



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565

Vol. 17 No.1 January – June 2022

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ISSN : 1905-4963 (Print)

ISSN : 2672-9296 (Online)

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.เป็รื่อง กิจรัตน์ภร

อธิการบดี

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ มากุล

รองอธิการบดี

ดร.วฤชา ประจักษ์ดี

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์วราวุธ ยอดจันทร์

คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.เรณูมาศ มาอุ่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สัลยุทธ์ สว่างวรรณ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วนิชาชีวะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองศาสตราจารย์ ดร.มนทลี ศาสนนันท์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วศิน เลิศวัฒนารักษ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.อรธพล แก้ววิลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดา มัทธูรศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติติก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมคิด สุทธิธารวัช

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิน สุภวาลย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารวัช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลีมีงสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี สักการเวช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสุระ อังกุลานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ฤกษ์เกษม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ขาญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.กิตติพงษ์ เยาวาจา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.เมธินี รัตติสาร	กรมสอบสวนคดีพิเศษ
อาจารย์ ดร.วรวิดี สุขัยยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.อริยา รัตนพิทยาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.อัยยวัฒน์ จิตรโรจนรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขานุการ

อาจารย์ ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
----------------------------------	-------------------------

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสุปราณี ขมจุมจัง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
------------------------	---

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางเดือนเพ็ญ สุขทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวมัทนา เกตุโพธิ์ทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวฐามลารรณ หินกล้า	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวศุภราพร เกตุกลม	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวทัศนีย์ ปันทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายรัชตะ อนุวัชกุล	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายจักรพันธ์ ก้อนมณี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาววรารภรณ์ แสงสุริศรี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวบุษราภรณ์ สอนปัญญา	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวธนพร ชนาธิปภรณ์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายวิวัช หล่อศรีจันทร์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ติดต่อกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนา ชั้น 4 อาคารเบญจมาภรณ์ (อาคาร 13) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 โทรศัพท์ / โทรสาร 0-2544-8629 Email: PRRJ_Scitech@pnru.ac.th

กำหนดตีพิมพ์

2 ฉบับ ต่อปี (มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม)

การเผยแพร่

ผู้ที่สนใจสามารถค้นหาที่ http://PRRJ_Scitech@pnru.ac.th/ และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/user

พิมพ์ที่

พจน. ประยูรสาส์นไทย การพิมพ์ : เลขที่ 44/132 ถ.ก้านน้มน้ำ แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กทม. 10150
โทรศัพท์ : 0 - 2802 - 0377, 0 - 2802 - 0379, 08 - 1566 - 2540

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565 ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการและการวิจัยของคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้มีบทความเกี่ยวกับศาสตร์ทางด้าน เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ทุกเรื่องมีความน่าสนใจและเป็นประโยชน์กับผู้อ่านหลากหลายสาขาอย่างมาก นอกจากนี้ทุกบทความยังได้ผ่านการกลั่นกรองอย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้น ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจต่อไป

การจัดทำวารสารฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่งจากผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ ตลอดจนบุคคลท่านอื่น ๆ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
บรรณาธิการวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรภัทร ศรีจันทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ โพธิ์ปัทม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ทินพันธุ์ เนตรแพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หฤทัย นำประเสริฐชัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสริมพงศ์ สายรัมย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย สุ่มประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ใจเย็น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติติก	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท คูศิริรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณทิพย์ กาหยี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญญารัช ชาลีผาย	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑารัตน์ เสรีวัตร	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณะ กันอ่ำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาพร วิสูงเร	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ดร.วิชญา รงค์สยามานนท์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ภูมิศร์ ทับทิมแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.ธายุกร พระบำรุง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.ปพิชญา ศรีเทพ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.นุชรรัตน์ นุชประยูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.อโณทัย ผาสูก	โรงพยาบาลบางละมุง

สารบัญ

หน้า

บทบรรณาธิการ	ก
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ	ข
สารบัญ	ค

บทความวิจัย

- ชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในสำนักงานกรณีศึกษา
สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว
วินัย มีแสง และ นวภัทร นวกะคาม..... 1
- สมการไดโอแฟนไทน์ $n^x - n^y = z^2$ และ $2^x - p^y = z^2$
สุชน ตาดี และ นภาลัย เหล่ามะลอ..... 10
- การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้
แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน
นันทดา จินจำรัส พวงทิพย์ ชัยพิบาลสุชัย และ จินตนา อาจลั่นทัย..... 17
- การตรวจสอบบุคคลในชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีชีวมิติการจดจำใบหน้า บนแพลตฟอร์มราสเบอร์รี่พาย
ปณณรัตน์ วงศ์พัฒนานิภาส และ เศรษฐพงศ์ วงษ์อินทร์..... 30
- การตรวจเอกลักษณ์ทางเภสัชเวชและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรว่านนางคำ
นฤมล วิถีธรรมศักดิ์ นพวรรณ พรศิริ และ กุลภัสร์ โภชนกุล..... 48
- การระบุชนิดของยีสต์ที่คัดแยกได้จากป่าเขาพลวงตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบ
ลำดับนิวคลีโอไทด์ในบริเวณ ITS และ D1/D02
เปรมิกา ขำวีระ ญัฐวดี บำรุง และ สิริลักษณ์ พุกมาก..... 61
- สถานการณ์และองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน กรณีศึกษา เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย
อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ
ธัญญา หนังสือ กำพล นันทพงษ์ และ บุษราคัม จิตานูวัฒน์..... 75
- การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำลายสีฟัรณยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ
สุภัสสร ฉิมเคิด วรากร โคมโสภา ธรรมรักษ์ ศรีมารุต อรัญ ขวัญปาน
ณัฐพร อารีรัชกุล และ รุจิพรรณ แผงจินดา..... 87

ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ.....	104
ขั้นตอนการพิจารณาบทความ.....	108
รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์.....	109
จริยธรรมในการตีพิมพ์.....	114

ชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลัก
ในสำนักงานกรณีศึกษา สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว

TYPE AND QUANTITY OF BACTERIA IN AIR FROM THE MAIN SERVICE ACTIVITIES
IN THE OFFICE, CASE STUDY: FACULTY OF SCIENCE'S OFFICE
UDON THANI RAJAHAT UNIVERSITY, SAM PHRAO CAMPUS

วินัย มีแสง^{1*} และ นวภัทร นวกะคาม²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Winai Meesang^{1*} and Navapat Navakakam²

¹Department of Environmental science, faculty of science, Udonthani Rajabhat University

²Department of faculty of science, Udonthani Rajabhat University

*E-mail: winai.me@udru.ac.th

Received: 2021-06-05

Revised: 2022-02-24

Accepted: 2022-02-25

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศของสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว โดยทำการศึกษาในช่วงเดือนพฤษภาคม 2562-เดือนเมษายน 2563 โดยมีการเก็บตัวอย่างในวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ปี โดยใช้เครื่องมือ Andersen N-6 stage sampler เก็บตัวอย่างที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที โดยวางเครื่องที่ระดับความสูง 75-120 เซนติเมตร (Breathing zone) ผลการศึกษาพบปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมเฉลี่ยมากที่สุดในช่วงฤดูร้อนจำนวน 234.39 CFU/m³ เป็นแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *Bacillus* spp. 63.6% *Pseudomonas* spp. 18%, และ *Staphylococcus* spp. 18.4% รองลงมาคือในช่วงฤดูฝนมีจำนวน 233.21 CFU/m³ เป็นเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ เชื้อ *Pseudomonas* spp. 23.7%, *Staphylococcus* spp. 76.3% และพบเชื้อแบคทีเรียปริมาณน้อยที่สุดในช่วงฤดูหนาวมีจำนวน 186.09 CFU/m³ พบเชื้อแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *Bacillus* spp. 60% *Pseudomonas* spp. 22.4% และ *Staphylococcus* spp. 17.6% ซึ่งผลการศึกษาปริมาณเชื้อทั้ง 3 ฤดู มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ที่ 500 CFU/m³ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา F-Test แบบ one – way ANOVA พบว่าปริมาณของแบคทีเรียทั้ง 3 ฤดู ไม่แตกต่างกัน (p>0.05)

คำสำคัญ: ชนิดแบคทีเรีย ปริมาณแบคทีเรีย สำนักงาน

ABSTRACT

This study aimed to identify type and quantity of bacteria in the air collected from the administrative office of the Faculty of Science UdonThani Rajabhat University, Sam Phrao Campus. The study was conducted during May 2019 - April 2020 to cover all seasons in a year. The samples were collected -using Andersen N-6 stage sampler set at 75-120 cm. height from the ground (breathing zone) at flow rate of 28.3 l/minute for 10 minute. The results showed that. the highest average amount of total bacteria was found in the summer (234.39 CFU/m³) which comprised of 3 types of bacteria, namely *Bacillus* spp. 63.6% -*Pseudomonas* spp. 18%, and *Staphylococcus* spp. 18.4% respectively. The average amount of total bacteria in rainy season was 233.21 CFU/m³ which comprised of -*Pseudomonas* spp. 23.7%, *Staphylococcus* spp. 76.3%. The lowest amount of total bacteria was found in the winter (186.09 CFU/m³) which comprised of 3 *Bacillus* spp. 60% *Pseudomonas* spp. 22.4%, and *Staphylococcus* spp. 17.6%. Our results revealed that the amount of bacterial found in all seasons did not exceeded the WHO standard of, 500 CFU/m³. The data analysis using F-Test by One-way ANOVA suggested that the amount of bacteria found among the 3 seasons, were not statistically significant difference ($p>0.05$).

Keywords: Type of bacteria, Quantity of bacteria, Office

บทนำ

จุลินทรีย์ (Microorganism) คือ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กซึ่งมีทั้งชนิดที่มีประโยชน์และโทษต่อร่างกายหรือสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอากาศเกิดขึ้นได้จากปัจจัยต่าง ๆ เช่น จากร่างกายมนุษย์ ทางระบบหายใจ การไอหรือจาม จุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสร้างสารพิษได้มักก่อให้เกิดความผิดปกติกับระบบภูมิคุ้มกันต้านทานโรคของร่างกาย เช่น จมูกอักเสบ การอักเสบของระบบทางเดินหายใจส่วนบน ภาวะหอบหืด ปอดอักเสบนอกจากนี้ยังพบว่าการสูดดมผงฝุ่นอินทรีย์ ทำให้เกิดผื่นและปอดอักเสบจากการแพ้แบบเฉียบพลัน (Kimnarak, 2015) จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน เนื่องจากอากาศมีสภาพแห้งแล้งและมีสารอาหารปริมาณน้อย ดังนั้นอากาศจึงไม่ใช่ถิ่นอาศัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์เป็นเพียงที่อยู่อาศัยชั่วคราว (temporary habitat) ของจุลินทรีย์ที่ถูกพัดพามาจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำ ดิน และอากาศ จึงถือได้ว่าอากาศเป็นตัวกลางที่สำคัญในการทำให้เกิดการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ไปในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในอากาศสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อได้หลายรูปแบบ เช่น การติดเชื้อที่ติดต่อจากคนสู่คนซึ่งเป็นการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจ (communicable respiratory pathogens) และการติดเชื้อฉวยโอกาสที่ปกติจะไม่ติดต่อเว้นแต่บุคคลจะอยู่ในสภาพที่อ่อนแอ (primary nosocomial) เนื่องจากเชื้อโรคประเภทนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อปอดโดยทันที ต้องรอนกว่าร่างกายของผู้ที่ได้รับเชื้ออ่อนแอลง จึงจะแสดงอาการติดเชื้อ (Srithewin & Nathapindhu, 2012) ปัญหาการติดเชื้อทางอากาศจึงนับว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับความสนใจโดยเฉพาะภายในอาคาร เนื่องจากคนใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ภายในอาคาร ทั้งนี้สามารถแบ่งกลุ่มของเชื้อแบคทีเรียในอากาศที่พบในอาคารมีทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ 1) *Pseudomonas stutzeri* ก่อโรคจุดสีน้ำตาล 2) *Staphylococcus aureus* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ 3) *Streptococcus* ทำให้เกิดการติดเชื้อในสตรีและเด็กทารกแรกเกิดหลังการคลอดบุตร 4) *Micrococcus*

ไม่ก่อให้เกิดโรค 5) *Enterobacter* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ 6) *Bacillus* spp. ก่อโรคอาหารเป็นพิษ และ 7) *Escherichia coli* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ (Sakulku, 2018) เห็นได้ว่าเชื้อแบคทีเรียเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อาศัยในอาคารได้ตั้งนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศบริเวณสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว เนื่องจากเป็นบริเวณเป็นสถานที่ทำงานของเจ้าหน้าที่ที่มีการติดต่อกันจากบุคลากร นักศึกษา และบุคคลภายนอก ทำให้มีการกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของเชื้อแบคทีเรียอันอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเจ้าหน้าที่และผู้ติดต่อกัน

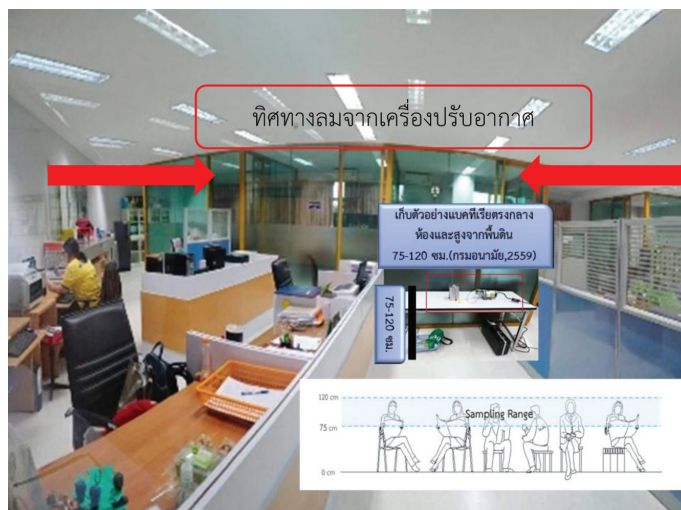
วิธีการ

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) เพื่อหาชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2562- เดือนเมษายน 2563

