยวบินจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าในปี 2562 ดังนั้นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้านเสียงอาจมีพื้นที่ขยายมากขึ้น ซึ่งท่าอากาศยานควรมีมาตรการหรือแผนสำหรับป้องกันปัญหาด้านเสียงที่อาจเกิดขึ้น

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 เนื่องจากการศึกษาพื้นที่อ่อนไหวครั้งนี้เน้นด้านกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นลักษณะสาธารณะที่อ่อนไหวต่อเสียงเท่านั้น แต่ยังคงมีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินในลักษณะอื่นที่ได้รับผลกระทบด้านเสียง และอาจส่งผลในด้านความปลอดภัยในการบินขึ้น - ลงของอากาศยาน ดังนั้นควรมีการจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์พื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงจากอากาศยานด้านอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ด้านมลพิษทางอากาศ ด้านสิ่งปลูกสร้างด้านศิลปวัฒนธรรม โบราณสถานที่ตั้งอยู่ใกล้กับท่าอากาศยานหรืออยู่ในแนวเขตปลอดภัยในการเดินอากาศของท่าอากาศยานอื่นๆ

4.2.2 พัฒนาระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์พื้นที่อ่อนไหวด้านเสียงจากอากาศยานบนแม่ข่ายภูมิสารสนเทศบนอินเทอร์เน็ต (Internet GIS Map) สำหรับให้ประชาชนสามารถเรียกดูได้ผ่าน web browser ทั้งนี้เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ข้อมูลผลกระทบด้านเสียงจากอากาศยานแก่ประชาชนในพื้นที่ต่อไป

4.2.3 หน่วยงานที่ทำหน้าที่กำกับดูแลท่าอากาศยานควรมีแผนการจัดการหรือมาตรการควบคุมและป้องกันปัญหาทางด้านเสียงจากอากาศยาน เพื่อรองรับปัญหาหรือข้อร้องเรียนเรื่องเสียงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต หากในอนาคตท่าอากาศยานมีการพัฒนาท่าอากาศยานเพื่อรองรับจำนวนเที่ยวบินและจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มมากขึ้น และควรมีการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ข้อมูลเรื่องเสียงให้ประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบท่าอากาศยานได้รับทราบ เพื่อป้องกันการขยายพื้นที่พักอาศัยเข้ามาใกล้ท่าอากาศยานมากเกินไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความช่วยเหลือและความร่วมมืออันดียิ่ง อีกทั้งยังได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการวิจัยจากหน่วยงานผู้ร่วมวิจัย ได้แก่ กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กรมท่าอากาศยาน และบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ขอขอบคุณในความร่วมมืออันดียิ่งที่ศูนย์วิจัยฯ ได้รับเสมอมา นอกจากนี้ ขอขอบคุณเจ้าของสถานที่ต่างๆ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดเสียงทำให้ได้ข้อมูลประกอบการวิจัยที่เป็นประโยชน์อย่างมาก ในครั้งนี้ และท้ายที่สุดขอขอบคุณทุกความเห็น คำแนะนำถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงจากท่าอากาศยานในภูมิภาคทั้ง 7 แห่ง จากนักวิชาการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่าน มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. คำแนะนำทางวิชาการ เรื่อง เกณฑ์ระดับเสียงที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบท่าอากาศยาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท แอคทีฟ พรินท์ จำกัด; 2560.
2. Federal Aviation Administration (FAA). Airport Incompatible Land Use [Internet]. 2014 [cited 2015 Jan 5]. Available from: http://www.faa.gov/airports/resources/publications/orders/compliance_5190_6/media/5190_6b_chap20.pdf.
3. กรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. การคำนวณระดับเสียงเฉลี่ยช่วงเวลากลางวัน เย็นกลางคืน (Ldn และ Lden). [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 30 กรกฎาคม. 2561]. เข้าถึงได้จาก: <http://aqnis.pcd.go.th/node/4467>.
4. สุระ พัฒนเกียรติ. หลักเบื้องต้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2535.
5. Federal Aviation Administration (FAA). Noise sensitive Areas [Internet]. [cited 2019 Sep 18]. Available from: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/environ_policy_guidance/policy/faa_nepa_order/desk_ref/media/11-noise.pdf.
6. SCSC Roundtable. Noise sensitive Areas [Internet]. [cited 2019 Sep 18]. Available from: <https://scscroundtable.org/glossary-of-terms/>



นวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง Innovative device of VOCs determination from exhaled breath to assess cancer risk

วรรณภา เลาวกุล^{1*} วิสุทธิ์ ล้ำเลิศธน² ณรงค์ฤทธิ์ ศรีธนะ² ทศพร เพ็ญรอด² เพลินพิศ พงษ์ประยูร¹ ศุภนุช รสจันทร์¹

Wanna Laowagul¹, Wisut Lamlerththon², Narongrit Sritana², Todsaporn Fuangrod²,
Plermpis Pongprayoon¹ and Supanut Roschan¹

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม¹

คณะแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข วิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์เจ้าฟ้าจุฬาภรณ ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์²

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion¹

Faculty of Medicine and Public Health, HRH Princess Chulabhorn College of Medical Science²

E-mail: wlaowagul2013@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมที่ความรุนแรงโดยเฉพาะปัญหามลพิษทางอากาศในเขตเมือง มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในเขตเมือง เมื่อได้รับสัมผัสสารก่อมะเร็งจากมลพิษทางอากาศในระยะยาวมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งปอด ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้พัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง โดยมีเป้าหมายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดกรองผู้ป่วยมะเร็ง และใช้ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่ได้รับสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาหารูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของคน และพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง จากการเก็บตัวอย่างลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี โดยใช้ Minican ขนาด 450 มิลลิลิตร ต่อกับชุดเก็บตัวอย่างจากลมหายใจ และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Preconcentrator-GCMS ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี มีรูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแตกต่างกัน และจากผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญโดยใช้อัลกอริทึมเป็นตัวช่วยคัดเลือก พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญ จำนวน 8 ชนิด ที่ใช้เป็นสารบ่งชี้กลุ่มผู้ป่วยมะเร็ง และเลือกใช้เซ็นเซอร์ (Sensor) ตรวจจับเฉพาะสารที่มีความสำคัญและไวต่อกลุ่มผู้ป่วยมะเร็ง จำนวน 10 ตัว ประกอบด้วยเซ็นเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์และเซ็นเซอร์แบบใช้กระแสไฟฟ้า เป็นต้น นวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็งที่พัฒนาขึ้นนี้ ประกอบด้วยตัวอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ สำหรับการสร้างโมเดลการแปลงค่าจากเซ็นเซอร์ใช้โมเดล Linear regression ทำการสอบเทียบค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์กับก๊าซมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม 82 ชนิด ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 25 ppbv ตามลำดับ แต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ จำนวน 30 ครั้ง พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.99 และจากการนำนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ ทดลองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมะเร็งปอด จำนวน 32 คน และคนปกติ จำนวน 70 คน ที่ผ่านการเรียนรู้ด้วยโมเดลจำแนก Linear Support Vector Machine (SVM) พบว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฯ ดังกล่าวมีความแม่นยำ 69.4%

คำสำคัญ : นวัตกรรมอุปกรณ์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย ลมหายใจ

Abstract

Environmental pollution issues has been severely increasing especially urban air pollution problems. It affects the health of the urban population particularly after long-term exposure to carcinogens present in polluted air. This study was therefore initiated to develop an innovative device to measure volatile organic compounds (VOCs) from exhaled breath to assess cancer risk. The goal was to help screen cancer patients and assess the health risks of people exposed to environmental pollutants. This study was divided into two parts: to study the pattern of VOCs from human health and to develop an innovative device for measuring VOCs from human breath. The target group's breathing samples were collected from normal people, smokers, lung cancer patients, liver cancer patients and cholangiocarcinoma patients using 450 mL mini canisters connected to a breath sampling kit and analysis was done using a preconcentrator-GCMS. The study found out that each target group has a different VOCs pattern. Analysis of important VOCs linked to cancer was done by using selective algorithms in which eight major VOCs were identified and were used as an indicator for cancer patients. A total of 10 sensors were selected to detect important substances based on their sensitivity to identify cancer patients such as electrochemical sensor, semiconductor sensor, metal oxide sensor, photoionization sensor and etc. The innovative device for collecting human breath consists of airflow management, gas sensors, monitoring sensors, and controller. A linear regression model was used to create a conversion model from the sensors. Calibration of the sensor's response was performed by preparing 82 mixed VOCs standard gases at concentrations of 5, 10, and 25 ppbv and each concentration was analyze repeatedly for 30 times. The linear regression model result showed a correlation coefficient of 0.99. To test the device's efficiency, samples were collected from 32 lung cancer patients and 70 normal people previously identified using linear support vector machine classification model. It was found out that the efficiency of the device was accurate about 69.4%

Keywords : Innovative device, Volatile organic compounds, VOCs, exhaled breath

1. บทนำ

จากปัญหามลพิษที่เกิดจากการผลิต การใช้สารเคมี การเผา การทิ้งของเสียหรือระบายสารพิษที่มีสารก่อมะเร็งสู่สิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศ ในน้ำ ในดิน ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน พบว่าประมาณ 90 - 95% ของโรคมะเร็งเกิดขึ้นจากการได้รับสัมผัสกับสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม โรคมะเร็งเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตสูงที่สุดของโลก¹ สำหรับประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562 อัตราตายต่อประชากรแสนคน พบว่าอัตราตายด้วยโรคมะเร็งสูงสุดเท่ากับ 128 คนต่อประชากรแสนคน เมื่อเทียบกับโรคหลอดเลือดในสมอง ปอดอักเสบ และโรคหัวใจขาดเลือด และ ปี พ.ศ. 2558 - 2562 พบว่าจำนวนและอัตราตายต่อประชากรแสนคนด้วยโรคมะเร็งตับและท่อน้ำดีสูงสุด รองลงมาเป็นมะเร็งปอด มะเร็งเต้านม มะเร็งเม็ดเลือดขาว และมะเร็งปากมดลูก² อัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งขึ้นกับชนิดและระยะของโรค การรักษาที่เหมาะสม และภาวะความแข็งแรงของผู้ป่วย แต่เนื่องจากส่วนใหญ่ผู้ป่วยที่มาพบแพทย์และได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งมักจะเป็นผู้ป่วยที่มีโรคระยะลุกลามหรือแพร่กระจายแล้ว การคัดกรองมะเร็งเพื่อค้นหาโรคมะเร็งตั้งแต่ระยะเริ่มแรก จะเพิ่มโอกาสที่จะสามารถรักษาให้หายขาดและ



มีโอกาสรอดชีวิตได้มากขึ้น แต่ทั้งนี้การตรวจคัดกรองโรคมะเร็งในประเทศไทยมีอุปสรรคสำคัญหลายประการ ได้แก่ การกระจายตัวของเครื่องมือในการตรวจคัดกรอง ได้แก่ เครื่องซีที สแกน (Computerized Tomography Scan) การเข้าถึงหน่วยงานบริการของประชากร ทำได้ยาก การขาดความรู้ความเข้าใจและความยอมรับในการตรวจคัดกรองของผู้ป่วย ความต่อเนื่องในการตรวจคัดกรอง ราคาค่าใช้จ่ายที่สูง การขาดแคลนบุคลากรทางการแพทย์ที่มีความเชี่ยวชาญ เป็นต้น ดังนั้น กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม บูรณาการวิจัยร่วมกับคณะแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข วิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์เจ้าฟ้าจุฬาภรณราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ จึงได้พัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง โดยใช้หลักการ ความแตกต่างทางลักษณะทางชีววิทยาของเซลล์ปกติ และเซลล์มะเร็ง รวมทั้งกระบวนการเผาผลาญพลังงานภายในร่างกาย และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยา peroxidation ของเซลล์ทำให้เซลล์มะเร็งแต่ละประเภทกลุ่มมะเร็ง มีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่มีความจำเพาะออกมา ซึ่งสามารถซึมผ่านหลอดเลือดและขับออกไปทางระบบทางเดินหายใจ³ ในการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดกรองผู้ป่วยมะเร็งและใช้ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่ได้รับสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในคนปกติ และกลุ่มคนที่เป็นมะเร็ง และพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

2. วิธีการวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาหารูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของคน และพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง รายละเอียดมีดังนี้

2.1 การศึกษาหารูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของคน

เก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มคนปกติ จำนวน 41 คน กลุ่มผู้สูบบุหรี่ จำนวน 39 คน กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด จำนวน 23 คน กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ จำนวน 31 คน และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี จำนวน 7 คน โดยอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายทั้งหมดเป็นกลุ่มที่เข้ารับการรักษายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยกับคณะแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข วิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์เจ้าฟ้าจุฬาภรณราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ เรียบร้อยแล้ว และผ่านการตอบแบบสอบถามข้อมูลประวัติและพฤติกรรม เช่น ประวัติทั่วไป ประวัติการสูบบุหรี่ ประวัติการดื่มสุรา พฤติกรรมการบริโภค ประวัติการเป็นโรค ประวัติการรักษา เป็นต้น จากนั้นให้อาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายเป่าลมหายใจเข้าไปในถัง Minican ขนาด 450 มิลลิลิตร ซึ่งทำความสะอาดแล้ว และมีความดันภายในถังเป็นสุญญากาศต่ำกว่า 0.05 มิลลิเมตรปรอท ผ่านชุดเป่าลมหายใจ (Breath sampler) ดังรูปที่ 1 จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่อง Preconcentrator-GCMS โดยใช้คอลัมน์ DB 624 (6% Cyanopropyl-phenyl 94% dimethyl polysiloxane ขนาด 0.32 mm x 60 m x 1.8 µm) มีก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซพา อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิเพื่อแยกสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด และประเมินผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยเปรียบเทียบ Retention time ของตัวอย่างกับ Retention time ของก๊าซมาตรฐานจากโครมาโตแกรม และพิจารณาเกณฑ์การยอมรับตามหลักวิชาการที่กำหนดไว้ในระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการทดสอบสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

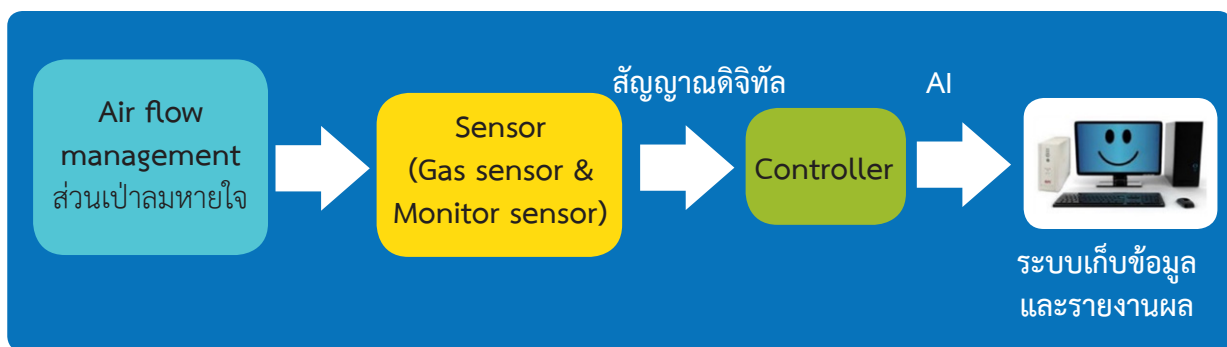


รูปที่ 1 แสดงเก็บตัวอย่างสาร VOCs จากลมหายใจ

2.2 พัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

2.2.1 ออกแบบนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

ออกแบบโครงสร้างการทำงานของตัวอุปกรณ์ (Hardware Module) และ Software Module สำหรับ Hardware Module แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ชั้นบนสุด คือ Air flow management เป็นส่วนบริหารจัดการลมหายใจของคนที่เราไปสูดเซ็นเซอร์ ชั้นต่อมาเป็นเซ็นเซอร์มี 2 ชุด คือ Gas sensor และ Monitor sensor โดยจะปล่อยสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล ส่งข้อมูลไปยัง Controller จากนั้นปัญหาประดิษฐ์ประมวลผลการวิเคราะห์ส่งไปยังจอคอมพิวเตอร์ ในส่วนของ Software Module จะมีระบบการเก็บข้อมูลระบบการรายงานผลที่สามารถแสดงผลการตรวจวัดลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายผ่านคอมพิวเตอร์ ดังไดอะแกรมรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

2.2.2 คัดเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยใช้ข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้และจำนวนอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด และประมวลผลด้วยวิธีลดมิติข้อมูล (Feature selection) โดยใช้เทคนิค Neighborhood component analysis (NCA) ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้หลักการตามอัลกอริทึม K-Nearest Neighbor (KNN) ใช้เวกเตอร์การถ่วงน้ำหนักคุณลักษณะ โดยการเพิ่มความแม่นยำในการจัดหมวดหมู่ เลือกพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมากที่สุด

และรวมกลุ่มของข้อมูลที่มีความสำคัญ⁴ ในกรณีนี้ NCA จะวิเคราะห์ข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญเชื่อมโยงกับโรคมะเร็ง หลังจากนั้นทำการเลือกเซ็นเซอร์ที่มีความสำคัญและมีความไวในการจับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญดังกล่าว

2.2.3 จัดทำนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

2.2.4 สร้างโมเดลการแปลงค่าจากเซ็นเซอร์โดยสอบเทียบกับก๊าซมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม 82 ชนิด ในห้องปฏิบัติการ ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 25 ppbv อย่างละ 30 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3 ด้วยโมเดล Linear regression และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างเซ็นเซอร์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

2.2.5 ทดสอบการใช้งานนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ กับผู้ป่วยมะเร็งปอดและกลุ่มคนปกติ โดยใช้ Receiver-operating characteristic curve (ROC curve) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในวงการแพทย์ เพื่อทดสอบความแม่นยำของนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ และทดสอบระหว่างคนปกติกับผู้ป่วยมะเร็ง⁵



รูปที่ 3 สร้างโมเดลการแปลงค่าจากเซ็นเซอร์ด้วยการสอบเทียบกับก๊าซมาตรฐานสาร VOCs ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 25 ppbv

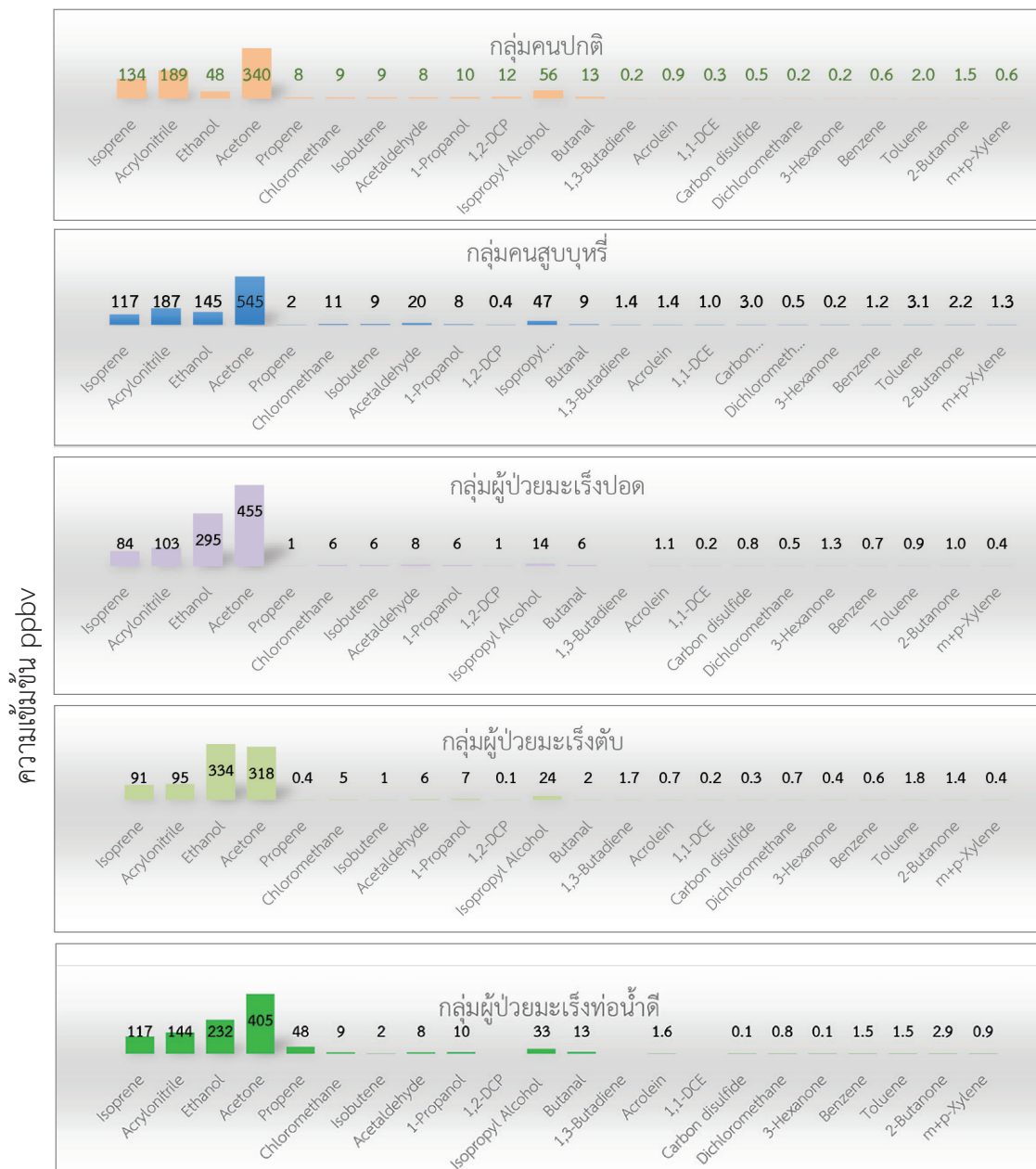
3. ผลการวิจัย

3.1 การศึกษาหารูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของคน

จากการเก็บตัวอย่างลมหายใจจากอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี พบสารอินทรีย์ระเหยง่าย จำนวน 66 ชนิด และพบว่ากลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับและกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี มีรูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแตกต่างกัน สรุปได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 4

ตารางที่ 1 รูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย เรียงจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบจากความเข้มข้น (ppbv) จากมากไปหาน้อย

อาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย	รูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่าย
กลุ่มคนปกติ	Acetone>Acrylonitrile>Isoprene>Isopropyl alcohol>Ethanol
กลุ่มผู้สูบบุหรี่	Acetone>Acrylonitrile>Ethanol>Isoprene>Isopropyl alcohol
กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด	Acetone>Ethanol>Acrylonitrile>Isoprene> Isopropyl alcohol
กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ	Ethanol>Acetone>Acrylonitrile>Isoprene>Isopropyl alcohol
กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี	Acetone>Ethanol>Acrylonitrile>Isoprene>Propene>Isopropyl alcohol

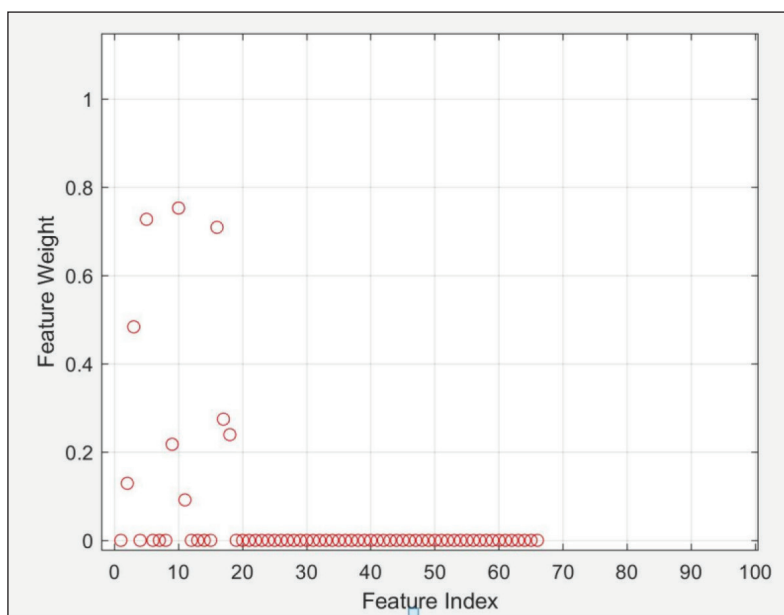


รูปที่ 4 แสดงผลรูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของกลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี



3.2 พัฒนานวัตกรรมการอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

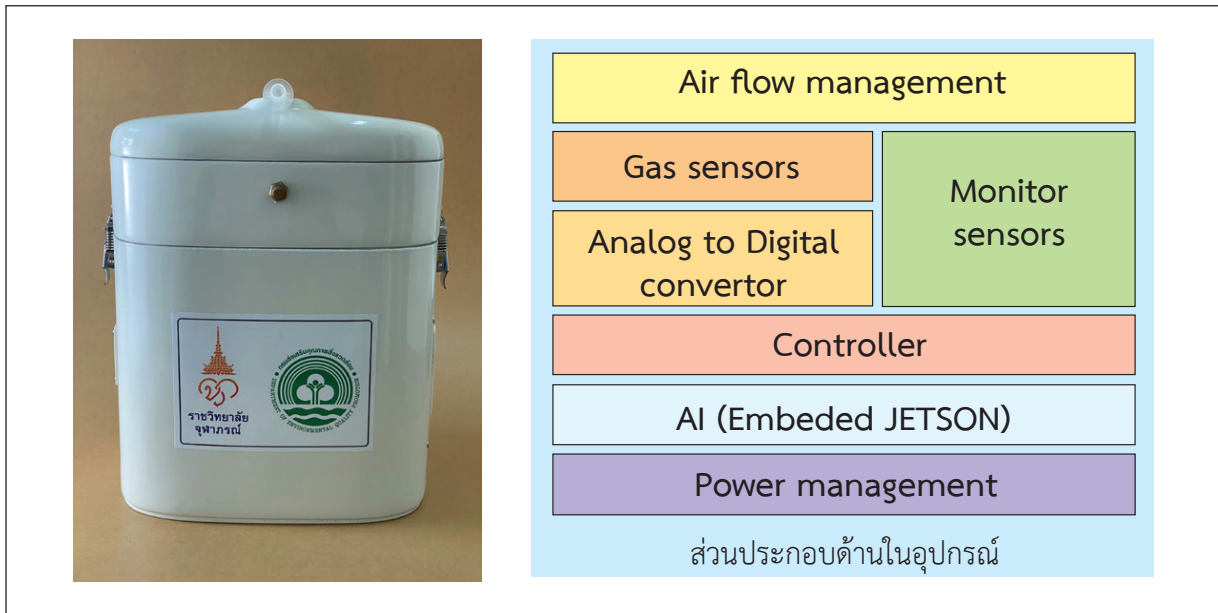
3.2.1 จากการวิเคราะห์ข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่าย จำนวน 66 ชนิด จากลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดี ด้วยวิธีลดมิติข้อมูล (Feature selection) โดยใช้เทคนิค NCA เพื่อหาชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญที่เชื่อมโยงกับโรคมะเร็ง พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญที่เป็นสารบ่งชี้กลุ่มผู้ป่วยมะเร็ง (VOC Biomarker for Cancer) จำนวน 8 ชนิด ที่มีค่า Feature weight สูง ได้แก่ Chloromethane Isobutene Acetaldehyde Isoprene Ethanol Acetone Isopropyl Alcohol และ Dichloromethane ซึ่งข้อมูลนี้ใช้ประกอบการตัดสินใจคัดเลือกเซ็นเซอร์ที่มีความไวในการจับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญดังกล่าว ดังรูปที่ 5 ในการศึกษานี้ได้คัดเลือกเซ็นเซอร์ จำนวน 10 ตัว โดยแบ่งออกเป็น Gas sensors จำนวน 9 ตัว เป็นเซ็นเซอร์ชนิดแบบไฟฟ้าเคมี เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์และเซ็นเซอร์แบบใช้กระแสไฟฟ้า และ Monitor sensor สำหรับตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิ จำนวน 1 ตัว



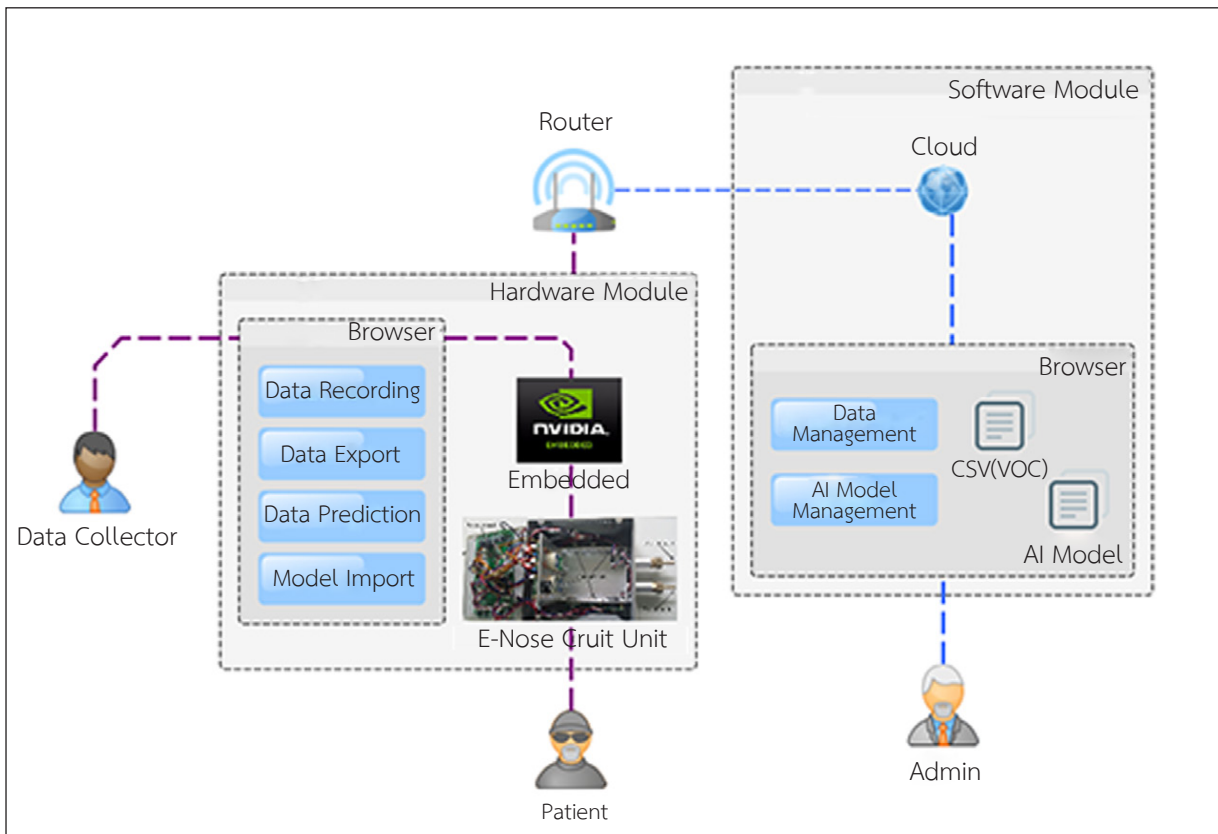
รูปที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญเชื่อมโยงกับโรคมะเร็ง โดยใช้เทคนิค Neighborhood component analysis

3.2.2 จัดทำนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

ทำโครงสร้างตัวอุปกรณ์ (Hardware Module) ประกอบด้วย Air flow management เป็นส่วนบริหารจัดการลมหายใจของคนที่เราไปสูดเซ็นเซอร์ โดยเซ็นเซอร์มี 2 ชุด คือ Gas sensors และ Monitor sensors ซึ่งจะปล่อยสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งข้อมูลไปยัง Controller จากนั้นปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) จะประมวลผลการวิเคราะห์ส่งไปยังจอคอมพิวเตอร์ ในส่วนของ Software Module มีระบบการเก็บข้อมูล ระบบการรายงานผลที่สามารถแสดงผลการตรวจวัดลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายผ่านคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7

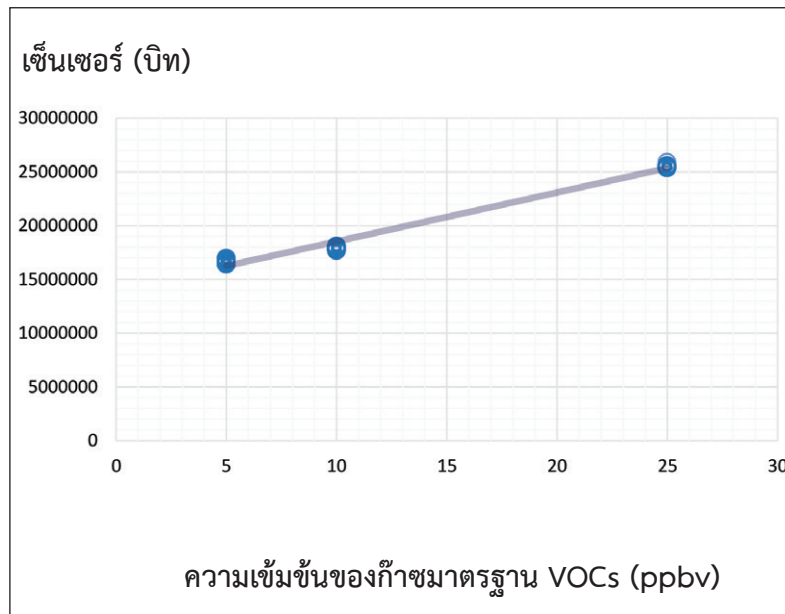


รูปที่ 6 แสดงนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจ เพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง



รูปที่ 7 แสดงการทำงานของนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจ เพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

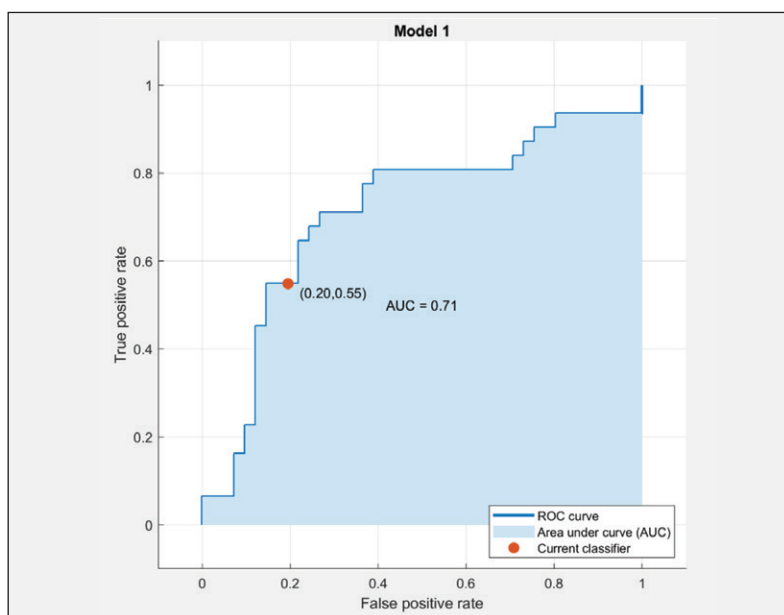
3.2.3 สร้างโมเดลการแปลงค่าจากเซ็นเซอร์เทียบกับก๊าซมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในห้องปฏิบัติการ การสร้างโมเดลการแปลงค่าจากเซ็นเซอร์ใช้โมเดล Linear regression ทำการสอบเทียบค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์กับก๊าซมาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม 82 ชนิด ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 25 ppbv ตามลำดับ แต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ จำนวน 30 ครั้ง พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) = 0.99 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของเซ็นเซอร์และความเข้มข้นของก๊าซมาตรฐานสาร VOCs ที่ 5 10 และ 25 ppbv

3.2.4 ทดสอบการใช้งานนวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบการใช้งานนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ กับกลุ่มอาสาสมัครผู้ป่วยมะเร็งปอด จำนวน 32 คน และกลุ่มคนปกติ จำนวน 70 คน โดยพล็อต ROC curve พบว่ามีค่า Area under curve (AUC) เท่ากับ 0.71 โดยใช้การคำนวณด้วยโมเดล Support Vector Machine (SVM) ดังรูปที่ 9 และตารางที่ 2 แสดงผลความแม่นยำของอุปกรณ์ เมื่อใช้การเรียนรู้ด้วยโมเดลอื่น ประกอบด้วย Linear SVM, Quadratic SVM, เนออีฟเบย์ (Naïve Bayes), Logistic Regression, เคเนียร์เนสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbor; KNN) และโมเดลต้นไม้ตัดสินใจ (Boosted Trees)



รูปที่ 9 แสดง ROC curve ทดสอบการใช้งานนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ กับผู้ป่วยมะเร็งปอด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความแม่นยำของโมเดลการเรียนรู้ของนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ กับกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด

Classifier Model	Accuracy
Linear SVM	69.4%
Quadratic SVM	63.9%
Naïve Bayes	62.5%
Logistic Regression	62.5%
KNN	59.7%
Boosted Trees	56.9%

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

ในการศึกษาการพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง ได้รูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายของกลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับ และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดีและไตนวัตกรรมอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง

ผลการศึกษาชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมาย ได้รูปแบบ (Pattern) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มคนปกติ กลุ่มผู้สูบบุหรี่ กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด กลุ่มผู้ป่วยมะเร็งตับและกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งท่อน้ำดีแตกต่างกัน ยกตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มคนปกติ และกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งปอด พบว่า ผู้ป่วยมะเร็งปอดมี Acetone และ Ethanol สูงกว่ากลุ่มคนปกติซึ่งการศึกษาของนักวิจัยประเทศโปแลนด์⁶ ใช้เป็นสารบ่งชี้ที่สำคัญของผู้ป่วยมะเร็งปอด ในการพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวัด

สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจเพื่อประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็ง เช่น เซอร์เป็นส่วนที่สำคัญของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับ สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากลมหายใจของผู้ป่วยมะเร็ง การเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐาน จากผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นสารบ่งชี้ที่มีความสำคัญต่อกลุ่มผู้ป่วยมะเร็ง ในการศึกษา พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความสำคัญและไวต่อกลุ่มผู้ป่วยมะเร็ง จำนวน 8 ชนิด ที่มีค่าความถ่วงน้ำหนักสูง (Feature weight) ได้แก่ Chloromethane Isobutene Acetaldehyde Isoprene Ethanol Acetone Isopropyl Alcohol และ Dichloromethane ซึ่งใช้ประกอบการตัดสินใจคัดเลือกเซ็นเซอร์ที่มีความไวในการจับสารอินทรีย์ ระเหยง่ายที่สำคัญดังกล่าวได้ จำนวน 10 ตัว โดยแบ่งออกเป็น Gas sensors จำนวน 9 ตัว เป็นเซ็นเซอร์ชนิดแบบ ไฟฟ้าเคมี เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์และเซ็นเซอร์แบบใช้กระแสไฟฟ้า และ Monitor sensor สำหรับตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิ จำนวน 1 ตัว

ในการศึกษานี้ได้นำนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ ทดลองกับชุดข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ป่วยมะเร็งปอดและ กลุ่มคนปกติด้วย ROC curve ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแพทย์ ใช้ประโยชน์ในการบ่งชี้และการพยากรณ์โรค พื้นที่ใต้เส้นโค้ง ROC หรือ ค่า AUC (Area under the curve ROC) เป็นค่าที่แสดงความสามารถของงานหรือวิธีการ ตรวจจับเพื่อจำแนกการวัดผลลัพธ์ที่เป็นจริงและเท็จของคุณภาพของวิธีการ ถ้าค่า AUC = 1 แสดงว่า ความสามารถของนวัตกรรมอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้จำแนกหรือประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็งที่มีผลลัพธ์ที่เป็นจริง สมบูรณ์ แต่ถ้าค่า AUC = 0.5 แสดงว่าความสามารถของนวัตกรรมอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่สามารถใช้จำแนก หรือประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็งได้ ผลที่ได้จากการศึกษานี้ พบว่ามีค่า AUC = 0.71 แสดงว่านวัตกรรมอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถนำไปใช้จำแนกหรือประเมินความเสี่ยงโรคมะเร็งได้ นอกจากนี้ ได้นำชุดข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่เป็น ผู้ป่วยมะเร็งปอดและกลุ่มคนปกติ ผ่านการเรียนรู้ด้วยโมเดล Linear SVM และโมเดลการจำแนกอื่นๆ เช่น Quadratic SVM Naïve Bayes Logistic Regression KNN และ Boosted Trees เพื่อทดสอบความแม่นยำของการทำนาย ผลการทดสอบพบว่าโมเดล Linear SVM ให้ผลลัพธ์ความแม่นยำ (Accuracy) การทำนายสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ โมเดลอื่นๆ โดยมีค่าความแม่นยำ เท่ากับ 69.4% แสดงว่าประสิทธิภาพของนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ ที่พัฒนาขึ้นนี้ มีความแม่นยำในการทำนายความเสี่ยงโรคมะเร็ง 69.4% สาเหตุที่ความแม่นยำในการทำนายไม่ถึง 70% อาจเป็นเพราะข้อจำกัดในเรื่องของกลุ่มเป้าหมาย เนื่องจากใช้กลุ่มเป้าหมายที่เข้ามาตรวจประจำปีและเข้ารับการรักษา ที่โรงพยาบาลอยู่แล้ว จากผลการสัมภาษณ์ประวัติของผู้ป่วย พบว่า บางรายเคยมีประวัติการได้รับการรักษา ด้วยการฉายแสงแล้ว และจำนวนการได้รับฉายแสงแตกต่างกัน ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำคลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตาม ค่าความแม่นยำในการทำนายความเสี่ยงโรคมะเร็งที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าเกือบถึง 70% ซึ่งเห็นว่า นวัตกรรมอุปกรณ์ฯ สามารถนำไปใช้ในการคัดกรอง (Screening) ผู้ป่วยมะเร็งปอดได้ในเบื้องต้นและนำไปใช้ ประเมินความเสี่ยงมะเร็งจากผู้ได้รับสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม เช่น ผู้ได้รับสัมผัสสารมลพิษในพื้นที่หมอกควัน สถานีบริการน้ำมัน พื้นที่มีการจราจรหนาแน่น เป็นต้น ต่อไปได้ในอนาคต

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ในอนาคตควรมีการปรับปรุงอุปกรณ์ฯ ให้มีความแม่นยำในการทำนายความเสี่ยงโรคมะเร็งมากขึ้น โดยการเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยมะเร็งแต่ละประเภท จำแนกมะเร็งแต่ละระยะ และศึกษาผู้ป่วยมะเร็งก่อนและหลัง การรักษา เป็นต้น

4.2.2 ต่อยอดงานวิจัยนวัตกรรมอุปกรณ์ฯ ตรวจวัดความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากลมหายใจระหว่างผู้ป่วยมะเร็งตับ ผู้ป่วยโรคตับ และผู้ดื่มแอลกอฮอล์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากกลุ่มอาสาสมัครเป้าหมายทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เป่าลมหายใจและให้ข้อมูลประวัติและพฤติกรรม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาล จุฬารัตน์ ที่ประสานและอำนวยความสะดวกแก่อาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายที่เข้าร่วมโครงการวิจัย ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยเก็บข้อมูลประวัติและพฤติกรรมกลุ่มตัวอย่างศึกษา

เอกสารอ้างอิง

1. Anand P, Kunnumakkara AB, Sundaram C, Harikumar KB, Tharakan ST, Lai OS, et al. Cancer is a preventable disease that requires major lifestyle changes. *Pharm Res* 2008;25(9):2097-116. doi:10.1007/s11095-008-9661-9.PMC 2515569.PMID 18626751
2. สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. กองยุทธศาสตร์และแผนงาน. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2562. กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข; 2562.
3. Peng G, Hakim M, Broza YY, Billan S, Abdah-Bortnyak R, Kuten A, et al. Detection of lung, breast, colorectal and prostate cancers from exhaled breath using a single array of nanosensors. *Brit J Cancer* 2010;103:542-51.
4. Mohamed D, Youcef B, Mohamed L, Bilal A. Neighborhood component analysis and support vector machines for heart disease prediction. *International Information and Engineering Technology Association* 2019;24(6):591-95.
5. Joanna R, Marta W, Tomasz K, Tadeusz J, Boguslaw B. Determination of volatile compounds as potential markers of lung cancer by gas chromatography-mass spectrometry versus Trained dogs. *Sensors and actuators B. Chemical* 2014; 202:615-21.
6. Michael P, Renee NC, Andrew RC, Anthonig JG, Kevin G, Joel G, et al. Preliminary report detection of lung cancer with volatile markers in the breath. *Chest* 2003; 123(6):2115-23.



การปนเปื้อนสารปรอท VOCs และ PAHs จากขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชน
ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์

Contamination of Mercury, VOCs and PAHs from electronics waste
and municipal solid waste In Buriram Province

จันทิราพร ทังสุวรรณ* วรณา เลาวกุล เพลินพิศ พงษ์ประยูร ศุภนุช รสจันทร์ เต็มเดือน ชานะทร
เดซี หมอกน้อย อรจิรียา ช่างเหล็ก กมเลิศ ทองดีเลิศ หทัยรัตน์ การ์เวทย์

Chanthiraporn Tangsuwan*, Wanna Laowagul, Plermpis Pongprayoon, Supanut Roschan,
Temduean Chanatorn, Daisy Morknoy, Onjeereeya Changlek,
Kammales Thongdeelerd, Hathairatana Garivait

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion

E-mail: chanthiraporn.tsuwan@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาด้านขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะมูลฝอยเป็นปัญหาที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เป็นปัญหา
ระดับชาติ การศึกษาการปนเปื้อนสารพิษในอากาศ ได้แก่ สารปรอท สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) สารประกอบ
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชน ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์
มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของมลพิษจากแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชน โดยทำการเก็บ
ตัวอย่างอากาศ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน ในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ และชุมชนโดยรอบ
พื้นที่แหล่งทิ้งขยะชุมชนที่มีการจัดการถูกหลักสุขาภิบาล และแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา จากการศึกษา
พบว่าแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพิษในอากาศ ได้แก่ สารปรอทในอากาศ
และในฝุ่น มีค่าเท่ากับ 3.5 และ 0.06 ng/m³ และชุมชนโดยรอบพบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารปรอท
ในอากาศที่ชุมชน B เท่ากับ 3.4 ng/m³ และในฝุ่นบริเวณชุมชนโดยรอบ มีค่าเท่ากับ 0.02 ng/m³ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย
ของสาร VOCs ชนิด Acetaldehyde ที่ชุมชน B และ C เท่ากับ 3.5 และ 5.3 ppbv และพบ Acrolein
ที่ชุมชน C เท่ากับ 2.9 ppbv และพบสาร PAHs ชนิด Acenaphthylene และ Fluorene บริเวณชุมชน B เท่ากับ
2.9 และ 5.8 µg/m³ และชุมชน C เท่ากับ 10 และ 5.9 µg/m³ เมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนสารพิษในอากาศ
กับแหล่งทิ้งขยะชุมชน พบว่า บริเวณแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา มีการปนเปื้อนของสารปรอทในอากาศ
14 ng/m³ และในฝุ่น 0.13 ng/m³ สาร VOCs ชนิด Benzene และ Acetaldehyde เท่ากับ 59 และ 85 ppbv
ตามลำดับ ในส่วนของสาร PAHs ชนิดก่อมะเร็ง พบสาร Naphthalene และ Benzo (a) Anthracene เท่ากับ
61 และ 16 µg/m³ ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชน
อย่างถูกหลักสุขาภิบาลและการป้องกันไม่ให้เกิดการเผาในที่โล่งจะช่วยลดสารพิษทางอากาศที่เป็นสารพิษอันตราย
ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : สารปรอท สารอินทรีย์ระเหยง่าย สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ขยะอิเล็กทรอนิกส์ ขยะชุมชน
บุรีรัมย์

Abstract

Environmental pollution related to municipal solid waste and electronics waste needs urgent solution. The Study on toxic air pollutants such as Mercury, Volatile Organic Compounds (VOCs) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from electronic waste and municipal solid waste has been conducted at Buriram province. The objective of the study was to measure the extent of contamination of the air pollutants emitted from municipal solid waste as well as electronics waste by collecting 24 hours ambient air samples successively for 7 days from an electronics open dumping waste site and other communities surrounding this area. Ambient air samples were also collected from municipal waste areas such as Sanitary landfill sites and municipal waste open dumping sites. The results of the study revealed that the average concentrations of Mercury from the ambient air at the electronics waste was 3.5 ng/m^3 and the average mercury concentration in dust was 0.06 ng/m^3 while the concentrations of Mercury from the ambient air samples collected at Community B and Community C were 3.4 และ 3.1 ng/m^3 respectively and the average mercury concentration in dust was 0.02 ng/m^3 . The concentrations of VOCs such as Acetaldehyde at Community B and Community C were 3.5. and 5.3 ppbv respectively while Acrolein was 2.9 ppbv. The concentrations of PAHs such Acenaphthylene and Fluorene at Community B were 2.9 and $5.8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ respectively while at Community C the concentrations were 10 and $5.9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ respectively. When compared to the concentrations of ambient air pollutants from municipal waste it was revealed that the concentration of Mercury in ambient air samples from the municipal waste open dumping site was 14 ng/m^3 and in dust was 0.13 ng/m^3 . The concentrations of VOCs in this site such as Benzene and Acetaldehyde were 59 ppbv and 85 ppbv respectively. The concentrations of carcinogenic PAHs in this site such as Naphthalene and Benzo(a) Anthracene were 61 and $16 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. The results from this study conclude that electronics waste and Sanitary landfill which were managed with good scientific technology without open burning can efficiently reduce the emissions of toxic air pollutants in the environment.