2. เครื่องมือและวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ

เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ Andersen N-6 stage sampler ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการดูดอากาศเข้าสู่เครื่องโดยตรง ทำให้เชื้อแบคทีเรียที่แขวนลอยในอากาศถูกดักจับไว้ที่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง (Nutrient agar, NA) โดยอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 6 ชั้น สามารถใช้แยกขนาดของอนุภาคได้ การวางจุดเก็บตัวอย่างกำหนดไว้ 1 จุด คือบริเวณตรงกลางห้องสำนักงานฯ โดยมีความสูงของเครื่องเก็บตัวอย่างที่ 75-120 ซม.จากระดับพื้นราบซึ่งถือว่าอยู่ระดับการหายใจ (Breathing zone) อัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที คิดเป็นปริมาตรอากาศ 0.28 m³ ต่อ 1 ตัวอย่าง (office of Environment Health, Department of Health, 2016) เก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศในวันจันทร์ ช่วงเวลา 09.00 น-12.00 น สัปดาห์ที่ 1 (Sakulku, 2018) อีกทั้ง แบ่งช่วงเวลากการเก็บตัวอย่างเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ 1) ฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม เดือนกรกฎาคม และ เดือนตุลาคม 2562) 2) ฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน ธันวาคม 2562-และเดือนกุมภาพันธ์ 2563) 3) ฤดูร้อน (เดือนมีนาคม-เดือนเมษายน 2563) รวมทั้งสิ้น 1 ปี



ภาพที่ 1 เครื่องมือและจุดวิธีการเก็บตัวอย่างแบคทีเรีย สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว

3. วิธีการหาชนิดและปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศ

สำหรับการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียนั้นดำเนินการโดยการนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้จากการเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมดไปป้อนในตูบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำจานเพาะเลี้ยงเชื้อมานับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Colony Forming Unit: CFU) โดยให้ 1 โคโลนี เจริญมาจาก 1 เซลล์ สุ่มตัวอย่างโคโลนีที่แตกต่างกันมาแยกเชื้อบริสุทธิ์ โดยวิธี Cross streak plate และนำเชื้อบริสุทธิ์ไปศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของแบคทีเรีย โดยวิธีการย้อมสีแกรมและย้อมเอนโดสปอร์ และคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการ ที่สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว การรายงานจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียมีหน่วยเป็น จำนวนโคโลนีต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (CFU/m^3) (Romyen, 2014: Deejamala & Nathapidhu, 2015) โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$C (\text{CFU}/\text{m}^3) = \frac{(P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) \times 1,000}{t (\text{min}) \times F (\text{L}/\text{min})}$$

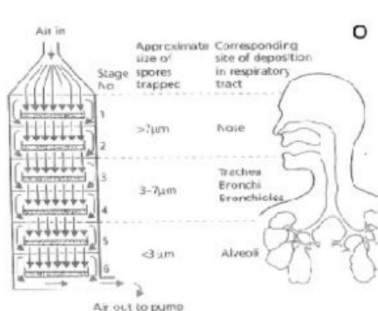
โดย C คือ ปริมาณแบคทีเรียในอากาศในหน่วยโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (CFU/m^3) ส่วน P1, P2, P3, P4, P5, และ P6 คือ จำนวนโคโลนีในจานอาหารเลี้ยงเชื้อของแต่ละชั้นที่เก็บจากเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (min) และ F คือ อัตราการดูดอากาศช่วงเก็บตัวอย่าง (L/min) ผลที่ได้รายงานในรูปของ CFU/m^3

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

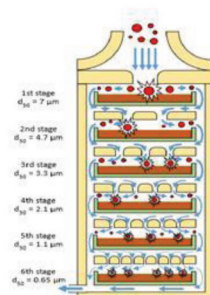
งานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) การวิเคราะห์ทางสถิติ F-test แบบ one – way ANOVA ผลการศึกษาได้ทำการเสนอเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียที่ตรวจวัดได้



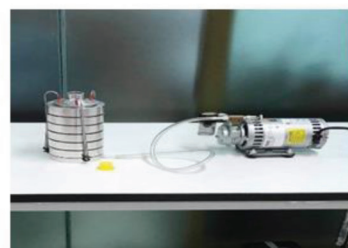
ภาพที่ 2 สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว



(ก)



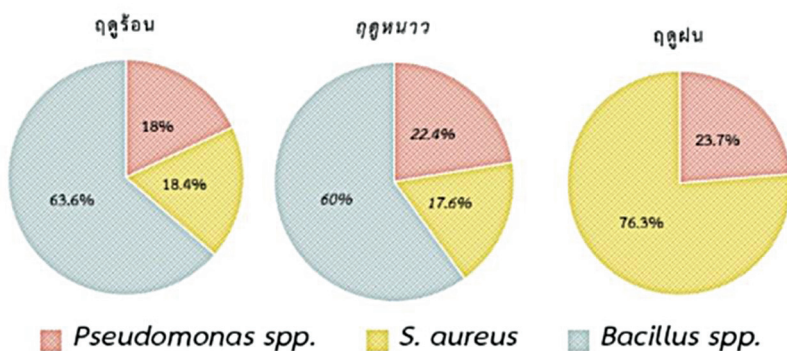
(ข)



ภาพที่ 3 (ก) แบบจำลองขนาดอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจมนุษย์ (Jim, 2000)
และ (ข) เครื่องมือเก็บตัวอย่าง Andersen N-6 stage sampler

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในสำนักงานกรณีศึกษา สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างในอากาศ Andersen N-6 stage sampler พบว่าเป็นเชื้อแบคทีเรียที่พบทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและเป็นกลุ่มเชื้อฉวยโอกาส ได้แก่ *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. และ *Staphylococcus* spp. โดยพบว่า มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียสูงสุดในช่วงฤดูร้อน (234.39 CFU/m³) โดยเป็นเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด 3 ชนิด คือ *Pseudomonas* spp. 18% *Staphylococcus* spp. 18.4% และ *Bacillus* spp. 63.6% ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรองลงมาคือช่วงฤดูฝน (233.21 CFU/m³) โดยเป็นเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด 2 ชนิด คือ *Pseudomonas* spp. 23.7% *Staphylococcus* spp. 76.3% และปริมาณเชื้อแบคทีเรียต่ำสุดคือช่วงฤดูหนาว (186.09 CFU/m³) โดยพบเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด 3 ชนิด คือ *Pseudomonas* spp. 22.4% *Staphylococcus* spp. 17.6% และ *Bacillus* spp. 60% ผลการศึกษานี้พบว่า เชื้อแบคทีเรียมีจำนวนมากในช่วงฤดูร้อนเนื่องจากสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าในฤดูอื่น (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ร้อยละเฉลี่ยของชนิดและปริมาณแบคทีเรียที่พบในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ
ในสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว



ภาพที่ 5 ชนิดของแบคทีเรียที่พบในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ ในสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาเชื้อแบคทีเรียรวมที่พบภายในห้องสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (ศูนย์สามพร้าว) พบว่าทั้ง 3 ฤดู ฤดูร้อน, ฤดูหนาว, ฤดูฝน ไม่เกินค่ามาตรฐาน
ตาม องค์การอนามัยโลก (WHO) (กำหนดไว้ที่ 500 CFU/m³)

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมที่พบตามฤดูกาลของสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว

ฤดูกาล	ครั้งที่	เชื้อแบคทีเรียที่พบ	เชื้อแบคทีเรียที่เกิดในแต่ละ stage						ปริมาณ แบคทีเรีย เฉลี่ย (CFU/m ³)
			1 st	2 nd	3 th	4 th	5 th	6 th	
			d ₅₀ = 7 μm	d ₅₀ = 4.7 μm	d ₅₀ = 3.3 μm	d ₅₀ = 2.1 μm	d ₅₀ = 1.1 μm	d ₅₀ = 0.65 μm	
ฤดูหนาว	1	1. <i>Bacillus sp.</i>	NA	5	7	7	34	24	272.08
	2	2. <i>Pseudomonas sp.</i>	2	12	22	5	8	10	208.48
	3	3. <i>Staphylococcus sp.</i>	8	2	2	1	1	8	77.73
	เฉลี่ย		3.33	6.33	10.33	4.33	14.33	14.00	186.09
ฤดูร้อน	1		4	6	9	1	16	5	144.86
	2		10	17	18	43	36	11	477.03
	3	1. <i>Bacillus sp.</i>	1	4	9	2	4	3	81.27
	เฉลี่ย	2. <i>Pseudomonas sp.</i>	5.99	9.00	12.00	15.33	18.67	6.33	234.38
ฤดูฝน	1	3. <i>Staphylococcus sp.</i>	11	8	6	11	35	12	293.28
	2	1. <i>Pseudomonas sp.</i>	NA	NA	3	11	34	14	219.08
	3	2. <i>Staphylococcus sp.</i>	NA	2	1	2	2	46	187.27
	เฉลี่ย		3.67	3.33	3.33	8.00	23.67	24.00	233.21

หมายเหตุ: ปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย โดย C คือ ปริมาณแบคทีเรียในอากาศในหน่วยโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (CFU/m³) ส่วน P1, P2, P3, P4, P5, และ P6 คือ จำนวนโคโลนีในจานอาหารเลี้ยงเชื้อของแต่ละชั้นที่เก็บจากเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ T คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (min) และ F คือ อัตราการดูดอากาศช่วงเก็บตัวอย่าง (L/min) ผลที่ได้รายงานในรูปของ CFU/m³ C(CFU/m³)

$$= \frac{(P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) \times 1,000}{t(\text{min}) / F(\text{L/min})}$$

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา F-Test แบบ one – way ANOVA ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในห้องสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว ทั้ง 3 ฤดู คือฤดูหนาว, ฤดูร้อน และฤดูฝน พบว่า ไม่แตกต่างกัน (p>0.05) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ทั้ง 3 ฤดู ฤดูหนาว, ฤดูร้อน, ฤดูฝน โดยใช้สถิติแบบ ANOVA

ฤดู	Average	S.D.	F	P – value
ฤดูหนาว	186.09	99.08	0.12	0.89
ฤดูร้อน	234.39	212.52		
ฤดูฝน	233.21	54.39		

หมายเหตุ: ความเชื่อมั่น 95%

สรุป

การศึกษานิตและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักในสำนักงานกรณีศึกษา สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว พบว่า เชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในแต่ละ stage พบมากที่สุด คือ stage 5th ($d_{50}=1.1\mu\text{m}$), stage 6th ($d_{50}=0.65\mu\text{m}$) และ stage 4th ($d_{50}=2.1\mu\text{m}$) ตามลำดับ ในทั้ง 3 ฤดูกาล ซึ่งเมื่อพิจารณาจากแบบจำลองขนาดอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินอากาศของมนุษย์นั้นเห็นได้ว่า ขนาดของอนุภาคของฝุ่นละอองในอากาศใน stage 5th ($d_{50}=1.1\mu\text{m}$) และ stage 6th ($d_{50}=0.65\mu\text{m}$) เป็นขนาดอนุภาคที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านระบบทางเดินหายใจจนถึงถุงลมในปอด (Alveoli) ซึ่งบริเวณถุงลมในปอดจะมีเส้นเลือดฝอยจำนวนมาก เป็นบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและลำเลียงไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ถ้าในอากาศมีฝุ่นละอองขนาดเล็กจำนวนมาก ย่อมก่อให้เกิดการขัดขวางกลไกการแลกเปลี่ยนก๊าซดังกล่าว จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ หรืออาจจะก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเฝ้าระวังฝุ่นหรืออนุภาคของเชื้อแบคทีเรียที่มีขนาดเล็ก เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพได้ นอกจากนี้

สำหรับการศึกษาปริมาณของแบคทีเรียรวมเฉลี่ยที่ปนเปื้อนในอากาศของสำนักงานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว พบว่า ช่วงฤดูร้อนมีปริมาณแบคทีเรียรวมมากที่สุดคือ 234.39 CFU/m³ โดยเป็นเชื้อ *Pseudomonas* spp. 18% *Staphylococcus* spp. 18.4% และ *Bacillus* spp. 63.6% รองลงมาคือช่วงฤดูฝน คือ 233.21 CFU/m³ โดยเป็นเชื้อ *Pseudomonas* spp. 23.7% *Staphylococcus* spp. 76.3% และพบต่ำสุดคือช่วงฤดูหนาว คือ 186.09 CFU/m³ โดยเป็นเชื้อ *Pseudomonas* spp. 22.4% *Staphylococcus* spp. 17.6% และ *Bacillus* spp. 60% ซึ่งเป็นแบคทีเรียพบได้ตามธรรมชาติ และเป็นเชื้อฉวยโอกาสซึ่งจะไม่ก่อโรคในคนปกติ แต่จะก่อโรคเฉพาะกับคนที่มีความอ่อนแอหรือช่วงที่มีภูมิคุ้มกันโรคต่ำเท่านั้น ประกอบด้วย 1) เชื้อ *Pseudomonas* spp. สามารถพบในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น ในดิน แหล่งของขยะ แหล่งน้ำ หรือในพืช ถือว่าเป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น 2) *Bacillus* spp. พบทั่วไปในดิน แหล่งน้ำ สามารถสร้างสปอร์ ทนแล้งได้ดี สปอร์พบได้ทั่วไปในอากาศ ฝุ่น คิววัน และ 3) *Staphylococcus* spp. เป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น และมักพบที่ผิวหนังและสามารถทำให้เกิดโรคติดเชื้อที่ผิวหนังในกรณีที่เปื้อนแผล โดยทำให้ผิวหนังเกิดการอักเสบแบบมีหนอง และอาจร้ายแรงจนถึงแก่ชีวิตได้ แหล่งแพร่เชื้อที่สำคัญส่วนมากมาจากแผลของผู้ป่วย ทางเดินหายใจ ภาชนะ สิ่งของเครื่องใช้ รวมทั้งเสื้อผ้าของผู้ป่วย เชื้อนี้สามารถทนต่อความร้อนและความแห้งได้ดีอาจทำให้เป็นโรคต่าง ๆ เช่น ฝี หนอง โรคปอดบวม อาหารเป็นพิษ ลำไส้อักเสบ ไชกระดูกอักเสบ และการติดเชื้อในกระแสเลือดและเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ เป็นต้น เมื่อนำผลการศึกษาปริมาณของเชื้อแบคทีเรียรวมของทั้ง 3 ฤดู เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ที่ 500 CFU/m³

พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานดังกล่าว นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา F-Test แบบ one - way ANOVA ทั้ง 3 จุด พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปริมาณและชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในอากาศจากกิจกรรมการให้บริการหลักของสำนักงานคณะกรรมการ มหวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว เป็นกลุ่มเชื้อแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปและเป็นเชื้อฉวยโอกาสที่ไม่ก่อให้เกิดโรค แต่เมื่อศึกษาถึงขนาดของฝุ่นละอองที่อยู่ในอากาศพบว่าส่วนมากเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าเคลื่อนที่เข้าสู่ถุงลมปอดได้ อันส่งผลต่อปัญหาด้านระบบทางเดินหายใจ และอาจเป็นสปีชีส์ของแบคทีเรียก่อโรคที่สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายมากขึ้น (Environment Agency, 2004) รวมถึงการทำให้เกิดโรคทางผิวหนังหากเกิดการระคายเคือง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังและมีมาตรการทำความสะอาดระบบระบายอากาศ (Techa-Amnuaywit, 2008) และพื้นที่ของของสำนักงานคณะกรรมการ อย่างต่อเนื่อง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของทั้งเจ้าหน้าที่ บุคลากร นักศึกษา และผู้มาติดต่อ

เอกสารอ้างอิง

- Deejamala, P., & Nathapidhu, G. (2015). Type and quantity of bacteria in the air environment of junk shops in Khon Kaen Municipality, Khon Kaen Province. **Journal of Office of DPC 7 Khon Kaen**, 22(1), 68-77. (In Thai)
- Environment Agency. (2004). **Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities**. Technical Guidance Document (Monitoring) M17. R&D Project:1-323.
- Jim, D. (2000). **The microbial world: airborne microorganism**. Retrieved from <http://www.biology.ed.ac.uk/archive/jdeacon/microbes/airborne.htm> [2013, 12 Sep.].
- Kimnarak, P. (2015). **Distribution of fungi in medical technology laboratory: case study of medical technology laboratory, Nakhon Pathom hospital, Nakhon Pathom Province**. (Master of Environmental Science), Silpakorn University, Nakhon Pathom. (In Thai)
- Romyen, D. (2013). **Correlation of environmental factors and other factors related to sick building syndrome among nursing staffs of a university hospital**. (Master of Science in Environment Management), Prince of Songkla University, Songkla. (In Thai)
- Sakulku, P. (2018). The amount and type of bacteria in the air from the main service activities in dental clinics. community hospital case study. **Office of Disease Control No. 7 Khon Kaen**, 25(1), 12-22. (In Thai)
- Srithewin, S., & Nathapindhu, G. (2012). Ambient Microbial Contamination in Different Hospital Scales. **KKU Research Journal (Graduate Studies)**, 12(1), 92-101. (In Thai)
- Techa-Amnuaywit, S. (2008). **Fixing fungal problems in air conditioning systems**. Retrieved from http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-16/16%20%2008.PD [2015, 20 Aug.]
- Office of Environmental Health, Department of Health, (2016). **Operation Manual for Internal Air Quality Assessment Building**. Retrieved from <http://ghh.anamai.moph.go.th/storage/app/uploads/public/603/b5b/072/603b5b0720697166916487.pdf> [2019, 11 May.]

สมการไดโอแฟนไทน์ $n^x - n^y = z^2$ และ $2^x - p^y = z^2$

ON THE DIOPHANTINE EQUATIONS $n^x - n^y = z^2$ AND $2^x - p^y = z^2$

สุธน ตาดี* และ นภาพลัย เหล่ามะลอ

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี ประเทศไทย

Suton Tadee* and Napalai Laomalaw

Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, Thailand.

*E-mail: suton.t@lawasri.tru.ac.th

Received: 2022-02-10

Revised: 2022-04-09

Accepted: 2022-04-21

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ $n^x - n^y = z^2$ และ $2^x - p^y = z^2$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกโดยที่ $n \neq 1$ และ p เป็นจำนวนเฉพาะ เพื่อหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z) ทั้งหมด โดยผู้วิจัยได้แสดงผลดังนี้ สมการไดโอแฟนไทน์ $n^x - n^y = z^2$ มีผลเฉลยทั้งหมดที่แสดงด้วยรูปแบบดังนี้ $(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, \sqrt{n-1}), (r+1, r, \sqrt{(n-1)n^r})\} \cap \mathbb{Z}^3$ เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ สำหรับสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x - p^y = z^2$ ผู้วิจัยพบว่า 1) ถ้า $p = 2$ แล้วสมการนี้มีผลเฉลยทั้งหมดอยู่ในรูปแบบ $(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, 1), (r+1, r, \sqrt{2^r})\}$ เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $\sqrt{2^r}$ เป็นจำนวนเต็ม 2) ถ้า $p = 3$ แล้วสมการนี้มีสามผลเฉลยคือ $(x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1), (2, 1, 1)\}$ และ 3) ถ้า $p \neq 3$ และ $p \equiv 1, 3$ หรือ $5 \pmod{8}$ แล้ว สมการนี้มีสองผลเฉลยคือ $(x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1)\}$

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์ ผลเฉลยจำนวนเต็ม ข้อคาดการณ์ของคาตาลาน

ABSTRACT

In this paper, we study two Diophantine equations $n^x - n^y = z^2$ and $2^x - p^y = z^2$ where n is a positive integer with $n \neq 1$ and p is a prime number in order to generate all non-negative integer solutions (x, y, z) . This can be shown as follows: the Diophantine equation $n^x - n^y = z^2$ has all solutions in the following form $(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, \sqrt{n-1}), (r+1, r, \sqrt{(n-1)n^r})\} \cap \mathbb{Z}^3$, where r is a non-negative integer. For the Diophantine equation $2^x - p^y = z^2$, we show that 1) if $p = 2$, then this equation has all solutions in the form $(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, 1), (r+1, r, \sqrt{2^r})\}$, where r is a non-negative integer and $\sqrt{2^r}$ is an

integer, 2) if $p = 3$, then this equation has only three solutions $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1), (2,1,1)\}$ and 3) if $p \neq 3$ and $p \equiv 1, 3$ or $5 \pmod{8}$, then this equation has only two solutions $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1)\}$

Keywords: Diophantine equation, integer solution, Catalan's conjecture

บทนำ

สมการไดโอแฟนไทน์เป็นอีกสมการหนึ่งที่มีความสนใจอย่างมาก ทำให้มีการศึกษาและหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z) ของสมการดังกล่าวอย่างกว้างขวาง เช่น Suvarnamani (2011) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ ในปีต่อมา Chotchaisthit (2012) ได้ค้นพบผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $4^x + p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ และในปีเดียวกัน Tatong & Suvarnamani (2012) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 2^y = z^2$ และ $3^x + 3^y = z^2$ หลังจากนั้น Bacani & Rabago (2015) ได้ขยายผลดังกล่าวและพบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + q^y = z^2$ เมื่อ p, q เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $q - p$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเป็นจำนวนอนันต์ ต่อมา Qi & Li (2015) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $8^x + p^y = z^2$ เมื่อ $p \neq 2$ เป็นจำนวนเฉพาะ

ผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $4^x - p^y = z^2$ สำหรับบางจำนวนเฉพาะ p จะอยู่ในรูปต่อไปนี้เท่านั้น $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (q-1, 1, 2^{q-1}-1)\}$ เมื่อ $p = 2^q - 1$ และ q เป็นจำนวนเฉพาะ (Rabago, 2018) และในปีเดียวกัน Burshtein (2018) ได้ค้นพบผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + p^y = z^2$ เมื่อ $p = 7, 13, 29, 37, 257$ และ $y = 17$ ในปีต่อมา Mina & Bacani (2019) ได้ค้นพบเงื่อนไขที่ทำให้สมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + q^y = z^{2n}$ เมื่อ p, q เป็นจำนวนเต็ม ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ หลังจากนั้น Burshtein (2020) ได้แสดงรูปแบบทั้งหมดของผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + p^y = z^4$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ และในปีเดียวกัน Elshahed & Kamarulhaili (2020) ได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ $(4^n)^x - p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะคี่ และ n เป็นจำนวนเต็มบวกพบว่าผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการนี้อยู่ในรูป $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (k, 1, 2^{nk}-1)\}$ เมื่อ k เป็นจำนวนเต็มบวก และ $p = 2^{nk+1} - 1$ จะเห็นได้ว่า $p = 3$ หรือ $p \equiv 7 \pmod{8}$ ในปีต่อมา Tangjai & Chubthaisong (2021) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + p^y = z^n$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 2 \pmod{3}$ นอกจากนี้ได้ให้เงื่อนไขการมีผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $q^x + p^y = z^n$ เมื่อ p, q เป็นจำนวนเฉพาะที่แตกต่างกัน และในปีเดียวกัน Sandhya & Pandichelvi (2021) ได้ศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มของสมการไดโอแฟนไทน์ $p^x + (p+1)^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ นอกจากนี้ $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ เป็นผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $7^x + 5^y = z^2$ (Thongnak et al., 2021)

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^x + n^y = z^2$ และ $2^x - p^y = z^2$ เมื่อ $n \neq 1$ เป็นจำนวนเต็มบวก และ p เป็นจำนวนเฉพาะ

วิธีการ

ก่อนที่จะศึกษาหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z) ของสมการไดโอแฟนไทน์นั้น จะนำเสนอข้อคาดการณ์ของคาตาลาน (Catalan's conjecture) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในศึกษาและพิจารณาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ หลังจากนั้นจะแสดงผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^x - n^y = z^n$ เมื่อ $n \neq 1$ เป็นจำนวนเต็มบวก ตามด้วยผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x - p^y = z^2$ เมื่อ p เป็นจำนวนเฉพาะ

ทฤษฎีบท 1 (ข้อคาดการณ์ของคาตาลาน) (Mihailescu, 2004)

ให้ a, b, x, y เป็นจำนวนเต็ม โดยที่ $\min\{a, b, x, y\} > 1$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $a^x - b^y = 1$ มีผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$

บทตั้ง 2 ให้ k, s, t เป็นจำนวนเต็มบวก จะได้ว่า $\gcd(k^s, k^t - 1) = 1$

บทพิสูจน์ ถ้า $k = 1$ จะได้ว่า $\gcd(k^s, k^t - 1) = 1$ ดังนั้นเหลือพิสูจน์กรณี $k \neq 1$ สมมติ $\gcd(k^s, k^t - 1) \neq 1$ จะมีจำนวนเฉพาะ q ที่ $q|k^s$ และ $q|(k^t - 1)$ จะได้ว่า $q|1$ จึงเกิดข้อขัดแย้ง ดังนั้น $\gcd(k^s, k^t - 1) = 1$

บทตั้ง 3 ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก โดยที่ $n \neq 1$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$1 - n^y = z^2 \quad (1)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(y, z) = (0, 0)$

บทพิสูจน์ เนื่องจาก $n \neq 1$ จะเห็นได้ชัดว่า $y = 0$ และ $z = 0$ ดังนั้น (1) มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(y, z) = (0, 0)$

บทตั้ง 4 ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก โดยที่ $n \neq 1$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$n - n^y = z^2 \quad (2)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลย คือ $(y, z) \in \{(1, 0), (0, \sqrt{n-1})\}$

เมื่อ $\sqrt{n-1}$ เป็นจำนวนเต็ม

บทพิสูจน์ เนื่องจาก $n \neq 1$ และ (2) จะได้ว่า $y = 0$ หรือ $y = 1$

กรณี 1 $y = 0$ จาก (2) จะได้ว่า $z = \sqrt{n-1}$ ดังนั้น $(y, z) = (0, \sqrt{n-1})$ เมื่อ $\sqrt{n-1}$ เป็นจำนวนเต็ม

กรณี 2 $y = 1$ จาก (2) จะได้ว่า $z = 0$ ดังนั้น $(y, z) = (1, 0)$

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ทฤษฎีบท 5 ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก โดยที่ $n \neq 1$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$n^x - n^y = z^2 \quad (3)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบทั้งหมดอยู่ในรูปแบบต่อไปนี้ คือ

$$(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, \sqrt{n-1}), (r+1, r, \sqrt{(n-1)n^r})\} \cap \mathbb{Z}^3$$

เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

บทพิสูจน์ ถ้า $x = 0$ จากบทตั้ง 3 จะได้ว่า $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ และถ้า $x = 1$ จากบทตั้ง 4 จะได้ว่า $(x, y, z) \in \{(1, 1, 0), (1, 0, \sqrt{n-1})\}$ เมื่อ $\sqrt{n-1}$ เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นเหลือพิจารณากรณี $x > 1$ จาก (3) จะได้ว่า

$$n^y(n^{x-y} - 1) = z^2 \quad (4)$$

สมมติว่า $y = 0$ จาก (4) จะได้ว่า

$$n^x - z^2 = 1 \quad (5)$$

และจาก $n, x > 1$ จะเห็นได้ว่า $z > 1$ ดังนั้นจากทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า (5) ไม่มีผลเฉลย เพราะฉะนั้น $y \geq 1$ กรณี 1 $x - y = 0$ ดังนั้น $x = y$ จาก (3) จะได้ว่า $z = 0$ เพราะฉะนั้น $(x, y, z) = (r, r, 0)$ เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

กรณี 2 $x - y = 1$ ดังนั้น $x = y + 1$ และจาก (4) จะได้ว่า

$$n^y(n - 1) = z^2 \quad (6)$$

ดังนั้น $z = \sqrt{(n-1)n^y}$ เพราะฉะนั้น $(x, y, z) = (r+1, r, \sqrt{(n-1)n^r})$ เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $\sqrt{(n-1)n^r}$ เป็นจำนวนเต็ม