Keywords: Mercury, Volatile Organic Compounds (VOCs), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), electronics waste, Municipal solid waste, Buriram

1. บทนำ

จากการพัฒนาและขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทำให้มีการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้น ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้มีการผลิตและการบริโภคเพิ่มขึ้นจนทำให้เกิดปัญหามลพิษในเมือง โดยเฉพาะปัญหาขยะมูลฝอย ซึ่งปัจจุบันรัฐบาลได้ประกาศให้การแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยเป็นวาระแห่งชาติ ภายใต้แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย พ.ศ. 2559 - 2564¹ ปัจจุบันมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) และเอกชนทั่วประเทศ จำนวน 2,867 แห่ง ที่เปิดให้บริการ พบว่าดำเนินการได้อย่างถูกต้องเพียง 643 แห่งเท่านั้น ส่วนที่เหลืออีก 2,209 แห่ง พบว่าดำเนินการไม่ถูกต้อง โดยมีการเทกอง การเผากลางแจ้ง การใช้เตาเผาขนาดเล็กที่ไม่มีระบบบำบัดมลพิษอากาศ² เป็นต้น สำหรับขยะอิเล็กทรอนิกส์นั้น จัดเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546³ จังหวัดบุรีรัมย์เป็นเมืองที่มีการพัฒนา



เข้าสู่ประชาคมอาเซียน มีแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นศูนย์กลางวัฒนธรรม แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ และมีสนามกีฬาฟุตบอลที่มีชื่อเสียงได้มาตรฐานระดับสากล ซึ่งการพัฒนาเมืองควบคู่กับการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจดังกล่าว ส่งผลให้เกิดมลภาวะต่างๆ จากผู้คนที่เข้ามาท่องเที่ยวและพักอาศัยใช้ชีวิตอยู่ในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่เทศบาลที่เพิ่มมากขึ้น และเป็นหนึ่งในปัญหาที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับผิดชอบของจังหวัดมีปริมาณทั้งสิ้น 190,709.18 ตัน/ปี (ข้อมูล ณ วันที่ 27 มกราคม 2561) จากการสำรวจสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่า มีจำนวนทั้งสิ้น 57 แห่ง โดยมีการเปิดใช้งานทั้งหมด 43 แห่ง (ข้อมูล ณ ปี พ.ศ. 2561) ในจำนวนดังกล่าวมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลเพียง 2 แห่ง คือ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นสถานที่กำจัดขยะหลักของเทศบาล และพื้นที่ศูนย์จัดการขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสตึก ส่วนสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่เหลือ พบว่ามีการดำเนินการในลักษณะเทกอง เผา และไถกลบ เป็นครั้งคราว เช่น เทศบาลตำบลกระสัง เป็นต้น นอกจากนี้ในพื้นที่ที่มีชุมชนคัดแยกและทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ อำเภอพุทไธสง บริเวณตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ พบว่าสายไฟมักถูกนำไปเผาในพื้นที่ของบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำทองแดงกลับไปใช้ใหม่ ขยะที่มีการจัดการแบบไม่ถูกหลักสุขาภิบาลเหล่านี้ ก่อให้เกิดสารพิษในอากาศหลายชนิดที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนและปนเปื้อนตกค้างในสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ศึกษาการปนเปื้อนสารปรอท VOCs และ PAHs จากขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชนในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นของจังหวัดบุรีรัมย์มีความรู้ความเข้าใจและสามารถนำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการศึกษานี้ไปใช้ในการสร้างความตระหนักให้แก่ท้องถิ่นในการบริหารจัดการแหล่งทิ้งขยะชุมชนและแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความเหมาะสมไม่เป็นอันตรายต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนนำไปสู่การขับเคลื่อนเชิงนโยบายการจัดการขยะอย่างถูกวิธีของจังหวัดบุรีรัมย์

2. วิธีวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการสำรวจและเลือกพื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ทั่วไป แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และชุมชน โดยรอบ แหล่งทิ้งขยะชุมชนที่มีการจัดการแบบถูกหลักสุขาภิบาลและแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา และพื้นที่ชุมชนอยู่อาศัยเหนือลมและใต้ลมของแหล่งทิ้งขยะ ดังแสดงในรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 พื้นที่ทั่วไป เป็นพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชน ในการศึกษาจะใช้เป็นพื้นที่ Background เพื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีผลกระทบจากแหล่งทิ้งขยะ โดยเลือกเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่หน้าสำนักงานเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมในเมืองและชุมชน โดยทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศในระหว่าง วันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 5 มีนาคม 2562

2.1.2 แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ เลือกพื้นที่บ่อขยะที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ มีลักษณะเป็นที่รกร้าง เป็นบ่อที่มีการนำขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มาเทกอง ได้แก่ จอโทรทัศน์ CRT โคมตู้เย็น แผงวงจร สายไฟหลายๆ ประเภท เป็นจำนวนมาก และมีการเผาโดยเฉพาะสายไฟเส้นเล็กเพื่อแยกทองแดงไปขาย สำหรับแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์นี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณบ่อทิ้งขยะและชุมชนโดยรอบ ช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศนั้น เป็นช่วงที่ลมส่วนใหญ่พัดมาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นชุมชนโดยรอบที่อยู่ใกล้แหล่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ ชุมชน A B และ C จะอยู่เหนือลมและห่างจากแหล่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นระยะทาง 1.5, 1.1 และ 1.0 กิโลเมตร ตามลำดับ

สำหรับชุมชนที่ประกอบอาชีพคัดแยกชิ้นส่วนขยะนั้น ได้แก่ D และ E ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพรีไซเคิล ถอดออก แยกชิ้นส่วน และเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ แยกชิ้นส่วนมอเตอร์ และอะไหล่ของเครื่องจักรโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศ ในระหว่างวันที่ 14 - 20 ธันวาคม 2561

2.1.3 แหล่งทิ้งขยะชุมชน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

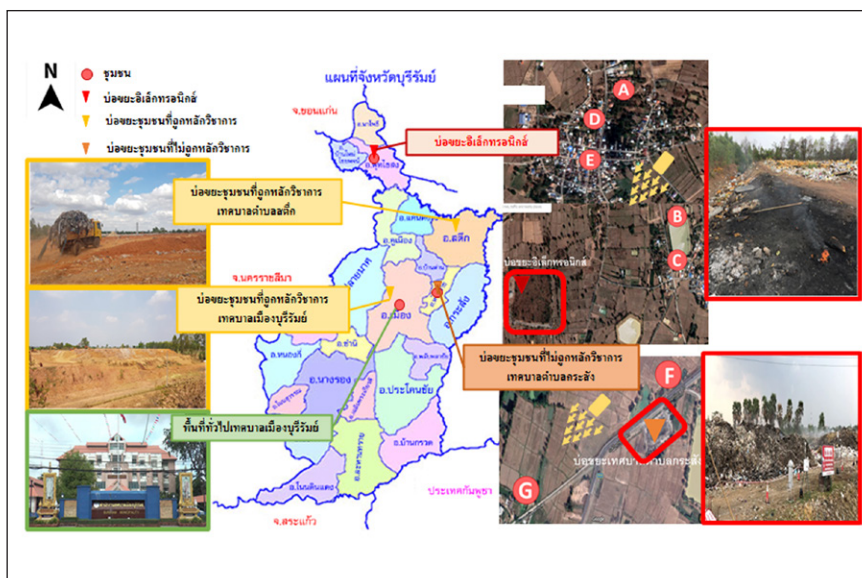
(1) แหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) คือการฝังกลบมูลฝอยตามหลักวิศวกรรม ที่มีการควบคุมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นด้านสุขภาพอนามัย สิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้ทำการสำรวจและเลือกพื้นที่แหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบถูกหลักวิชาการ 2 แห่ง ได้แก่

- สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ใหญ่ที่สุดในเมืองบุรีรัมย์สามารถเก็บขนขยะมูลฝอยไปกำจัดมีปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งสิ้น ประมาณ 107 ตันต่อวัน องค์ประกอบของมูลฝอยส่วนใหญ่ เป็นเศษอาหาร เศษผัก 59% พลาสติก 18% กระดาษ 19% และขยะประเภทชีวมวลและโลหะประมาณ 4% ทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศในระหว่างวันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 5 มีนาคม 2562

- พื้นที่ศูนย์จัดการขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสตึก มีปริมาณขยะที่นำมาฝังกลบในระบบฯ จำนวน 35 ตันต่อวัน รวมทั้งมีการคัดแยกประเภทของขยะเพื่อนำไปรีไซเคิลและเพิ่มมูลค่าให้ขยะ และนำขยะที่คัดแยกประเภทขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้และขยะทั่วไปไปฝังกลบที่บ่อฝังกลบขยะมูลฝอย องค์ประกอบมูลฝอยที่คัดแยกได้แบ่งเป็น ขยะมูลฝอยฝังกลบ 55% ขยะอินทรีย์/ปุ๋ยหมัก 39% ขยะรีไซเคิล 2 - 3% และน้ำ 3 - 5%⁴ ทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศในระหว่างวันที่ 12 - 18 ธันวาคม 2562

(2) แหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา 1 แห่ง

- บ่อขยะเทศบาลตำบลกระสัง เป็นแหล่งทิ้งขยะแบบมีการดำเนินการในลักษณะเทกองและเผา มีไฟคุกรุ่นอยู่ตลอด บ่อขยะเทศบาลตำบลกระสังมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น 15.44 ตัน/วัน มีปริมาณขยะมูลฝอยที่กำลังไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล 6.2 ตัน/วัน⁵ การศึกษานี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้บ่อขยะเทศบาลตำบลกระสัง เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อชุมชน ซึ่งช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศนั้นเป็นช่วงที่ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น ชุมชน F จะอยู่เหนือลมของบ่อขยะ ส่วนชุมชน G จะอยู่ใต้ลมของบ่อขยะ โดยทำการเก็บตัวอย่างสารพิษในอากาศ ในระหว่างวันที่ 27 กุมภาพันธ์ - 5 มีนาคม 2562



รูปที่ 1 แสดงสถานที่เก็บตัวอย่าง พื้นที่ทั่วไป แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ และแหล่งทิ้งขยะชุมชน ในพื้นที่ศึกษา

2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดบุรีรัมย์ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุม 2 ชนิดที่พัดประจำฤดูกาล คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาว และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงฤดูฝน ฤดูกาลของจังหวัดบุรีรัมย์พิจารณาตามลักษณะของลมฟ้าอากาศของประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้ เป็น 3 ฤดู ดังนี้ ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, ข้อมูลสภาพอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ภูมิอากาศจังหวัดบุรีรัมย์)

2.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างสารปรอท VOCs และ PAHs

2.3.1 การเก็บตัวอย่างสารปรอทในอากาศ เป็นการเก็บตัวอย่างปรอทในรูปปรอททั้งหมด โดยใช้วิธีมาตรฐาน US.EPA. Method IO-5 เก็บตัวอย่างครั้งละ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาต่อเนื่องนาน 7 วัน และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mercury analyzer โดยใช้เทคนิค Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry

2.3.2 การเก็บตัวอย่างสารปรอทในฝุ่น ประกอบด้วย ป้อนอากาศ เครื่องวัดปริมาณอากาศ และหัวกรองอากาศ (Filter holder) สำหรับใส่กระดาษกรองเพื่อเก็บฝุ่น ชนิด Quartz filter เก็บตัวอย่างด้วยอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างครั้งละ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาต่อเนื่องนาน 7 วัน และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mercury analyzer โดยใช้เทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectroscopy (CVAAS)

2.3.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างสาร VOCs ใช้วิธี US EPA Compendium Method TO-15 : Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) / Preconcentrator-GC/MS โดยใช้ถังเก็บตัวอย่างอากาศขนาด 6 ลิตร เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Flow controller) ในการควบคุมอัตราการไหลเข้าของตัวอย่างอากาศ และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Preconcentrator-GCMS