กรณี 3 $x - y > 1$ จากบทตั้ง 2 จะได้ว่า $\gcd(n^y, n^{x-y} - 1) = 1$ และจาก (4) จะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ k ที่ทำให้ $n^{x-y} - 1 = k$ จะได้ว่า

$$n^{x-y} - k^2 = 1 \quad (7)$$

กรณีย่อย 3.1 $k = 0$ จาก (7) จะได้ว่า $x - y = 0$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $x - y > 1$

กรณีย่อย 3.2 $k = 1$ จาก (7) จะได้ว่า $n = 2$ และ $x - y = 1$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $x - y > 1$

กรณีย่อย 3.3 $k > 1$ จากทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า (7) ไม่มีผลเฉลย

บทตั้ง 6 ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$2 - p^y = z^2 \quad (8)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลย คือ $(p, y, z) \in \{(p, 0, 1), (2, 1, 0)\}$

บทพิสูจน์ จาก (8) จะได้ว่า $y = 0$ หรือ $y = 1$

กรณี 1 $y = 0$ จาก (8) จะได้ว่า $z = 1$ ดังนั้น $(p, y, z) = (p, 0, 1)$

กรณี 2 $y = 1$ จาก (8) จะได้ว่า $p = 2$ และ $z = 0$ ดังนั้น $(p, y, z) = (2, 1, 0)$

บทตั้ง 7 สมการไดโอแฟนไทน์

$$2^x - 3^y = z^2 \quad (9)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสามผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1), (2, 1, 1)\}$

บทพิสูจน์ ถ้า $x = 0$ จากบทตั้ง 3 ได้ว่า $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ และถ้า $x = 1$ จากบทตั้ง 6 จะได้ว่า $(x, y, z) = (2, 1, 1)$ ดังนั้นเหลือพิจารณา $x \geq 2$

กรณี 1 $x = 2$ จาก (9) จะได้ว่า $4 - 3^y = z^2$ ดังนั้น $y = 1$ และ $z = 1$ เพราะฉะนั้น $(x, y, z) = (2, 1, 1)$

กรณี 2 $x \geq 3$ จะได้ว่า $2^x \equiv 0 \pmod{8}$ และจาก (9) จะได้ว่า z เป็นจำนวนคี่ เพราะฉะนั้น $z^2 \equiv 1 \pmod{8}$ ถ้า y เป็นจำนวนคู่ จะได้ว่า $z^2 = 2^x - 3^y \equiv -1 \pmod{8}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ และถ้า y เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า

$z^2 = 2^x - 3^y \equiv -3 \pmod{8}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้เช่นกัน ดังนั้น (9) มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสามผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1), (2,1,1)\}$

บทตั้ง 8 ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะ โดยที่ $p \equiv 1 \pmod{4}$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$2^x - p^y = z^2 \quad (10)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1)\}$

บทพิสูจน์ ถ้า $x = 0$ จากบทตั้ง 3 ได้ว่า $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ และถ้า $x = 1$ จากบทตั้ง 6 จะได้ว่า $(x, y, z) = (1, 0, 1)$ ดังนั้นเหลือเพียงกรณีที่ $x > 1$ จะได้ว่า $2^x \equiv 0 \pmod{4}$ และเนื่องจาก $p \equiv 1 \pmod{4}$ ดังนั้น $p \not\equiv 2$ เพราะฉะนั้นจาก (10) จะได้ว่า z เป็นจำนวนคี่ ดังนั้น $z^2 \equiv 1 \pmod{4}$ และจาก $p \equiv 1 \pmod{4}$ จึงทำให้ $p^y \equiv 1 \pmod{4}$ ดังนั้น $2^x - p^y \equiv -1 \pmod{4}$ และจาก (10) จะได้ว่า $z^2 \equiv -1 \pmod{4}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้

ทฤษฎีบท 9 ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$2^x - p^y = z^2 \quad (11)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ดังนี้

- 1) สำหรับ $p = 2$ จะได้ว่า ผลเฉลยจะในรูปแบบต่อไปนี้เท่านั้น คือ $(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, 1), (r + 1, r, \sqrt{2^r})\}$ เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $\sqrt{2^r}$ เป็นจำนวนเต็ม
- 2) สำหรับ $p = 3$ จะได้ว่า ผลเฉลยมีเพียงสามผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1), (2,1,1)\}$
- 3) สำหรับ $p \neq 3$ และ $p \equiv 1, 3$ หรือ $5 \pmod{8}$ จะได้ว่า ผลเฉลยมีเพียงสองผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1)\}$

บทพิสูจน์

- 1) ให้ $p = 2$ จากทฤษฎีบท 5 จะได้ว่า $(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, 1), (r + 1, r, \sqrt{2^r})\}$ เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $\sqrt{2^r}$ เป็นจำนวนเต็ม
- 2) ให้ $p = 3$ จากบทตั้ง 7 จะได้ว่า ผลเฉลยมีเพียงสามผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1), (2,1,1)\}$
- 3) ให้ $p \neq 3$ และ $p \equiv 1, 3$ หรือ $5 \pmod{8}$

กรณี 1 $p \equiv 1$ หรือ $5 \pmod{8}$ ดังนั้น $p \equiv 1 \pmod{4}$ และจากบทตั้ง 8 จะได้ว่า $(x, y, z) \in \{(0,0,0), (1,0,1)\}$

กรณี 2 $p \equiv 3 \pmod{8}$ ดังนั้น $p \not\equiv 2$ และ $p^2 \equiv 1 \pmod{8}$ ถ้า $x = 0$ จากบทตั้ง 3 จะได้ว่า $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ และถ้า $x = 1$ จากบทตั้ง 6 จะได้ว่า $(x, y, z) = (1, 0, 1)$ ดังนั้นเหลือพิจารณา $x \geq 2$ จาก (11) จะได้ว่า z เป็นจำนวนคี่ เพราะฉะนั้น $z^2 \equiv 1 \pmod{8}$

กรณีย่อย 2.1 $x = 2$ จาก (11) จะได้ว่า $(2 - z)(2 + z) = p^y$

ดังนั้น จะมีจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ u ซึ่งทำให้ $(2 - z) = p^u$ และ $(2 + z) = p^{y-u}$

จะได้ว่า $4 = p^u(p^{y-u} + 1)$ และจาก $p \neq 2$ จะได้ว่า $u = 0$ และ $p^y + 1 = 4$

เพราะฉะนั้น $p = 3$ และ $y = 1$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เนื่องจาก $p \neq 3$

กรณีย่อย 2.2 $x \geq 3$ ดังนั้น $2^x \equiv 0 \pmod{8}$

ถ้า y เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า $z^2 = 2^x - p^y \equiv -1 \pmod{8}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้

ถ้า y เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า $z^2 = 2^x - p^y \equiv -3 \pmod{8}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้

ข้อสังเกต จากทฤษฎีบท 9 จะเห็นว่ายังขาดกรณีที่ $p \equiv 7 \pmod{8}$ ซึ่งยังไม่สามารถหาผลเฉลยทั้งหมดได้ อย่างไรก็ตาม สามารถแสดงผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x - p^{2y} = z^2$ เมื่อ $p \equiv 7 \pmod{8}$ ดังต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 10 ให้ p เป็นจำนวนเฉพาะ และ $p \equiv 7 \pmod{8}$ จะได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์

$$2^x - p^{2y} = z^2 \quad (12)$$

มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1)\}$

บทพิสูจน์ ถ้า $x = 0$ จากบทตั้ง 3 จะได้ว่า $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ และถ้า $x = 1$ จากบทตั้ง 6 จะได้ว่า $(x, y, z) = (1, 0, 1)$ ดังนั้นเหลือเพียงกรณีที่ $x > 1$ จาก $p \equiv 7 \pmod{8}$ ดังนั้น $p \neq 2$ และจาก (12) จะได้ว่า z เป็นจำนวนคี่ ดังนั้น $z^2 \equiv 1 \pmod{8}$ จะได้ว่า

กรณี 1 $x = 2$ จาก (12) จะได้ว่า $4 - p^y = z^2$ เพราะฉะนั้น $p^y \leq 4$ นั่นคือ $(p, y) \in \{(2, 0), (2, 1), (2, 2), (3, 0), (3, 1), (p, 0)\}$ แต่เนื่องจาก $p \equiv 7 \pmod{8}$ ดังนั้น $p \neq 2$ และ 3 เพราะฉะนั้นเป็นไปได้เพียงกรณีที่ $y = 0$ ทำให้ $z^2 = 3$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้

กรณี 2 $x \geq 3$ จะได้ว่า $2^x \equiv 0 \pmod{8}$ และจาก $p \equiv 7 \pmod{8}$ จะได้ว่า $p^{2y} \equiv 1 \pmod{8}$ เพราะฉะนั้น $z^2 = 2^x - p^{2y} \equiv -1 \pmod{8}$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้

นั่นคือ (12) มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงสองผลเฉลย คือ $(x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1)\}$

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ (x, y, z) ของสองสมการไดโอแฟนไทน์

$$n^x - n^y = z^2 \text{ และ } 2^x - p^y = z^2$$

เมื่อ $n \neq 2$ เป็นจำนวนเต็มบวก และ p เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนี้

1. ผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $n^x - n^y = z^2$ ทั้งหมดจะอยู่ในรูป

$$(x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, \sqrt{n-1}), (r+1, r, \sqrt{(n-1)n^r})\} \cap \mathbb{N}^3$$

เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

2. ผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x - p^{2y} = z^2$ พบว่า

$$2.1 \text{ ถ้า } p = 2 \text{ จะได้ว่า ผลเฉลยทั้งหมดอยู่ในรูป } (x, y, z) \in \{(r, r, 0), (1, 0, 1), (r+1, r, \sqrt{2^r})\}$$

เมื่อ r เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $\sqrt{2^r}$ เป็นจำนวนเต็ม

$$2.2 \text{ ถ้า } p = 3 \text{ จะได้ว่า มีผลเฉลยเพียงสามผลเฉลย คือ } (x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1), (2, 1, 1)\}$$

$$2.3 \text{ ถ้า } p \neq 3 \text{ และ } p \equiv 1, 3 \text{ หรือ } 5 \pmod{8} \text{ จะได้ว่า มีผลเฉลยเพียงสองผลเฉลย คือ}$$

$$(x, y, z) \in \{(0, 0, 0), (1, 0, 1)\}$$

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ-เทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bacani, J. B. & Rabago, J. F. T. (2015). The complete set of solutions of the Diophantine equation $p^x + q^y = z^2$ for twin primes p and q . **International Journal of Pure and Applied Mathematics**. 104(4), 517 – 521.
- Burshtein, N. (2018). All the solutions to an open problem of S. Chotchaisthit on the Diophantine equation $2^x + p^y = z^2$ when p are particular primes and $y = 1$. **Annals of Pure and Applied Mathematics**. 16(1), 31 – 35.
- Burshtein, N. (2020). All the solutions of the Diophantine equation $p^x + p^y = z^4$ when $p \geq 2$ is prime and x, y, z are positive integers. **Annals of Pure and Applied Mathematics**. 21(2), 125 – 128.
- Chotchaisthit, S. (2012). On the Diophantine equation $4^x + p^y = z^4$ where p is a prime number. **American Journal of Mathematics and Sciences**. 1(1), 191 – 193.
- Elshahed, A. & Kamarulhaili, H. (2020). On the Diophantine equation $(4^n)^x - p^y = z^2$ **WSEAS Transactions on Mathematics**. 19, 349 – 352.
- Mihailescu, P. (2004). Primary cyclotomic units and a proof of Catalan's conjecture. **Journal für die Reine und Angewante Mathematik**. 27, 167 – 195.
- Mina, R. J. S. & Bacani, J.B. (2019). Non – existence of solutions of Diophantine equations of the form $p^x + q^y = z^{2^n}$. **Mathematics and Statistics**. 7(3), 78 – 81.
- Qi, L. & Li, X. (2015). The Diophantine equation $8^x + p^y = z^2$. **The Scientific World Journal**. 2015, Article ID 306590, 3 pages.
- Rabago, J. F. T. (2018). On the Diophantine equation $4^x - p^y = 3z^2$ where p is a prime. **Thai Journal of Mathematics**. 16(3), 643 – 650.
- Sandhya, P. & Pandichelvi, V. (2021). Exploration of solutions for an exponential Diophantine equation $p^x + (p + 1)^y = z^2$. **Turkish Journal of Computer and Mathematics Education**. 12(15), 659 – 662.
- Suvarnamani, A. (2011). Solutions of the Diophantine equation $2^x + p^y = z^2$. **International Journal of Mathematical Sciences and Applications**. 1(3), 1415 – 1419.
- Tangjai, W. & Chubthaisong, C. (2021). On the Diophantine equation $3^x + p^y = z^2$ where $p \equiv 2 \pmod{3}$. **WSEAS Transactions on Mathematics**. 20, 283 – 287.
- Tatong, M. & Suvarnamani, A. (2012). On the Diophantine equation $p^x + p^y = z^2$. 15th International Conference of International Academy of Physical Sciences. **Proceedings of meeting held 9 – 13 December 2012, Pathumthani, Thailand**, 17 – 20.
- Thongnak, S., Chuayjan, W. & Kaewong, T. (2021). The solution of the exponential Diophantine equation $7^x - 5^y = z^2$. **Mathematical Journal by the Mathematical Association of Thailand under the Patronage of His Majesty the King**. 66(703). 62 – 67.

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพ
ต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน

THE STUDY OF RELATIONSHIPS BETWEEN NURSE'S PERSONAL FACTORS
AND MANAGEMENT TO PERCEPTION IN PREVENTION TRANSMISSION
OF MULTIDRUG RESISTANT ORGANISMS

นันทดา จินจรัส^{1*} พวงทิพย์ ชัยพิบาลสุขศรี² และ จินตนา อาจสันเทียะ²

¹หลักสูตรพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต คณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์ กรุงเทพมหานคร 10120

²สาขาวิชาการบริหารการพยาบาล คณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์ กรุงเทพมหานคร

Nanthada Cheenchamrat^{1*}, Puangtip Chaiphibalsarisdi² and Jintana Artsanthia²

¹Master of Nursing Science Graduate Education, Faculty of Nursing, Saint Louis College, Bangkok, 10120

²Nursing Administration, Faculty of Nursing, Saint Louis College, Bangkok, 10120

*E-mail: nanthada@saintlouis.or.th

Received: 2019-08-08

Revised: 2022-05-11

Accepted: 2022-05-20

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงพรรณนาหาความสัมพันธ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานของพยาบาลวิชาชีพ และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน ดำเนินการวิจัย ระหว่างเดือนเมษายน - กรกฎาคม พ.ศ.2562 เลือกกลุ่มตัวอย่างจากพยาบาลวิชาชีพ จำนวน 103 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน และแบบสอบถามการรับรู้ของพยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation) ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Spearman rank correlation coefficient) ผลการวิจัย พบว่า พยาบาลวิชาชีพรับรู้ต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ยโดยรวม เท่ากับ 4.75 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการปฏิบัติงาน ในหน่วยงานต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานโดยรวมมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.262, p < 0.05$)

คำสำคัญ: พยาบาลวิชาชีพ ปัจจัยส่วนบุคคล ความสัมพันธ์ การรับรู้ เชื้อดื้อยาหลายขนาน

ABSTRACT

This research was descriptive correlation research. There were two purposes. First, to study nurses' personal factors and perceptions of management to prevent transmission of multi-drug resistant organisms. Second, to study the relationship between nurse's personal factors and management perception in preventing transmission of multi-drug resistant organisms. The duration of research was set between April to July 2019. 103 nurses who worked in a non for profit private hospital were selected by purposive sampling. There were two instruments: the guideline of management method on transmission prevention of multi-drug resistance and the questionnaire. The response rate for the questionnaire was 91.96% . Data analysis was used frequency distribution statistics, average, percentage, standard deviation statistics, and correlation analysis by Spearman's Rank Correlation coefficient to analyze the data. The results showed that the perception of management to prevent transmission of multi-drug resistance was at an excellent level with an average of 4.75. Spearman's rank correlation analysis disclosed nurse's personal factors were significantly associated with departments of working and management to perceive the prevention of the spread of multi-drug resistance ($r = 0.262$, $p < 0.05$) but it was a positive low level of relation.

Keywords: Nurse, Personal Factors, Relationships, Perception, Multidrug Resistant Organisms

บทนำ

การติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาหลายขนาน (Multidrug resistant organisms: MDROs) กำลังเป็นปัญหาต่อระบบสาธารณสุขทั่วภูมิภาคของโลก เนื่องจากพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นและเป็นสาเหตุสำคัญของเชื้อก่อโรคในโรงพยาบาลและชุมชน (World Health Organization, 2014)

จากรายงานของศูนย์เฝ้าระวังเชื้อดื้อยาด้านจุลชีพแห่งชาติ (National Antimicrobial Resistance Surveillance Center, Thailand [NARST]) ระหว่างปี ค.ศ.2000 – 2018 พบเชื้อ克雷伯菌肺炎链球菌 (*K.pneumoniae*) ดื้อต่อยาคาร์บาเพนิมเพิ่มจาก 1% เป็น 11.2%, อะซิเน็ตโตแบ็กเตอเรีย (*Acinetobacter spp.*) ที่ดื้อยาอิมิพีเนม เพิ่มจาก 5.8% เป็น 52.5%, อะซิเน็ตโตแบ็กเตอเรียโคลิฟอรัม บอมมานนิโอ (*A.calcoaceticus-baumannii*) จากแผนกผู้ป่วยวิกฤติ (Intensive Care Unit: ICU) เพิ่มจาก 14.2% เป็น 84.6%, เอสเชอริเชียโคไล (*Escherichia coli: E. coli*) ที่ดื้อต่ออิมิพีเนม เพิ่มจาก 0.9% เป็น 2%, เอนเทอโรค็อกคัส สปีชีส์ (*Enterococcus spp.*) ที่ดื้อต่อยาแวนโคมัยซิน เพิ่มจาก 1.7% เป็น 2.9%, เอนเทอโรค็อกคัสฟีเซียม (*E. faecium*) ที่ดื้อต่อแวนโคมัยซินเพิ่มจาก 0.5% เป็น 8 % (National Antimicrobial Resistance Surveillance Center Thailand, 2018)

ผลกระทบของการติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาหลายขนานเป็นสาเหตุทำให้ผู้ป่วยอยู่ในโรงพยาบาลนานขึ้น มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตมากขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น จากการประมาณการปัจจุบันมีผู้เสียชีวิตจากการติดเชื้อดื้อยาหลายขนาน 700,000 รายต่อปี และคาดว่าในปี พ.ศ.2550 จะมีผู้เสียชีวิตจากการติดเชื้อดื้อยาปฏิชีวนะ ตามภูมิภาคของโลก 10 ล้านราย (Jim, 2016) สูญเสียต้นทุนทางเศรษฐกิจทางตรงสูงถึง 20 พันล้านเหรียญสหรัฐ ต้นทุนทางอ้อมสูงถึง 35 พันล้านเหรียญสหรัฐ (Centers for Disease Control & Prevention, 2006) ประเทศไทยมีการศึกษาผลกระทบจากการติดเชื้อดื้อยาด้านจุลชีพ ในปี พ.ศ.2553 จากผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา

ในโรงพยาบาลทุกระดับ จำนวน 1,023 แห่ง พบการติดเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ จำนวน 87,751 ครั้ง ผู้ป่วยอยู่โรงพยาบาล นานขึ้น 3.24 ล้านวัน เสียชีวิตจากการติดเชื้อดื้อยา 38,481 ราย เสียค่าใช้จ่ายสำหรับรักษาการติดเชื้อดื้อยา 2,539 – 6,084 ล้านบาท และเสียต้นทุนเศรษฐกิจทางอ้อมจากการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร 40,000 ล้านบาท (Panumart et al., 2012)

ด้วยบริบทของโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงหากำไรแห่งหนึ่งซึ่งมีการรับย้ายผู้ป่วยระหว่างโรงพยาบาล โดยเฉพาะจากโรงพยาบาลที่มีการรักษาที่ซับซ้อน เช่น โรงพยาบาลรัฐ โรงพยาบาลเอกชน การส่งต่อผู้ป่วยไปรักษา ที่โรงพยาบาลอื่น การย้ายผู้ป่วยภายในโรงพยาบาลเพื่อให้การรักษาในระดับวิกฤติ การย้ายผู้ป่วยระหว่างหอผู้ป่วย ทั่วไป รวมถึงการย้ายผู้ป่วยสูงอายุเรื้อรังเข้า - ออก ระหว่างหน่วยงานที่ดูแลผู้สูงอายุกับแผนกผู้ป่วยในหรือแผนก ผู้ป่วยวิกฤติ สิ่งเหล่านี้เป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน

จากการทบทวนแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน (Centers for Disease Control & Prevention, 2006) ผู้วิจัยได้ประเด็นการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยา หลายขนาน 11 ประเด็น ดังนี้ 1) การสนับสนุนจากผู้บริหาร 2) การเฝ้าระวังและการรายงานเชื้อดื้อยาหลายขนาน 3) การใช้ยาต้านจุลชีพ 4) หลักการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน 5) การทำความสะอาดมือ 6) การควบคุมสิ่งแวดล้อม 7) การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ 8) การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย 9) การสื่อสาร 10) การให้ความรู้แก่บุคลากร และ 11) การให้ความรู้แก่ผู้ป่วยและญาติ

พยาบาลวิชาชีพมีบทบาทสำคัญในการดูแลผู้ป่วยเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยา การเฝ้าระวัง การแพร่กระจายเชื้อดื้อยา การค้นหาและยุติการระบาดของเชื้อดื้อยาได้อย่างรวดเร็ว การประสานงาน และการสื่อสาร ข้อมูลผู้ป่วยกับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกหน่วยงาน เป็นต้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงาน การปฏิบัติงาน ในหน่วยงาน ตำแหน่งงานและประสบการณ์การดูแลผู้ป่วยที่ติดเชื้อดื้อยาหลายขนาน มีความสัมพันธ์ต่อการจัดการ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานหรือไม่ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกัน การแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน

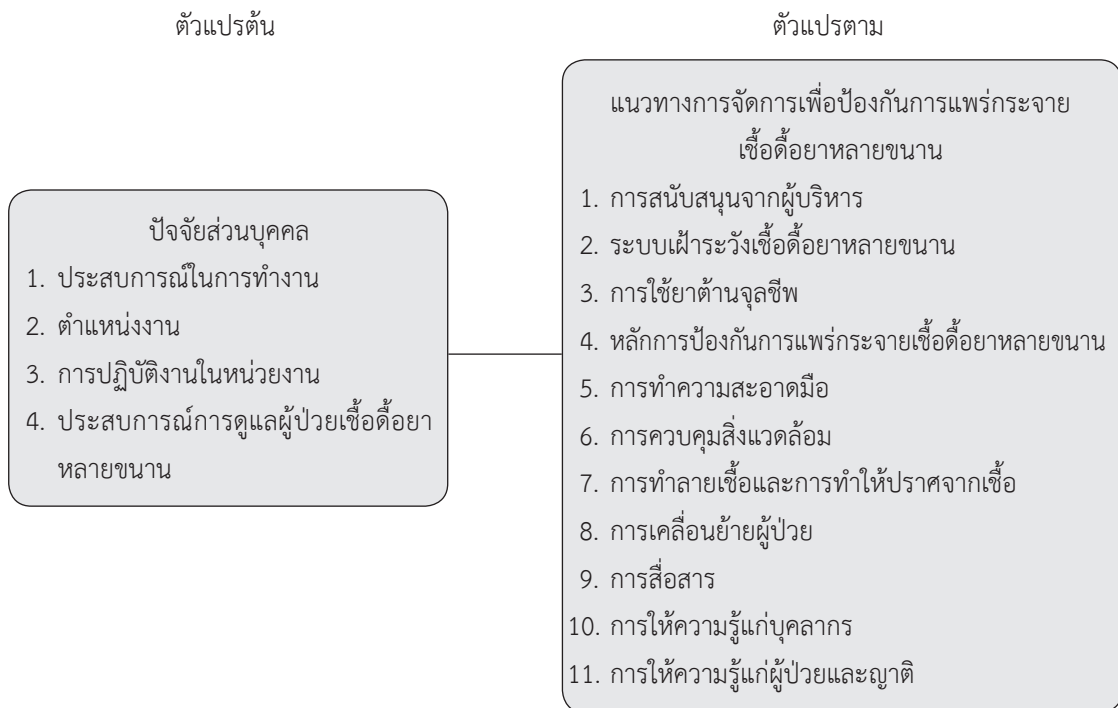
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานของ พยาบาลวิชาชีพ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษารั้งนี้เป็นการวิจัยแบบบรรยายเชิงความสัมพันธ์ (Descriptive correlation research) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกัน การแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน ซึ่งศึกษากับพยาบาลวิชาชีพที่ปฏิบัติงานโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงหากำไร แห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนเมษายน - กรกฎาคม พ.ศ.2562

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อมีดื้อยาหลายขนาน

วิธีการ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พยาบาลวิชาชีพที่ปฏิบัติหน้าที่ดูแลผู้ป่วยในโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงผลกำไรแห่งหนึ่ง ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งสังกัดหน่วยงาน ดังนี้ แผนกดูแลผู้ป่วยวิกฤติ แผนกดูแลผู้ป่วยใน แผนกดูแลผู้ป่วยสูงอายุเรื้อรัง แผนกดูแลผู้ป่วยนอก จำนวน 139 คน

วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ดำเนินการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยคัดเลือกจากพยาบาลที่เข้าเกณฑ์การคัดเลือกทุกคนจากแผนกดูแลผู้ป่วยวิกฤติ แผนกดูแลผู้ป่วยใน แผนกดูแลผู้ป่วยสูงอายุเรื้อรัง แผนกดูแลผู้ป่วยนอก จำนวน 103 คน

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง (Inclusion Criteria) มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นพยาบาลวิชาชีพที่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี และขึ้นทะเบียนเป็นผู้ประกอบวิชาชีพพยาบาลและผดุงครรภ์ชั้น 1
2. เป็นพยาบาลวิชาชีพซึ่งปฏิบัติหน้าที่ในหอผู้ป่วย ได้แก่ แผนกผู้ป่วยวิกฤติ แผนกผู้ป่วยวิกฤติหัวใจ แผนกอายุรกรรมผู้ป่วยใน แผนกผู้ป่วยสูงอายุเรื้อรัง แผนกดูแลผู้ป่วยนอก

3. ปฏิบัติหน้าที่เต็มเวลาในโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงกำไรแห่งหนึ่ง ตั้งแต่เดือน เมษายน – กรกฎาคม พ.ศ.2562

4. ยินดีเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดออกกลุ่มตัวอย่าง (Exclusion Criteria)

1. ดำรงตำแหน่งเป็นพยาบาลป้องกันและควบคุมการติดเชื้อประจำหน่วยงาน (Infection Control Ward Nurse: ICWN) ในโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงกำไรแห่งหนึ่ง ในช่วงเดือน เมษายน - กรกฎาคม พ.ศ. 2562

2. เปลี่ยน หรือย้ายไปอยู่ในหน่วยงานอื่นที่ไม่ใช่แผนกที่มีประชากรที่ศึกษาช่วงเดือน เมษายน – กรกฎาคม พ.ศ.2562

การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

วิจัยนี้ผ่านการพิจารณาอนุมัติโครงร่างวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยวิทยาลัยเซนต์หลุยส์ เลขที่ E. 016/2562 วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2562 และผ่านการอนุมัติให้เก็บข้อมูลวิจัยจากโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงกำไรแห่งหนึ่ง เลขที่ 95012/094 – 19