2.3.4 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างสาร PAHs ในอากาศ เป็นการเก็บตัวอย่างในรูปของฝุ่นละออง (Particulate Phase) และในรูปของก๊าซ (Gas Phase) อ้างอิงตามวิธี US EPA Compendium Method TO-13A “Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air” เก็บตัวอย่างด้วยหลอดเก็บตัวอย่าง PAHs ที่บรรจุด้วย Polyurethane Foam และ XAD2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ปั๊มดูดอากาศด้วยอัตราการไหลประมาณ 16.67 ลิตรต่อนาที สำหรับการเก็บตัวอย่าง PAHs ในฝุ่นละออง ใช้กระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 2 ไมโครเมตร และนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่มี detector แบบ UV detector และ Fluorescence detector

3. ผลการวิจัย

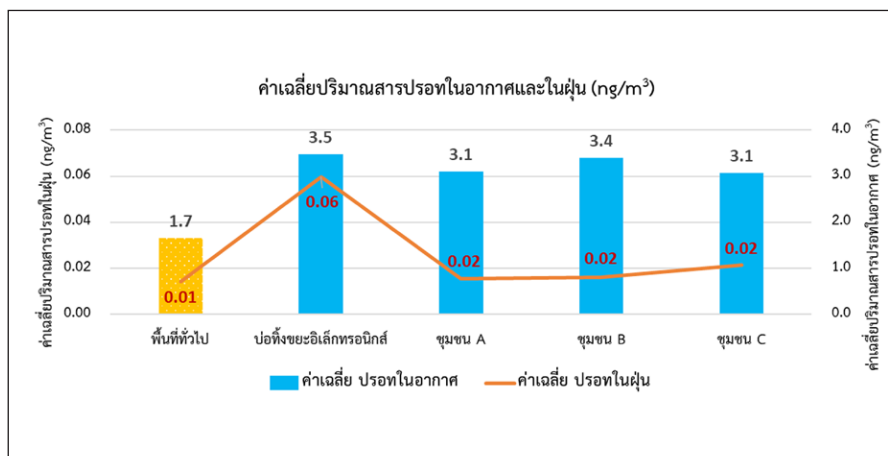
3.1 พื้นที่ทำไป เป็นพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งทิ้งขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Background)

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 7 วัน ของปริมาณสารปรอทในอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.7 ng/m^3 และสารปรอทในฝุ่น มีค่าเท่ากับ 0.01 ng/m^3 สำหรับ VOCs ในอากาศ พบปริมาณสาร Benzene และ Acetaldehyde มีค่าเท่ากับ 1.0 และ 17 ppbv ตามลำดับ

3.2 ศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษในอากาศบริเวณแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดบุรีรัมย์

(1) สารปรอทในอากาศและในฝุ่น

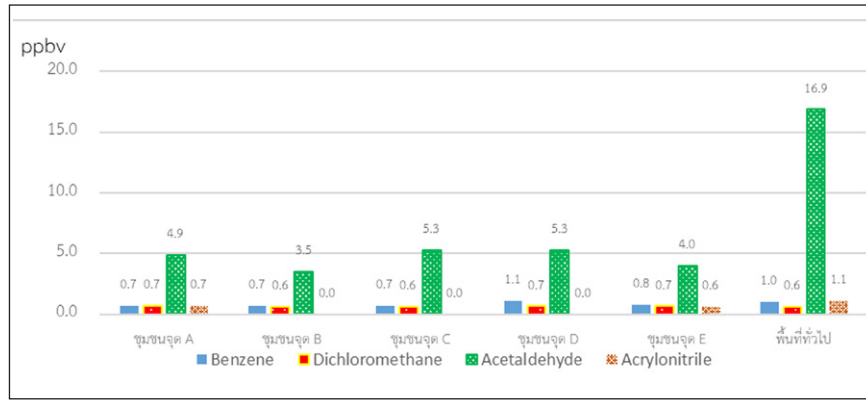
ผลการศึกษการเก็บตัวอย่าง 7 วัน ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในอากาศและฝุ่นบริเวณแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเผาเป็นครั้งคราว พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในอากาศ มีค่าสูงเท่ากับ 3.5 ng/m^3 สำหรับชุมชนโดยรอบแหล่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ บริเวณชุมชน B มีค่าเท่ากับ 3.4 ng/m^3 สำหรับชุมชน A และ C มีค่าเท่ากับ 3.1 ng/m^3 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในฝุ่นบริเวณแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.06 ng/m^3 และบริเวณชุมชน A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.02 ng/m^3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในอากาศและฝุ่นบริเวณแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ กับพื้นที่ทั่วไปที่เป็นตัวแทนพื้นที่ที่มีกิจกรรมในเมืองและชุมชน มีค่าเท่ากับ 1.7 และ 0.01 ng/m^3 พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในอากาศบริเวณแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงกว่าพื้นที่ทั่วไป ประมาณ 2 เท่า ดังรูปที่ 2 การศึกษาชี้ให้เห็นว่าไม่ควรมีการเผาขยะในที่โล่งโดยเฉพาะขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสารอันตรายเป็นองค์ประกอบรวมถึงสารปรอท และควรมีการจัดเก็บและกำจัดขยะอันตรายอย่างถูกหลักสุขาภิบาลเพื่อลดการปนเปื้อนในพื้นที่



รูปที่ 2 ปริมาณสารปรอทในอากาศและในฝุ่น บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดบุรีรัมย์

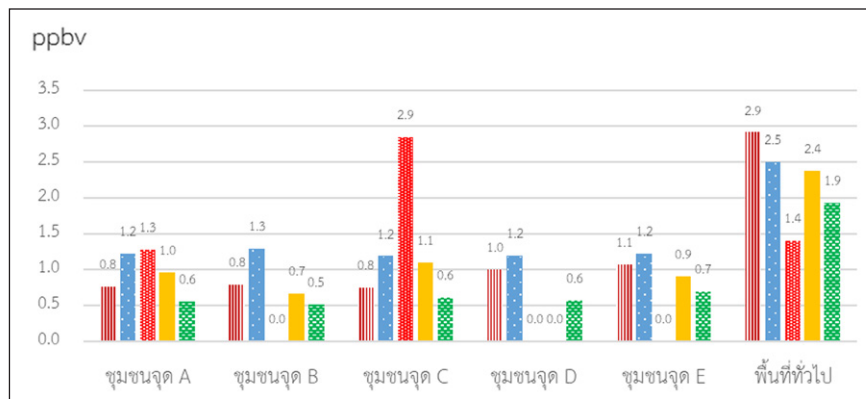
(2) VOCs ในอากาศ

ผลการศึกษการเก็บตัวอย่าง 7 วันของสาร VOCs กลุ่มสารก่อมะเร็งและไม่ก่อมะเร็งในอากาศในพื้นที่เหนือลมและบริเวณใกล้เคียงบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 จุด ได้แก่ ชุมชน A, B, C, D และชุมชน E พบสารกลุ่ม VOCs ก่อมะเร็งจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Benzene มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.70 - 1.1 ppbv Dichloromethane มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.60 - 0.70 ppbv Acetaldehyde มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 3.5 - 5.3 ppbv และ Acrylonitrile มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง $0.50-0.70 \text{ ppbv}$ โดยทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ 24 ชั่วโมงของประเทศไทย ซึ่งให้เห็นว่าสารดังกล่าวยังไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพอนามัยของชุมชนในพื้นที่ (ค่าเฝ้าระวังสาร Benzene สำหรับ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 2.4 ppbv ค่าเฝ้าระวังสาร Dichloromethane สำหรับ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 60.5 ppbv ค่าเฝ้าระวังสาร Acetaldehyde สำหรับ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 477.9 ppbv ค่าเฝ้าระวังสาร Acrylonitrile สำหรับ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 4.6 ppbv)⁶ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความเข้มข้นของ VOCs กลุ่มสารก่อมะเร็งบริเวณพื้นที่ศึกษา จังหวัดบุรีรัมย์

กลุ่มสาร VOCs ไม่ก่อมะเร็ง ที่พบในบริเวณใกล้เคียงบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Propene ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.80 - 1.1 ppbv Chloromethane ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.2 - 1.3 ppbv Acrolein ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง <0.50 - 2.9 ppbv Carbon Disulfide ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง <0.50 - 1.1 ppbv และ Toluene ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.50 - 0.7 ppbv และพบว่าสาร Acrolein มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงมากที่ชุมชน C เท่ากับ 2.9 ppbv ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังสำหรับ 24 ชั่วโมง ประมาณ 12 เท่า (ค่าเฝ้าระวังสาร Acrolein สำหรับ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.24 ppbv)⁶ ดังรูปที่ 4

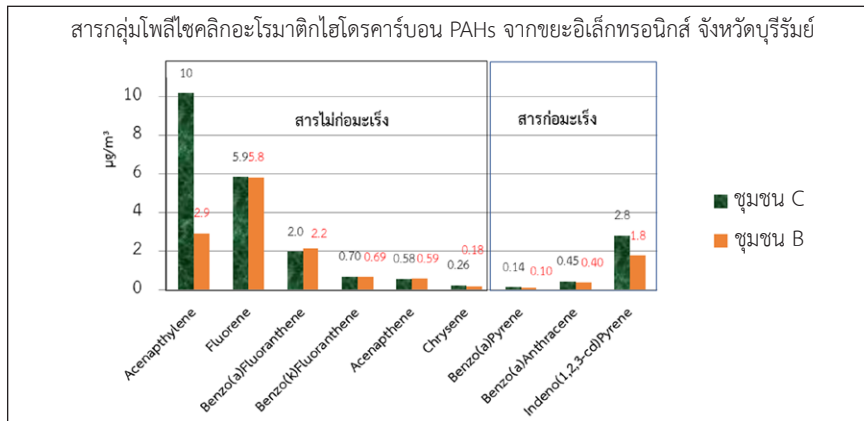


รูปที่ 4 ความเข้มข้นของ VOCs กลุ่มไม่ก่อมะเร็งบริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดบุรีรัมย์

(3) PAHs ในอากาศ

ผลการศึกษาการเก็บตัวอย่าง 7 วัน ของสาร PAHs ในอากาศ ทำการเก็บตัวอย่างจากชุมชนโดยรอบแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 จุด ได้แก่ ชุมชน B และ C พบสาร PAHs จำนวน 9 ชนิด ซึ่งมีสาร PAHs จำนวน 3 ชนิด ที่ทาง International Agency for Research on Cancer (IARC) ระบุว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในคน ได้แก่ Indeno(1,2,3-cd)Pyrene มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย $1.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Benzo(a)Pyrene $0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ Benzo(a)Anthracene $0.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ทั้งนี้ จากการศึกษาของ IARC การก่อมะเร็งสามารถสรุปได้ดังนี้ Benzo(a)Pyrene มีพิษเท่ากับ Benzo(a)Anthracene และมากกว่า Indeno(1,2,3-cd)Pyrene หรือ BaP = BaA > IP ในส่วนของ PAHs ที่ชุมชน C พบกลุ่มสาร PAHs ไม่ก่อมะเร็ง จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Acenaphthylene ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย $10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Fluorene $5.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Benzo(a)Fluoranthene $2.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Acenaphthene $0.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Benzo (k) Fluoranthene $0.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ Chrysene $0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เช่นเดียวกันกับชุมชน B พบสาร PAHs จำนวน 6 ชนิด และความเข้มข้น Acenaphthylene ที่ชุมชน C มีความเข้มข้นสูงกว่าชุมชน B ประมาณ 3.4 เท่า

โดย Acenaphthylene พบได้จากกระบวนการเผาขยะ การเผายางรถยนต์ การเผาโฟม (Polystyrene) การเผาหญ้า ใบไม้ และกิ่งไม้ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้พบที่ชุมชน C ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเข้มข้นของสาร PAHs บริเวณพื้นที่ศึกษา จังหวัดบุรีรัมย์

3.3 ศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษในอากาศบริเวณแหล่งทิ้งขยะชุมชน จังหวัดบุรีรัมย์

ผลจากการตรวจวัดสารปรอท VOCs และ PAHs ในอากาศจากแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล ทั้ง 2 แห่ง และแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา บริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงกับแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารพิษในอากาศเฉลี่ย 7 วัน จากพื้นที่ขยะชุมชน