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาจากการทบทวนแนวทางการจัดการเชื้อดื้อยาในสถานพยาบาล (Centers for Disease Control & Prevention, 2006)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบสอบถามการรับรู้ของพยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การวิเคราะห์ปัญหาและสถานการณ์การแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน ลักษณะการกระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเชื้อดื้อยาหลายขนาน และปัจจัยที่สัมพันธ์ในการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานในโรงพยาบาล

2. ทบทวนแนวทางการจัดการเชื้อดื้อยาหลายขนานในสถานพยาบาล (Centers for Disease Control & Prevention, 2006) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานมาเป็นกรอบในการทำวิจัย

3. ผู้วิจัยจัดทำเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานมาสร้างรูปแบบคำถาม

4. ผู้วิจัยนำเครื่องมือไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบความชัดเจนของภาษาและทดสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content validity) คำนวณหาค่าดัชนีความตรงตามเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) ได้เท่ากับ 0.875 และนำไปปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะก่อนนำไปใช้ในการวิจัย

5. ผู้วิจัยนำเครื่องมือไปทำการทดลอง (Try out) เพื่อทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือโดยทดลองใช้กับบุคลากรพยาบาลที่ปฏิบัติหน้าที่ในโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงกำไรแห่งหนึ่งในแผนกผู้ป่วยใน และแผนกผู้ป่วยวิกฤติหัวใจ จำนวน 2 หน่วยงาน และนำมาหาค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีครอนบาคได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.994

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยเข้าพบผู้จัดการฝ่ายการพยาบาล เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินการวิจัยและขอความร่วมมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15 – 21 กรกฎาคม พ.ศ.2562

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

- ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ สถิติเชิงพรรณนา แจกแจงความถี่ และร้อยละ
- ข้อมูลจากแบบสอบถามการรับรู้ของ พยาบาลวิชาชีพต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน โดยวิเคราะห์ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่าเป็น 5 ระดับ ดังนี้

- 5 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยอย่างยิ่งว่ามีการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการมากที่สุด
- 4 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยว่ามีการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการมาก
- 3 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยว่ามีการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการปานกลาง
- 2 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยว่ามีการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการน้อย
- 1 หมายถึง ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยว่ามีการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการน้อยที่สุด

การแปลผลคะแนนที่ได้โดยใช้เกณฑ์เฉลี่ย ดังนี้

- | | | |
|------------------|-------------|---|
| ค่าเฉลี่ยเท่ากับ | 4.50 – 5.00 | การรับรู้เรื่องแนวทาง ฯ อยู่ในระดับมากที่สุด |
| ค่าเฉลี่ยเท่ากับ | 3.50 – 4.49 | การรับรู้เรื่องแนวทาง ฯ อยู่ในระดับมาก |
| ค่าเฉลี่ยเท่ากับ | 2.50 – 3.49 | การรับรู้เรื่องแนวทาง ฯ อยู่ในระดับปานกลาง |
| ค่าเฉลี่ยเท่ากับ | 1.50 – 2.49 | การรับรู้เรื่องแนวทาง ฯ อยู่ในระดับน้อย |
| ค่าเฉลี่ยเท่ากับ | 1.00 – 1.49 | การรับรู้เรื่องแนวทาง ฯ อยู่ในระดับน้อยที่สุด |

- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน โดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แบบสเปียร์แมน (Spearman rank correlation coefficient) การพิจารณาระดับความสัมพันธ์ของตัวแปร พิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) หรือ r โดยไม่คำนึงถึง เครื่องหมาย $\pm$ ดังนี้

- | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|
| ค่า $r = \pm 1$ | หมายความว่า | ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ |
| ค่า $r > 0.70$ | หมายความว่า | ตัวแปรมีความสัมพันธ์ในระดับสูง |
| ค่า r ระหว่าง 0.30 - 0.70 | หมายความว่า | ตัวแปรมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง |
| ค่า $r < 0.30$ | หมายความว่า | ตัวแปรมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ |
| ค่า $r = 0$ | หมายความว่า | ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน |

2. วิเคราะห์ข้อมูลปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะการรับรู้ต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน โดยการนำเนื้อหาวิเคราะห์และจัดกลุ่มและหาค่าร้อยละ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองและสรุป

1. เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน กลุ่มตัวอย่าง 103 คน พบว่า เป็นเพศหญิง ร้อยละ 99 อายุ 25 - 35 ปี มากที่สุด ร้อยละ 52.4 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีร้อยละ 96.1 และระดับปริญญาโท ร้อยละ 3.9 ประสบการณ์การทำงานระหว่าง 1 - 5 ปี ร้อยละ 42.7 ปฏิบัติงานในหน่วยบริการผู้ป่วยในมากที่สุด ร้อยละ 39.8 ปฏิบัติงานในตำแหน่งพยาบาล

ปฏิบัติการ ร้อยละ 85.4 ปฏิบัติงานในตำแหน่งหัวหน้างาน/ทีม นำ ร้อยละ 14.6 ตามลำดับ เคยมีประสบการณ์การดูแลผู้ป่วยติดเชื้อมีหลายขนานเป็นส่วนใหญ ร้อยละ 91.3 เคยได้รับการฝึกอบรม ด้านการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อมีหลายขนานร้อยละ 100 เคยได้รับข้อมูลด้านการแพร่กระจายเชื้อมีหลายขนาน ร้อยละ 97.1

2. การรับรู้ต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อมีหลายขนานของพยาบาลวิชาชีพพบว่าอยู่ในระดับดีมากโดยรวมมีค่าเฉลี่ย 4.75 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าอยู่ในระดับดีมากทุกด้าน ค่าเฉลี่ยรายด้านสูงสุด คือ การให้ความรู้แก่บุคลากร มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.83 รองลงมา คือการให้ความรู้แก่ผู้ป่วยและญาติ การสื่อสาร การทำความสะอาดมือ การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย การสนับสนุนจากผู้บริหาร หลักการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อมีหลายขนาน ระบบเฝ้าระวังเชื้อมีหลายขนาน การเข้าด้านจุลชีพ การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ ($\bar{X}$ = 4.82, 4.80, 4.78, 4.77, 4.76, 4.76, 4.72, 4.71, 4.70 ตามลำดับ) และการควบคุมสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยรายด้านต่ำสุด เท่ากับ 4.59

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อมีหลายขนาน ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ต่อ)

ปัจจัยส่วนบุคคล	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อต่อพยาบาลชุมชน															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9. การทำความสะอาดมือ	-.042	.148	-.028	-.021	.532**	.641**	.629**	.725**	1.000							
p-value	.671	.136	.781	.835	.000	.000	.000	.000	.							
10. การควบคุมสิ่งแวดล้อม	-.042	.148	-.028	-.021	.339**	.519**	.506**	.519**	.589**	1.000						
p-value	.671	.136	.781	.835	.000	.000	.000	.000	.000	.						
11. การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ	-.115	.186	-.078	-.048	.517**	.638**	.607**	.598**	.679**	.719**	1.000					
p-value	.248	.060	.436	.631	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.					
12. การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	-.073	.202*	-.183	-.068	.453**	.647**	.563**	.660**	.654**	.537**	.700**	1.000				
p-value	.464	.040	.064	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.				
13. การสื่อสาร	-.075	.271**	-.074	-.038	.558**	.681**	.613**	.631**	.626**	.481**	.651**	.690**	1.000			
p-value	.453	.006	.458	.700	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.			
14. การให้ความรู้แก่บุคลากร	-.017	.333**	-.089	-.093	.537**	.725**	.638**	.612**	.562**	.506**	.636**	.686**	.795**	1.000		
p-value	.864	.001	.372	.351	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.		
15. การให้ความรู้แก่ผู้ป่วย และญาติ	.015	.328**	-.165	-.018	.511**	.702**	.559**	.653**	.574**	.467**	.579**	.623**	.706**	.715**	1.000	
p-value	.878	.001	.097	.855	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.	
16. โดยรวม	-.017	.262**	-.184	-.026	.674**	.786**	.735**	.766**	.747**	.774**	.812**	.731**	.700**	.670**	.647**	1.000
p-value	.866	.008	.063	.793	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.

*p < .05 (2-tailed)

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน พบว่า โดยรวมมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = .262, p < .05$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับการสนับสนุนจากผู้บริหาร ระบบเฝ้าระวังเชื้อดื้อยาหลายขนาน การให้ความรู้แก่บุคลากร และการให้ความรู้แก่ผู้ป่วยและญาติ ($r = .304^{**}, .330^{**}, .333^{**}$ และ $.328^{**}$ ตามลำดับ) มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และการสื่อสาร ($r = .202^{*}, .271^{**}$ ตามลำดับ)

วิจารณ์

จากงานวิจัย เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน พบว่า การรับรู้ต่อแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานของพยาบาลวิชาชีพอยู่ในระดับดีมาก ทั้ง 11 ด้าน มีค่าเฉลี่ยโดยรวม เท่ากับ 4.75 อธิบายได้ว่า เกิดจากการที่โรงพยาบาลมีการดำเนินการด้านการพัฒนาคุณภาพโรงพยาบาล โดยถือให้ความสำคัญของผู้ป่วยเป็นประเด็นสำคัญ ซึ่งการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานเป็นเรื่องหนึ่งในแบบแผนความปลอดภัยขององค์กรถูกกำหนดเป็นนโยบายและมีแผนงานการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อประจำปี รวมถึงการรณรงค์ในระดับองค์กร ระดับฝ่าย ระดับหน่วยงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การฝึกอบรมบุคลากรประจำปี การประชุมพิเศษพยาบาลใหม่ และในปีที่ผ่านมาโรงพยาบาลได้มีการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานสำหรับพยาบาลวิชาชีพทุกระดับ ส่งผลให้พยาบาลวิชาชีพทราบถึงแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานไปในทิศทางเดียวกัน หากโรงพยาบาลเอกชนที่ไม่มุ่งแสวงหากำไรแห่งหนึ่งนำแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานมาใช้ปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม จะสามารถลดอุบัติการณ์การแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานลงได้ ดังที่ Chutima (2011) ศึกษาผลของโปรแกรมการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อ สแตฟฟิโลค็อกคัสสอเรียสที่ดื้อต่อยาเมธิซิลินต่อความรู้และการปฏิบัติของพยาบาลในหอผู้ป่วยหนักทารกแรกเกิด พบว่า การส่งเสริมความรู้และการปฏิบัติทำให้พยาบาลมีคะแนนความรู้ และสัดส่วนการปฏิบัติที่ถูกต้องในการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อสแตฟฟิโลค็อกคัสสอเรียสที่ดื้อต่อยาเมธิซิลินเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Piyachat (2013) เรื่อง การพัฒนารูปแบบการส่งเสริมการปฏิบัติการป้องกันการติดเชื้อดื้อยาของบุคลากรพยาบาลแผนกอายุรกรรมโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ พบว่า รูปแบบการส่งเสริมการปฏิบัติเพื่อป้องกันการติดเชื้อดื้อยาของบุคลากรพยาบาล ได้แก่ 1) การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ 2) การทบทวนความรู้ 3) การประเมินผลและให้ข้อมูลย้อนกลับ 4) การกระตุ้นเตือนโดยใช้โปสเตอร์ 5) การสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลและอุปกรณ์การแพทย์ และ 6) การรณรงค์การทำความสะอาดมือ ทำให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ และช่วยให้บุคลากรตระหนักในการป้องกันการติดเชื้อดื้อยาเพิ่มขึ้น

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลของพยาบาลวิชาชีพต่อการรับรู้แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน พบว่า ปัจจัยด้านการปฏิบัติงานในหน่วยงานมีความสัมพันธ์กับการรับรู้ต่อ แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานโดยรวมในระดับต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่าการป้องกันการติดเชื้อดื้อยาหลายขนานจำเป็นต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง การจัดทำแนวปฏิบัติตามหลักฐานเชิงประจักษ์ในการป้องกันการติดเชื้อดื้อยาหลายขนานมีส่วนช่วยให้พยาบาลวิชาชีพรวมถึงบุคลากร

สุขภาพอื่น ๆ ได้รับความรู้ที่ถูกต้องทันสมัยและเกิดความมั่นใจในการปฏิบัติงาน และหากมีการนำไปปฏิบัติอย่างเป็นระบบ รวมถึงการติดตามนิเทศบุคลากรขณะปฏิบัติงานจะทำให้เกิดกระบวนการเรียนรู้และสามารถปฏิบัติเพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานได้ ตามที่ Paolo et al. (2014) ศึกษาความสำเร็จของการควบคุมการระบาดของเชื้อ *K. pneumoniae* ที่ดื้อต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมในโรงพยาบาลอิตาลี ค.ศ. 2010 พบว่าการมีวิธีการเฝ้าระวังที่สามารถบ่งชี้การระบาดและการใช้มาตรการควบคุมป้องกันที่รวดเร็ว การฝึกอบรมบุคลากรและการทำความสะอาดมือจะสามารถยับยั้งการระบาดของเชื้อดื้อยาได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Cheon et al. (2016) ที่พบว่า การมีระบบสนับสนุนการใช้ยาต้านจุลชีพอย่างเหมาะสม การให้ความรู้ การใช้มาตรการป้องกันการติดเชื้อจากการสัมผัส การเฝ้าระวังเชิงรุก การทำความสะอาดสิ่งแวดล้อม การตรวจหาเชื้อในสิ่งแวดล้อมส่งเสริมการทำความสะอาดมือจะสามารถลดอุบัติการณ์การติดเชื้อ *A. baumannii* สำหรับ Anucha et al. (2014) ศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการป้องกันการติดเชื้อ *Acinetobacter baumannii*: *A. baumannii* ที่ดื้อยาปฏิชีวนะเกือบทุกชนิด (Extremely Drug Resistant: XDR) ในแผนกผู้ป่วยหนักโดยใช้มาตรการป้องกันการติดเชื้อจากการสัมผัส (Contact Precaution) การเฝ้าระวังเชิงรุก (Active Surveillance Survey: ACS) การทำความสะอาดสิ่งแวดล้อม การทำความสะอาดร่างกาย การทำความสะอาดปาก ส่งผลให้ *A. baumannii* ลดลงจาก 11.1 เป็น 0.98 ต่อพัน วันนอน ทั้งนี้ บทบาทผู้วิจัยซึ่งมีบทบาทด้านการบริหารจัดการเพื่อป้องกันและควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาลจะต้องมีแนวทางดำเนินการในด้าน 1) การเฝ้าระวังการติดเชื้อ เช่น การจัดทำแนวทางคัดกรองผู้ป่วยที่สงสัยเชื้อดื้อยาหลายขนาน การเฝ้าระวังการติดเชื้อดื้อยาหลายขนาน 2) การป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อโดยการส่งเสริมให้บุคลากรนำแนวทาง การจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานไปปฏิบัติ เช่น การจัดหาอุปกรณ์ เครื่องป้องกันที่เหมาะสมเพียงพอ ส่งเสริมการปฏิบัติในเชิงบวก 3) การสอบสวนโรคโดยการค้นหาและวิเคราะห์ข้อมูลจากการเฝ้าระวังเชื้อดื้อยาหลายขนานเพื่อให้ทราบปัญหาและนำมากำหนดมาตรการป้องกันที่เหมาะสม 4) การจัดทำแนวทางปฏิบัติตามมาตรฐานตามหลักฐานเชิงประจักษ์และเหมาะสมกับบริบทของโรงพยาบาล 5) วางแผนจัดอบรมให้ความรู้ด้านการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาในโรงพยาบาลให้ครอบคลุมบุคลากรทุกระดับ และ 6) การประเมินผลลัพธ์การนำแนวทางปฏิบัติไปใช้ รวมถึงการสร้างแนวทางติดตามผลลัพธ์การปฏิบัติเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ ดื้อยาหลายขนาน และติดตามผลลัพธ์ด้านผู้ป่วย เพื่อให้การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อดื้อยามีประสิทธิภาพ (Kumthorn & Sirilik, 2015)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

1.1 การนำไปพัฒนาระบบ ติดตามการปฏิบัติตามแนวทางการจัดการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน และผลลัพธ์การดูแลผู้ป่วย

1.2 การจัดทำแผนการจัดอบรมความรู้ในเรื่องการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานผ่านกิจกรรมและสื่อต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องแก่บุคลากรทุกระดับ เพื่อสร้างทักษะ ความตระหนัก และสามารถนำความรู้ไปใช้ในการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานในการนำไปใช้ประโยชน์

2.1 การนำแนวทางการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานที่พัฒนาขึ้นไปปฏิบัติและสามารถนำไปใช้ในการบริการรักษาผู้ป่วยทุกหน่วยงาน

2.2 การพัฒนาช่องทางการสื่อสารที่หลากหลายให้เหมาะสมกับบุคลากรทุกระดับ

2.3 พัฒนาแนวทางการให้ข้อมูลการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนานโดยการมีส่วนร่วมของผู้ป่วยและญาติ

2. ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของการรับรู้ของพยาบาลวิชาชีพต่อการปฏิบัติตามแนวทางการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาหลายขนาน และประสิทธิภาพของโปรแกรมการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อดื้อยาหลายขนาน

เอกสารอ้างอิง

- Anucha, A., Uayporn, P., Boonyasit, W., David, K. W., Thana, K., & Mary, K. H. (2014). **Effectiveness of infection prevention measures featuring advanced source control and environmental cleaning to limit transmission of extremely- drug resistant *Acinetobacter baumannii* in a Thai intensive care unit: An analysis before and after extensive flooding.** Retrieved from [https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553\(13\)01307-2/pdf](https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553(13)01307-2/pdf) [2016, 14 Sep.] (in Thai)
- Centers for Disease Control and Prevention. (2006). **Management of multi-drug Resistance organisms in healthcare settings 2006.** Retrieved from https://www.cdc.gov/ncidod/dhqp/gl_mdroguideline.html [2016, 1 Oct.]
- Cheon, S., Kim, M. J., Yun, S. J., Moon, J. Y., & Kim, Y. S. (2016). Controlling endemic multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* in Intensive Care Units using antimicrobial stewardship and infection control. **The Korean journal of internal medicine**, 31(2), 367–374. <https://doi.org/10.3904/kjim.2015.178>
- Chutima, O. (2011). **Effects of the Preventions and Control Program for Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus on Knowledge and Practices Among Nurses in Neonatal Intensive Care Unit.** (Master of Nursing Science. Infection Control Nursing). Chiang Mai University, Mueang District, Chiang Mai Province. (in Thai)
- Jim, O. N. (2016). **Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendations. Review on Antimicrobial Resistance.** Retrieved from [https://amrreview.org/sites/default/files/160518 Final%20paper with%20cover.pdf](https://amrreview.org/sites/default/files/160518%20Final%20paper%20with%20cover.pdf) [2016, 14 Sep.]
- Kumthorn, M., & Sirilik, A. (2015). **Operational Manual for Infection Prevention and Control in Hospital.** Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University. Retrieved from <https://med.mahidol.ac.th/ic/sites/default/files/public/pdf/IC%20book.pdf> [2018, 30 May.] (in Thai)
- National Antimicrobial Resistance Surveillance Center Thailand. (2018). **Antibiogram All specimens.** Retrieved from <https://narst.dmsc.moph.go.th/antibiograms/2018/9/Jan-Sep2018-All.pdf> [2018, 10 Dec.] (in Thai)

- [illegible]

การตรวจสอบบุคคลในชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีชีวมิติการจดจำใบหน้า
บนแพลตฟอร์มราสเบอร์รี่พาย

PERSONAL VERIFICATION IN COMMUNITY
USING FACIAL RECOGNITION BIOMETRIC TECHNOLOGY
ON THE RASPBERRY PI PLATFORM.

ปณณรัตน์ วงศ์พัฒนานิภาส และ เศรษฐพงศ์ วงษ์อินทร์*

หลักสูตรนวัตกรรมดิจิทัลและวิศวกรรมซอฟต์แวร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 12120

Pannarat Wongpattananipap and Sethapong Wong-In*

Program in Digital Innovation and Software Engineering, Science and Technology Faculty, Valaya Alongkorn

Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathumthanee, 12120

*E-mail: sethapong@vru.ac.th

Received: 2022-01-28

Revised: 2022-05-12

Accepted: 2022-05-20

บทคัดย่อ

เพื่อที่จะพัฒนานวัตกรรมดิจิทัลในการแก้ปัญหาคนแปลกหน้าเข้ามาในชุมชน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจสอบบุคคลในชุมชนด้วยเทคโนโลยีชีวมิติในการตรวจสอบและจดจำใบหน้า และเพื่อประเมินการยอมรับการนำอุปกรณ์ ไปใช้งานในชุมชนในรูปแบบต่าง ๆ กัน โดยทำการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวมิติในการพัฒนาระบบอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้าบนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi และนำไปติดตั้งในชุมชน 3 รูปแบบ ได้แก่ ชุมชนท้องถิ่น ชุมชนหอพัก/คอนโด และชุมชนหมู่บ้าน และทำการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการใช้งานของระบบ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบใช้ความแม่นยำเป็นปัจจัยในการประเมิน โดยทำการทดสอบความแม่นยำ (Accuracy) ในการการจดจำและตรวจสอบใบหน้าบุคคลจำนวน 100 คน พบว่ามีค่าความแม่นยำร้อยละ 98 และค่าความพึงพอใจในการยอมรับการใช้งานระบบโดยใช้โมเดล UTAUT ซึ่งประเมินจากกลุ่มผู้ใช้งานทั้ง 3 ชุมชน ชุมชนละ 50 คน ผลที่ได้จากการประเมินพบว่า มีค่าเฉลี่ย 4.00 อยู่ในเกณฑ์ระดับเห็นด้วยมาก โดยสรุปผลงานวิจัยได้ว่า การนำเทคโนโลยีชีวมิติในการการจดจำและตรวจสอบใบหน้าของคนที่เข้ามาในชุมชนมีประสิทธิภาพดีและได้รับการยอมรับในการใช้งานในเกณฑ์ดีมาก โดยชุมชนที่มีความต้องการจะใช้งานในทันทีได้แก่ ชุมชนหอพัก รองลงมาได้แก่ชุมชนหมู่บ้านจัดสรร และชุมชนท้องถิ่น หมู่บ้านจัดสรรตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคโนโลยีชีวมิติ การตรวจสอบบุคคล การจดจำและตรวจสอบใบหน้า ความปลอดภัยในชุมชน แพลตฟอร์มราสเบอร์รี่พาย

ABSTRACT

To develop a digital innovation to prevent strangers entering the community. The objective of this research is to assess the effectiveness of personal identification devices in the community with biometric technology for face detection and recognition; and to assess the adoption of an equipment to use in different communities. We applied biometric technology for developing the face recognition system on the Raspberry Pi platform; we implemented the system in various types of communities such as a local community, dormitory/condominium community, and village community. This research used the accuracy as the main factor for system efficiency evaluation. The system was tested by using 100 persons as a sampling test. The system efficiency evaluation result found that the accuracy rate is 0.98. After the system implementation in 3 types of community, we applied UTAUT model to evaluate the system satisfaction in term of the system acceptance by using a sample of 50 persons for each community. The result found that the average mean of the system satisfaction in the good level with mean 4.00. As the results of the experiment, we can conclude that applying the biometric technology for preventing strangers entering into the community has a good results in both of performance and acceptance rate. We also concluded that the dormitory/condominium community require the system immediately, followed by a local community and village community, respectively.

Keywords: biometric technology, personal verification, facial recognition, social security, raspberry pi platform

บทนำ

ปัญหาการที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในสังคมไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้แก่ การลักทรัพย์ การบุกรุก โดยผู้ไม่ประสงค์ดี ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ถึงแม้ความเจริญของเทคโนโลยีจะพัฒนาไปไกลเพียงใด แต่การเกิดปัญหาเหล่านี้ยังคงเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ การใช้เทคโนโลยี อาทิเช่นการติดกล้องวงจรปิด ตามจุดต่าง ๆ สามารถช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถทราบได้ว่าเกิดเหตุการณ์ใดขึ้น ซึ่งเป็นการค้นหาตรวจสอบเพื่อหาตัวผู้กระทำผิด ซึ่งหลายครั้งสามารถจับตัวคนร้ายได้ แต่ก็มีหลายครั้งที่ไม่สามารถตามหาตัวคนร้ายเจอแม้ว่าจะมีภาพจากกล้องวงจรปิดก็ตาม และในบางครั้งกล้องวงจรปิดที่มีคุณภาพดีก็มีราคาสูง ส่งผลให้การตรวจสอบมีพื้นที่จำกัด หรืออาจทำให้ต้องลดคุณภาพของกล้องลงเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น แต่ก็จะทำให้คุณภาพและรายละเอียดของภาพลดลงไป อีกทั้งการใช้กล้องวงจรปิดยังเป็นการป้องกันการเกิดเหตุไม่ได้ ทำได้เพียงดูเหตุการณ์ย้อนหลัง ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการแก้ปัญหาในรูปแบบการป้องกันก่อนที่จะเกิดเหตุ (Preventive) โดยนำเสนอการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาสร้างเป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบคนแปลกหน้าที่เข้ามาในพื้นที่เพื่อให้ผู้ดูแลพื้นที่ได้เฝ้าระวังก่อนที่จะเกิดเหตุใด ๆ

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งหรือ Internet of things (IoT) ในหลากหลายด้าน เพื่อส่งเสริมให้การทำงานด้านต่าง ๆ มีประสิทธิภาพที่มากยิ่งขึ้น อาทิเช่น การทำฟาร์มเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm) การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) โรงเรียนอัจฉริยะ (Smart School) และอื่น ๆ

ซึ่งจากปัญหาในตรวจสอบการใช้อุปกรณ์ในการตรวจสอบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมีราคาไม่สูงนักเมื่อเทียบกับการใช้กล้องวงจรปิด อีกทั้งติดตั้งได้ง่าย

เทคโนโลยีชีวมิติในปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ โดยส่วนมากเป็นการนำมาใช้ในการตรวจสอบตัวบุคคล (Personal Verification) การระบุตัวตน (Personal Identification) โดยมีหลักการนำสิ่งต่าง ๆ ที่มนุษย์มีมาใช้แทนการจดจำรหัส การระบุตัวตนด้วยเอกสารต่าง ๆ ซึ่งไม่สะดวกและอาจเกิดปัญหาการปลอมแปลงได้ง่าย การตรวจสอบและจดจำใบหน้าเป็นการใช้เทคโนโลยีชีวมิติรูปแบบหนึ่งในหลาย ๆ รูปแบบ อาทิเช่น การใช้ลายนิ้วมือ เสียง ฝ่ามือ ม่านตา และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งการที่จะเลือกใช้ชีวมิติแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น งบประมาณ ความเหมาะสม ความมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกการตรวจสอบและจดจำใบหน้ามาประยุกต์ใช้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้หาได้ง่าย ราคาไม่สูงนัก โดยทำการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบบุคคลในการเข้าออกชุมชนผู้อยู่อาศัยหรือหมู่บ้านด้วยการจดจำใบหน้า ตรวจสอบว่ามีบุคคลภายนอกเข้ามาในพื้นที่ของชุมชน หมู่บ้าน หรือที่พักอาศัยหรือไม่ เพื่อความปลอดภัยของคนในชุมชนและเพื่อให้ผู้ที่มีหน้าที่ในการดูแลชุมชนได้มีนวัตกรรมเพื่อการบริหารและจัดการในอนาคต โดยการพัฒนากระบวนการการจดจำและตรวจสอบใบหน้าบนอุปกรณ์ Raspberry Pi และ Raspberry Camera โดยทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่าน Cloud Service ซึ่งการใช้ Raspberry Pi เป็นอุปกรณ์หลักในงานวิจัยนี้เนื่องจากมีคุณภาพสูงกว่าบอร์ด IoT ในการประมวลผลภาพ และมีขนาดเล็กกว่า PC ทำให้การนำไปติดตั้งไม่กินพื้นที่มากนัก อีกทั้งยังใช้พลังงานต่ำทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการเดินสายไฟไปยังอุปกรณ์ (Dass et al., 2020)