ชนิดของสารพิษ	พื้นที่ทั่วไป เป็นพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ และขยะชุมชน	แหล่งทิ้งขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาล		แหล่งทิ้งขยะแบบเทกองและแบบเผา	ชุมชนใกล้แหล่งทิ้งขยะแบบเทกองและเผา	
		แหล่งทิ้งขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาล	ชุมชนใกล้แหล่งทิ้งขยะแบบเทกองและเผา		ชุมชน F (เหนือลม)	ชุมชน G (ใต้ลม)
สารปรอทในอากาศ (ng/m³)	1.7	1.8	2.7	14.2	1.8	2.2
สารปรอทในฝุ่น (ng/m³)	0.01	0.02	0.03	0.13	0.01	-
สาร VOCs (ppbv)						
- Benzene	1.0	0.70	0.81	59	1.1	-
- Acetaldehyde	17	14	4.1	85	17	-
สาร PAHs (ug/m³)	-				-	-
Naphthalene		ND	18.4	61		
Fluoranthene		8.66	ND	297		
Fluorene		ND	ND	297		
Phenanthrene		ND	ND	87		
Benzo(a)Anthracene		ND	ND	16.3		
Chrysene		ND	ND	24.6		
Benzo(ghi)Perylene		ND	ND	3.25		

ND (Not Detected) : Chrysene และ Benzo(a)Pyrene ≤ 1.0 µg/L

: Naphthalene, Fluoranthene, Fluorene, Phenanthrene, Benzo(a)Anthracene และ Benzo(ghi)Perylene ≤ 5.0 µg/L

- : ไม่ได้ทำการตรวจวัด



จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าสารพิษในอากาศจากการปนเปื้อนสารปรอท VOCs และ PAHs ในอากาศ บริเวณแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา พบสารมลพิษในอากาศดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยสูงหลายเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศบริเวณแหล่งทิ้งขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาลทั้ง 2 แห่ง ได้แก่ สารปรอท ในอากาศและในฝุ่น พบสูงกว่าแหล่งทิ้งขยะแบบฝังกลบ 7.8 และ 8.1 เท่า และสูงกว่าแหล่งทิ้งขยะแบบคัดแยก และฝังกลบ 5.3 และ 4.3 เท่า ตามลำดับ สารกลุ่ม VOCs ที่พบเด่น 2 ชนิด Benzene และ Acetaldehyde โดยมีความเข้มข้นของ Benzene ที่ตรวจพบเกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังสำหรับ 24 ชั่วโมง ประมาณ 25 เท่า (ค่าเฝ้าระวังสาร Benzene สำหรับ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 2.4 ppbv) พบสาร PAHs จากแหล่งทิ้งขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาล จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ Naphthalene และ Fluoranthene สำหรับแหล่งทิ้งขยะชุมชนแบบเทกองและเผา พบสาร PAHs จำนวน 7 ชนิด มีสารก่อมะเร็ง ได้แก่ Naphthalene, Benzo(a)Anthracene และ Chrysene รวมอยู่ด้วย อีกทั้งการเผายังส่งผลกระทบต่อชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงแหล่งทิ้งขยะที่พบการปนเปื้อนสารปรอทบริเวณชุมชน G ซึ่งเป็นชุมชนที่อยู่ใต้ลมจากบ่อขยะ

4. วิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 วิจัย

4.1.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในอากาศและในฝุ่นบริเวณบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าสูงกว่า บริเวณพื้นที่ทั่วไป เช่น ชุมชนรอบๆ แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ พื้นที่ที่มีกิจกรรมในเมืองและชุมชนไม่มีแหล่งทิ้งขยะ ในพื้นที่ ชี้ให้เห็นว่าแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งที่มีการปลดปล่อยสารปรอทออกมาสู่สิ่งแวดล้อม จากการศึกษานี้ พบว่าสารปรอทในอากาศบริเวณบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ สารปรอทในอากาศอยู่ที่ 3.5 ng/m^3 สำหรับบริเวณชุมชนโดยรอบแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์มีความเข้มข้น เฉลี่ยสูงสุดที่ 3.4 ng/m^3 เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษาการแพร่กระจายในอากาศ และการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมของสารปรอทจากแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ปี 2561⁷ พบว่าการตรวจวัดปริมาณสารปรอทในอากาศในพื้นที่ชุมชนแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเผา ค่าบดแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีค่าสูงสุดที่ 21.1 ng/m^3 ทั้งนี้องค์การบริหาร ส่วนตำบลแดงใหญ่มีมาตรการไม่ให้มีการนำขยะมาทิ้งในพื้นที่แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และรณรงค์ห้ามให้มีการเผา ในบริเวณดังกล่าวทำให้มีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์และการเผาน้อยลงแต่ยังคงมีการเผาบ้างเป็นครั้งคราว รวมทั้ง มีการจัดทำข้อบัญญัติตำบลมีการจัดสถานที่เพื่อเตรียมรองรับเครื่องตัดสายไฟ เพื่อไม่ให้เกิดการเผาสายไฟในพื้นที่ ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของกลุ่มควันดำที่มีสารพิษอันตรายแพร่กระจายออกไปส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ การดำเนินการดังกล่าวส่งผลให้ความเข้มข้นของสารปรอทในอากาศลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าการเผา ขยะอิเล็กทรอนิกส์จะมีการปลดปล่อยปริมาณสารปรอทออกสู่บรรยากาศความเข้มข้นสูงกว่าขยะอิเล็กทรอนิกส์ ที่ไม่มีการเผา ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของสารปรอทนั้น สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งการวิจัยของ Peter Maxson⁸ และ Ministry of Agriculture, Regional Development and Environment of the Republic of Moldova⁹ ระบุว่าถ้ามีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์จะมีการปลดปล่อยปริมาณสารปรอทออกสู่บรรยากาศ ความเข้มข้นสูงกว่าขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีการเผาและสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ (e-waste) ในไถโจว ประเทศจีน ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอทในอากาศอยู่ที่ 30.7 ng/m^3 ซึ่งปริมาณ การปนเปื้อนของสารปรอทบริเวณบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดบุรีรัมย์ มีค่าต่ำกว่าของประเทศจีนถึง 8.7 เท่า¹⁰ การปนเปื้อนของสารปรอทในอากาศ พื้นที่แหล่งทิ้งขยะแบบเทกองและเผามีความเข้มข้น 14.2 ng/m^3 ซึ่งสูงกว่า แหล่งทิ้งขยะแบบฝังกลบ แหล่งทิ้งขยะคัดแยกและฝังกลบ ที่มีค่าเท่ากับ 1.8 และ 2.7 ng/m^3 แสดงให้เห็นว่า

การเผาขยะในที่โล่งทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทในอากาศในปริมาณสูงมากแต่คงมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารปรอทในอากาศกับสถานที่กำจัดขยะแบบฝังกลบของฟลอริดา ที่พบว่าค่าปริมาณสารปรอทในอากาศอยู่ที่ $52.4 \pm 15.6 \text{ ng/m}^3$ (D.A. de la Rosa และคณะ, 2005)¹¹ ดังนั้นเหตุสำคัญของการปล่อยสารปรอทจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ คือไม่คัดแยกขยะก่อนทิ้งและนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ จอ LCD โทรศัพทมือถือ แบตเตอรี่ หลอดไฟ ภาชนะบรรจุสารเคมี เป็นต้น เมื่อขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชนที่ถูกทิ้งแบบไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลในสิ่งแวดล้อม สารปรอทที่เป็นส่วนประกอบจะถูกปลดปล่อยออกมาตามคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของปรอท ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์และคุณภาพสิ่งแวดล้อม

4.1.2 การปนเปื้อนของสาร VOCs กลุ่มก่อมะเร็ง บริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงบ่อขยะอิเล็กทรอนิกส์และชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ Benzene Dichloromethane และ Acrylonitrile ชุมชน B และ C อยู่บริเวณใกล้เคียงกับบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ ชุมชน D และ E เป็นบ้านที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับเดียวกับพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นสาร Acetaldehyde ซึ่งความเข้มข้นสูงมากในพื้นที่ทั่วไป เนื่องจากตั้งอยู่ในเมืองและมีการจราจรหนาแน่น ซึ่งจากการวิจัยของ Thiago N. และคณะระบุว่า Acetaldehyde ที่พบในพื้นที่เมืองเกิดจากรถยนต์ที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม¹² และสาร Benzene Dichloromethane Acrylonitrile และ Acetaldehyde ส่วนการปนเปื้อนของสาร VOCs กลุ่มไม่ก่อมะเร็ง ดังรูปที่ 4 พบว่า Acrolein มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงมากที่ชุมชน C เท่ากับ 2.9 ppbv ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์ค่าเฝ้าระวังสำหรับ 24 ชั่วโมง ประมาณ 12 เท่า เป็นพื้นที่ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ และประชาชนในหมู่บ้านบางบ้านทำอาชีพ รื้อ คัดแยก และเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิงจากการศึกษาของ Hodgkin JH. และคณะ (1982)¹³ พบว่าสาร Acetaldehyde และ Acrolein เกิดจากการเผาพลาสติกชนิด polyethylene plastic และจากการศึกษาของ Ashish S. และคณะ พบว่าการเผาขยะมีสาร Acrolein สูงกว่าบรรยากาศทั่วไปหลายเท่า¹⁴ ดังนั้น Acrolein ที่มีความเข้มข้นสูงในชุมชน C สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเผาขยะที่มียางรถยนต์เป็นองค์ประกอบ ส่วนพื้นที่ทั่วไปพบสาร Propene, Chloromethane, Acrolein, Carbon Disulfide และ Toluene มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 2.9, 2.5, 1.4, 2.4 และ 1.9 ppbv ตามลำดับ ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บบริเวณใกล้เคียงบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างเห็นได้ชัด โดยพื้นที่ทั่วไปเป็นพื้นที่ในเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นและเป็นพื้นที่ไม่มีขยะ ดังนั้นสาร VOCs เหล่านี้ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกับคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในการตรวจวัดสาร VOCs ในพื้นที่เมือง จังหวัดนนทบุรีและจังหวัดปทุมธานี เพื่อประเมินการเกิดฝุ่นละอองทุติยภูมิ โดยมีความเข้มข้นของสารที่ก่อมะเร็ง ได้แก่ Benzene อยู่ในช่วง 0.5-2.2 ppbv ความเข้มข้นของสาร Dichloromethane อยู่ในช่วง 0.6-2.4 ppbv ความเข้มข้นของสาร Acrylonitrile อยู่ในช่วง 0.3-0.7 ppbv และความเข้มข้นของสาร Acetaldehyde อยู่ในช่วง 3.4-13 ppbv ทั้งนี้สาร VOCs ที่พบอยู่บริเวณใกล้เคียงบ่อทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ อาจมาจากการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์บางส่วนและการจราจรบางส่วน สำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ได้แก่ Propene อยู่ในช่วง 1.4-12 ppbv ความเข้มข้นของสาร Chloromethane อยู่ในช่วง 0.5 - 2.6 ppbv ความเข้มข้นของสาร Acrolein อยู่ในช่วง 0.4 - 5.0 ppbv และความเข้มข้นของสาร Toluene อยู่ในช่วง 1.3 - 11 ppbv

การปนเปื้อนของ Benzene ในอากาศที่เป็นกลุ่มสารก่อมะเร็ง ในพื้นที่แหล่งทิ้งขยะแบบเทกองและเผาที่พบมีค่าสูงกว่าพื้นที่แหล่งทิ้งขยะแบบฝังกลบ แหล่งทิ้งขยะคัดแยกและฝังกลบ และพื้นที่ทั่วไปที่มีกิจกรรมในเมืองและชุมชนซึ่งไม่มีแหล่งทิ้งขยะในพื้นที่ประมาณ 84 เท่า 73 เท่า และ 59 เท่า ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินค่าเฝ้าระวัง



ที่กำหนด คือ 2.4 ppbv ส่วน Acetaldehyde ในพื้นที่แหล่งทิ้งขยะแบบเทกองและเผาสูงกว่าแหล่งทิ้งขยะแบบฝังกลบประมาณ 6 เท่า สูงกว่าแหล่งทิ้งขยะคัดแยกและฝังกลบประมาณ 21 เท่า และสูงกว่าพื้นที่ทั่วไปที่มีกิจกรรมในเมืองและชุมชนไม่มีแหล่งทิ้งขยะในพื้นที่ประมาณ 5 เท่า ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งทิ้งขยะชุมชนที่มีการเทกองและเผาจะปล่อยสารดังกล่าวสู่สิ่งแวดล้อมสูงกว่าแหล่งทิ้งขยะแบบฝังกลบที่ถูกต้องหลักสุขภาพ

4.1.3 การปนเปื้อนของสาร PAHs ชุมชน C พบกลุ่มสาร PAHs ไม่ก่อมะเร็ง จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Acenaphthylene, Fluorene, Benzo(a)Fluoranthene, Acenaphthene, Benzo(k)Fluoranthene และ Chrysene และสาร PAHs ที่ก่อมะเร็ง จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ Benzo(a)Anthracene, Benzo(a)Pyrene และ Indeno(1,2,3-cd)Pyrene เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร PAHs สูงกว่าในตัวอย่างที่เก็บที่ชุมชน B อย่างไม่เห็นได้ชัด ซึ่งจากการศึกษาของ Fullana A. และคณะ (2000)¹⁵ และ Johansson I, van Bavel B; (2003)¹⁶ สาร PAHs เหล่านี้เกิดจากกระบวนการเผาขยะ การเผายางรถยนต์ การเผาโฟม (Polystyrene) การเผาหญ้า ใบไม้ และกิ่งไม้ เป็นต้น ซึ่งแหล่งกำเนิด PAHs เหล่านี้พบได้ในพื้นที่เก็บตัวอย่างชุมชน C และ ชุมชน B จากการสัมภาษณ์ประชาชนในชุมชน C ได้ทราบว่าในพื้นที่นี้มีประชาชนนำขยะอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดเข้ามาเพื่อรีไซเคิลแยกออกและเผาเพื่อนำทองแดงไปขายเป็นจำนวนมากทำให้เกิดสาร PAHs จากการเผา ซึ่งการกระทำเช่นนี้ จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่เนื่องจากสาร PAHs แม้เป็นสารที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ แต่พบความเป็นพิษเรื้อรังในคน ดังนั้นการได้รับสาร PAHs อย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่างๆ ของร่างกายได้ เนื่องจากสาร PAHs จะเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและรวดเร็ว ทั้งโดยการหายใจ การรับประทานอาหาร และดื่มน้ำที่มีอนุภาค PAHs เจือปนก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่อวัยวะหลายแห่ง เช่น ปอด ระบบหัวใจ และหลอดเลือด ระบบสมอง กระเพาะอาหาร หลอดอาหาร ผิวหนัง เป็นต้น ในส่วนของชุมชน B ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียงกับแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบสาร PAHs จำนวน 9 ชนิดเช่นกันแต่ความเข้มข้นต่ำกว่าชุมชน C เนื่องจากพื้นที่นี้อยู่ในทุ่งนามีลมพัดตลอดเวลา และมีประชาชนที่ทำอาชีพเป็นเกษตรกรเท่านั้น อย่างไรก็ตามการได้รับสาร PAHs จำนวน 9 ชนิด เข้าสู่ร่างกายตลอดเวลาที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพเช่นกัน

สรุปผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การศึกษาการปนเปื้อนสารพิษในอากาศเป็นข้อมูลในการประเมินมลพิษที่เกิดขึ้นที่อาจส่งผลกระทบต่อประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม และชี้ให้เห็นว่าไม่ควรมีการเผาขยะในที่โล่ง ปริมาณสารพิษในอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผามีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณสารพิษที่ระเหยออกมาจากขยะเป็นปริมาณมาก สารพิษแต่ละชนิดที่ปลดปล่อยออกมานั้นส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พิษของปรอทมีตั้งแต่ขั้นเล็กน้อยจนถึงรุนแรง โดยอาจทำให้เกิดอาการใจสั่น นอนไม่หลับ ปวดศีรษะ สายตาพร่ามัว เดินเซ พูดจาไม่ชัด อ่อนเพลีย และอาจทำลายระบบประสาท ส่งผลต่อการเรียนรู้ กระบวนการคิด ความจำ สมาธิ และการสื่อสาร หากร่างกายได้รับปรอทสะสมในปริมาณสูงจะส่งผลต่อไต ระบบการหายใจและอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ สาร VOCs ส่งผลกระทบต่อผิวหนัง ทำให้เกิดระคายเคืองที่ผิวหนัง ทำให้ผิวหนังร้อนแดง บวม แห้ง ผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ปวดหัว คลื่นเหียน อาเจียน เพลีย ง่วงงุน เคลิบเคลิ้ม อ่อนเพลีย ง่วงขาดสติ และตายได้ สาร VOCs บางชนิดจัดเป็นสารก่อมะเร็งเมื่อได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานานๆ หรือได้รับสารนั้นๆ แบบเรื้อรังมากกว่า 1 ปี อาจทำให้เป็นโรคมะเร็งได้ และสาร PAHs หลายชนิดจัดเป็นสารก่อมะเร็งหรือมีความน่าจะเป็นที่ทำให้ก่อเกิดมะเร็ง สาร PAHs ที่เกิดในสภาพที่สมบูรณ์จะปรากฏอยู่ในอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กเป็นหลัก ดังนั้นการจัดการแหล่งทิ้งขยะชุมชนควรต้องมีการจัดการให้ถูกต้องตามหลักสุขภาพ จะทำให้มีการปล่อยสารพิษที่ต่ำ ลดการปนเปื้อนของสารพิษดังกล่าวและส่งผลกระทบต่อคนและสิ่งแวดล้อมลดน้อยลง

4.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการปนเปื้อนสารปรอท VOCs และ PAHs จากขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชนในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์แสดงให้เห็นเป็นที่ประจักษ์แล้วว่า การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะชุมชนที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดสารพิษในอากาศแพร่กระจายออกไปปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ดังนั้นจึงขอเสนอแนะแนวทางการจัดการขยะในพื้นที่ ดังนี้

1. จังหวัดบุรีรัมย์ควรจัดให้มีแหล่งฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาลเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณขยะในแต่ละท้องถิ่นได้อย่างครอบคลุม
2. ขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันจึงก่อให้เกิดสารพิษทางอากาศที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจัดการขยะที่ต้นทางจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์/ขยะอันตราย ออกจากขยะชุมชนอย่างเด็ดขาด เพื่อให้การจัดการที่ปลายทางเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกหลักสุขาภิบาล
3. การให้ความรู้ความเข้าใจกับชุมชนในเรื่องของสารพิษทางอากาศจากแหล่งทิ้งขยะที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนทั้งในระยะสั้นและระยะยาวจะสามารถสร้างกระบวนการจัดการขยะแบบมีส่วนร่วมได้เป็นอย่างดี
4. หน่วยงานในพื้นที่ควรมีแนวทางการปฏิบัติ มาตรการ เพื่อให้การบริหารจัดการขยะตามหลักสุขาภิบาลมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงกระบวนการคัดแยกขยะให้ถูกวิธีตั้งแต่ต้นทางเพื่อลดกระบวนการในการกำจัดขยะและลดปริมาณมลพิษจากการทิ้งขยะไม่ถูกหลักสุขาภิบาลในพื้นที่แหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์และแหล่งทิ้งขยะชุมชน
5. หน่วยงานในพื้นที่ควรมีการกำหนดพื้นที่การคัดแยกขยะเป็นสัดส่วนชัดเจน การแนะนำเสริมสร้างองค์ความรู้ให้กับชุมชนในการคัดแยกขยะอย่างถูกวิธีเพื่อลดมลพิษตั้งแต่ต้นทาง มีการร่วมมือประสานงานระหว่างหน่วยงานในพื้นที่กับชุมชนในการเฝ้าระวังการลักลอบเผาขยะในที่โล่ง

กิตติกรรมประกาศ

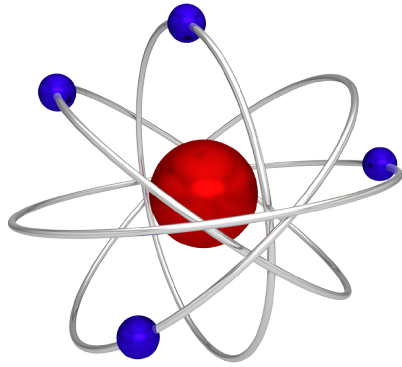
คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ว่าราชการจังหวัดบุรีรัมย์ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ เทศบาลตำบลกระสัง องค์การบริหารส่วนตำบลแดงใหญ่ ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ ข้อมูลเป็นผู้ร่วมวิจัยและให้คำแนะนำอันมีค่าสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ทำให้การศึกษานี้บรรลุวัตถุประสงค์โดยสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ. 2559 - 2564). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2559.
2. กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในชุมชนของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2561.
3. กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2556. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 130, ตอนพิเศษ 215 ง (ลงวันที่ 27 กันยายน 2556).
4. สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 (นครราชสีมา). รายงานการสำรวจและประเมินระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนและระบบกำจัดขยะมูลฝอยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560. นครราชสีมา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 (นครราชสีมา); 2561.
5. กรมควบคุมมลพิษ. ระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2562 [เข้าถึงเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://thaimsw.pcd.go.th/index.php?keyword=&filter%5B%5D=1&filter%5B%5D=2&province=31&year=2562>



6. กรมควบคุมมลพิษ. ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ โดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 ตอนพิเศษ 13 ง (ลงวันที่ 27 มกราคม 2552).
7. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. กลุ่มอากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การศึกษาการแพร่กระจายในอากาศและการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมของสารปรอท จากแหล่งทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี: กลุ่มอากาศ เสียงและความสั่นสะเทือน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรม ด้านสิ่งแวดล้อม; 2561.
8. Maxson P. Mercury Rising Reducing Global Emissions from Burning Mercury-Added Products: Mercury Policy Project. n.p.: n.p; 2009.
9. Ministry of Agriculture. Regional Development and Environment of the Republic of Moldova. Mercury Release from Open Burning in the Republic of Moldova: Level 2. n.p.: Ministry of Agriculture; 2018.
10. Tang W, Cheng J, Zhao W, Wang W. Mercury levels and estimated total daily intakes for children and adults from an electronic waste recycling area in Taizhou, China: Key role of rice and fish consumption. *J Environ Sci.* 2015 Aug; 34(1):107-15.
11. De la Rosa DA, Velasco A, Rosas A, Volke-Sepúlveda T. Total gaseous mercury and volatile organic compounds measurements at five municipal solid waste disposal sites surrounding the Mexico City Metropolitan Area. *Atmos Environ.* 2006; 40(12):2079-88.
12. Nogueira T, Dominutti PA, De Carvalho LRF, Fornaro A, Andrade MDF. Formaldehyde and acetaldehyde measurements in urban atmosphere impacted by the use of ethanol biofuel: Metropolitan Area of Sao Paulo (MASP), 2012-2013. *Fuel.* 2014 Oct; 15(134):505-13.
13. Hodgkin JH, Gilbraith MN, Chong YK. Combustion Products of Burning Polyethylene. *J Macromol Sci A.* 1982; 17:35-44.
14. Singh A, Spak SN, Stone EA, Downard J, Bullard R, Pooley M, et al. Uncontrolled Combustion of Shredded tires in a landfill-Part2: Population exposure, Public Health Response, and an Air Quality Index for Urban Fires, *Atmos Environ.* 2015; 104:273-83.
15. Fullana A, Font R, Conesa JA, Blasco P. Evolution of Products in the Combustion of Scrap Tires in a Horizontal, Laboratory Scale Reactor. *Environ Sci Technol.* 2000; 34(11):2092-99.
16. Johansson I, van Bavel B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in weathered bottom ash from incineration of municipal solid waste. *Chemosphere.* 2003; 3(2):123-28.





จัดทำโดย

งานสื่อสารงานวิจัย ฝ่ายบริหารทั่วไป

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ส่วนกลาง : 02-5771136-7, 02-5774182-9

โทรสาร : 02-5771138, 02-5774189

E-mail : ertc.help@gmail.com

www.ertc.deqp.go.th

จัดพิมพ์โดย

บริษัท พี เอ็น เค แอนด์ สกายพริ้นตังส์ จำกัด

เลขที่ 5 ซอยมาเจริญ 1 แยก 1 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ : 02-812-1484, 02-075-2889 โทรสาร : 02-812-1166 E-mail : pnkprinting@yahoo.com



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (ศวฝ.) กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (สส.)

เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0 2577 4182-9 โทรสาร 0 2577 1138

Environmental Research and Training Center (ERTC)

Department of Environmental Quality Promotion (DEQP)

Technopolis, Tumbon Khlong 5, Amphoe Khlong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

Tel. 66 2577 4182-9 Fax. 66 2577 1138

www.deqp.go.th