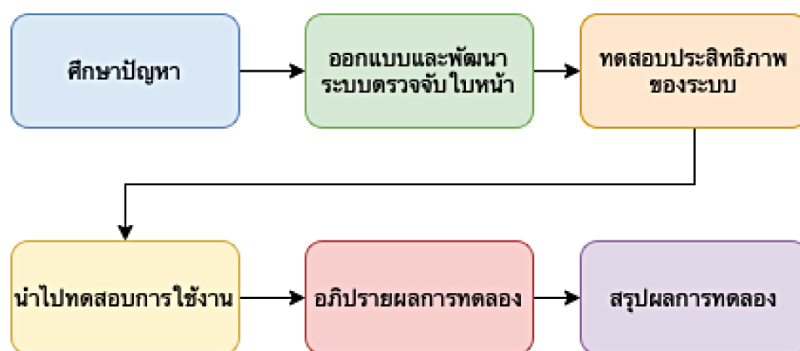
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจสอบบุคคลในชุมชนด้วยเทคโนโลยีชีวมิติในการตรวจสอบและจดจำใบหน้า และเพื่อประเมินการยอมรับการนำอุปกรณ์ ไปใช้งานในชุมชนในรูปแบบต่าง ๆ กัน โดยมีการตั้งสมมติฐานดังนี้

H₁: ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจสอบบุคคลในชุมชนด้วยเทคโนโลยีชีวมิติในการตรวจสอบและจดจำใบหน้ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดี

H₂: ความพึงพอใจในการยอมรับการใช้งานอุปกรณ์ตรวจสอบบุคคลในชุมชนด้วยเทคโนโลยีชีวมิติในการตรวจสอบและจดจำใบหน้าอยู่ในเกณฑ์ดี

วิธีการ

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาปัญหาในเรื่องความปลอดภัยในชุมชนผู้อยู่อาศัย โดยได้ทำการสำรวจชุมชนผู้อยู่อาศัยในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ กลุ่มผู้อยู่อาศัยในท้องถิ่นชนบท กลุ่มชุมชนผู้อาศัยในคอนโดมิเนียม กลุ่มผู้อยู่อาศัยในหมู่บ้านจัดสรร เพื่อศึกษารูปแบบของความปลอดภัยในแต่ละประเภทของชุมชน จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบนวัตกรรม IoT เพื่อที่จะนำมาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยหลักการออกแบบและพัฒนาในการสร้างเครื่องมือนี้ใช้หลักการ SDLC มาเป็นกรอบในการออกแบบและพัฒนา หลังจากทำการพัฒนาเครื่องมือจนแล้วเสร็จได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นจึงนำเครื่องมือไปใช้ในการทำงานจริงในชุมชนทั้ง 3 รูปแบบ เพื่อทำการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

1. ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาปัญหา

ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานในการวิจัยว่า การนำเทคโนโลยีชีวมิติมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบบุคคลในชุมชนสามารถสร้างความเชื่อมั่นทางด้านความปลอดภัยให้กับคนในชุมชนได้ในระดับดี โดยได้ทำการแบ่งกลุ่มของชุมชนผู้อยู่อาศัยเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้อยู่อาศัยในท้องถิ่น กลุ่มชุมชนผู้อยู่อาศัยในคอนโดมิเนียม และกลุ่มผู้อยู่อาศัยในหมู่บ้านจัดสรร โดย กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย มีดังนี้

1.1 กลุ่มชุมชนผู้อยู่อาศัยในท้องถิ่น ได้แก่ กลุ่มชุมชนที่อาศัยในเขตด้านนอกของตัวเมือง โดยจะมีศูนย์กลางของชุมชนเป็นที่ยกย่องกิจกรรมต่าง ๆ ของคนในชุมชน การอยู่อาศัยในลักษณะนี้คนในชุมชนจะมีความใกล้ชิดกัน รู้จักคนในชุมชนด้วยกันเป็นอย่างดี การดูแลความปลอดภัยของคนในชุมชนจะมีผู้นำชุมชนเป็นหลักและคนในชุมชนช่วยกันดูแล (Muchima, 1979)

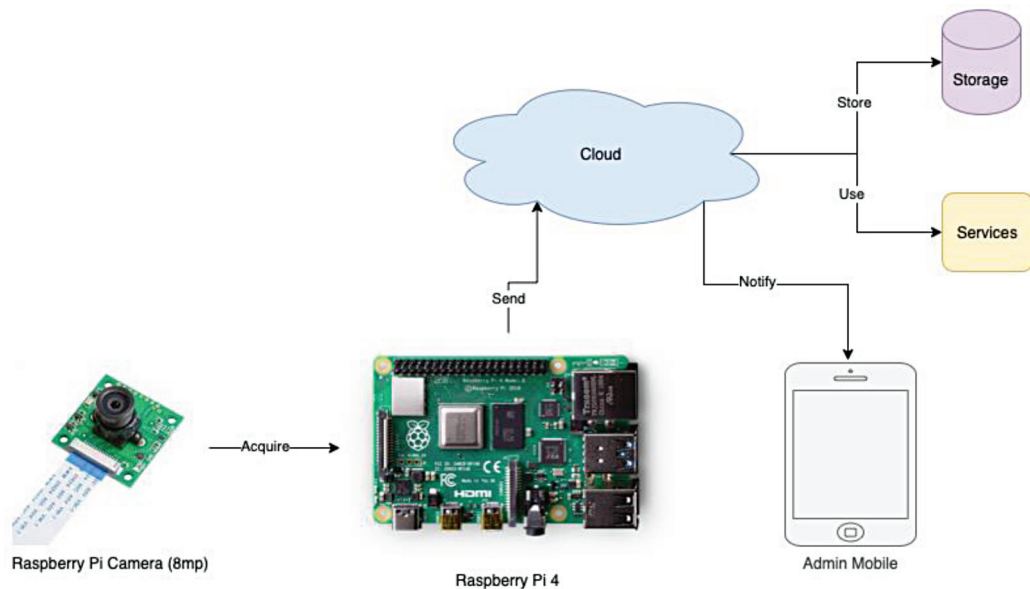
1.2 กลุ่มชุมชนผู้อยู่อาศัยในคอนโดมิเนียม ได้แก่ กลุ่มชุมชนที่อยู่กันใอาคารเดียวกัน มีพื้นที่สาธารณะเป็นส่วนกลาง มีบุคลากรที่เป็นนิติบุคคลเป็นผู้บริหารและดูแลเรื่องต่าง ๆ ในที่พักอาศัย โดยเป็นลักษณะชุมชนเมืองซึ่งมีลักษณะการอยู่อาศัยแบบตัวใครตัวมัน มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนในชุมชนน้อย (Phanmanavin, 1980) การดูแลความปลอดภัยจะเป็นหน้าที่ของนิติกรเป็นหลัก และมีการเก็บค่าบริการในส่วนกลางค่อนข้างสูง

1.3 กลุ่มชุมชนผู้อยู่อาศัยในหมู่บ้านจัดสรร ได้แก่ กลุ่มชุมชนที่อยู่กันในรูปแบบของหมู่บ้าน โดยมีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เดียวกัน โดยจะอยู่ในทั้งในชุมชนเมืองและท้องถิ่น โดยการดูแลความปลอดภัยและเรื่องต่าง ๆ จะทำโดยคณะกรรมการบริหารหมู่บ้าน กลุ่มผู้อยู่อาศัยกลุ่มนี้มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างชุมชนท้องถิ่นและชุมชนคอนโดมิเนียม กล่าวคือ มีการปฏิสัมพันธ์กันบ้าง แต่ไม่ถึงระดับช่วยกันดูแลแบบใกล้ชิด

2. ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้า

ในการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าในงานวิจัยนี้ ใช้หลัก System Develop Life Cycle (SDLC) เป็นกรอบในการออกแบบและพัฒนา โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคโนโลยี IoT มาใช้เป็นแพลตฟอร์ม โดยใช้ Raspberry Pi 4 เป็นตัวประมวลผล และใช้กล้อง Web Camera ของ Raspberry Pi Camera (8mp) ในการบันทึกภาพ โดยเชื่อมต่อกับเทคโนโลยี Cloud เพื่อทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลและให้บริการต่าง ๆ ในระบบ รวมถึงการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์มือถือของผู้ดูแลระบบอีกด้วย



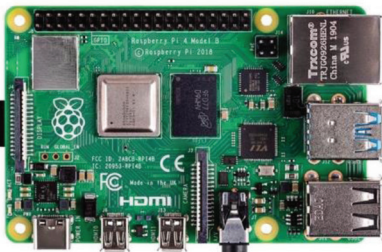
ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมของระบบตรวจจับใบหน้า

2.2 การออกแบบอุปกรณ์ Hardware ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ในตารางที่ 1 มาทำการประกอบในกล่องเพื่อนำไปทำการติดตั้งยังพื้นที่ที่ต้องการ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่ออุปกรณ์	คุณสมบัติ
	Raspberry Pi Camera (8mp) - คำสั่งถ่ายวิดีโอ - ความยาว 10 วินาที - ความละเอียดสูงสุด 1920 x 1080 - เฟรมเรต 30 เฟรมต่อวินาที - Video: Dimension: 25mm x 23mm x 9mm / 0.98" x 0.90" x 0.35" 1920 x 1080 (1080p), 30 fps 1280 x 720 (720p), 60 fps 640 x 480 (480p), 90 fps - Weight: (Camera board + attached cable): 3.4g

ตารางที่ 1 (ต่อ)

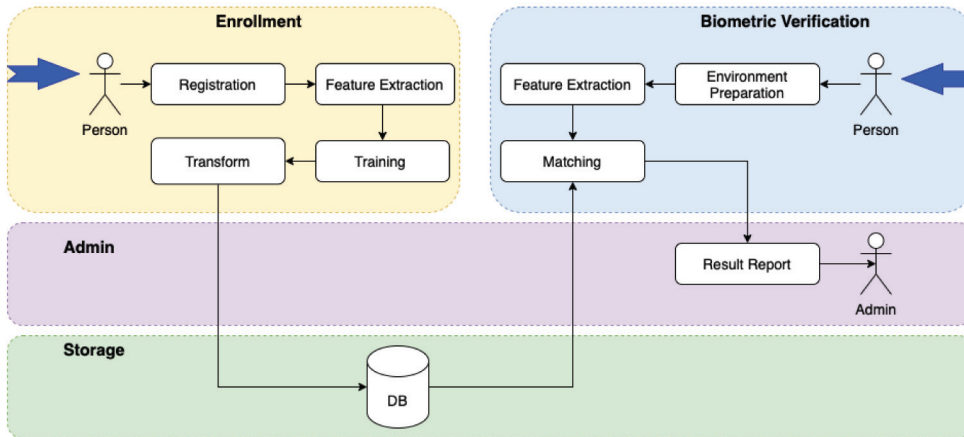
ชื่ออุปกรณ์	คุณสมบัติ
	Raspberry Pi 4 Model B - 4GB โปรเซสเซอร์ Cortex-A72 แบบ 4 คอร์ รุ่น 64 บิต จาก Broadcom 2711. 2GB/4GB/8GB LPDDR4 RAM. พอร์ต True Gigabit Ethernet. พอร์ต USB 3.0 “Super-Speed” จำนวน 2 พอร์ต พอร์ต USB 2.0 “High-Speed” จำนวน 2 พอร์ต ระบบไร้สาย 802.11b/g/n/ac. Bluetooth 5.0. พอร์ตคู่ micro-HDMI, วิดีโอ UHD 4K.

จากตารางที่ 1 เมื่อนำอุปกรณ์มาทำการประกอบแล้วจะได้ชุดอุปกรณ์ในลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของชุดกล่องอุปกรณ์ของระบบ

2.3 การพัฒนาซอฟต์แวร์ ในงานวิจัยนี้ใช้ภาษาไพธอน (Python) ในการเขียนโค้ด และใช้ OpenCV เป็น Framework ในการตรวจจับใบหน้าของบุคคล โดยมีกรอบการทำงานในการเขียนซอฟต์แวร์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กรอบการทำงานในการพัฒนาซอฟต์แวร์

จากภาพที่ 4 การออกแบบการใช้งานระบบตรวจจับใบหน้า ขั้นตอนการใช้งานของระบบตรวจจับใบหน้าในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) ขั้นตอนการลงทะเบียน (Enrollment)
- 2) ขั้นตอนการการจดจำและตรวจสอบใบหน้า (Authentication)
- 3) ขั้นตอนการแจ้งเตือน (Result Report)

2.4 การออกแบบส่วนประสานงานผู้ใช้ (User Interface) ลักษณะของการออกแบบส่วนประสานงานผู้ใช้ของระบบมีหลักการออกแบบโดยมุ่งเน้นให้ผู้ใช้เข้าใจได้ง่าย ไม่ต้องมีความรู้ทางด้านเทคนิคก็สามารถใช้งานได้ โดยแสดงดังภาพที่ 5, 6 และภาพที่ 7

ภาพที่ 5 หน้าจอการใช้งานของระบบ – หน้าจอในการลงทะเบียน

หน้าจอการลงทะเบียนแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่การกรอกข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลใบหน้า โดยทำการกรอกข้อมูลส่วนบุคคลก่อน แล้วจึงทำการบันทึกภาพใบหน้าโดยจะทำการบันทึกรูปภาพใบหน้าจำนวน 10 ภาพในมุมที่ต่างกันไปที่หนึ่งคน

ภาพที่ 6 หน้าจอการใช้งานของระบบ - หน้าตอนในการตรวจจับใบหน้า

การจดจำและตรวจสอบใบหน้านั้นเป็นการจับภาพใบหน้าของคนที่ผ่านมาหน้าจุดที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ไว้ โดยทำการตรวจสอบว่าข้อมูลใบหน้านั้นตรงกับข้อมูลที่ลงทะเบียนไว้ในระบบหรือไม่ ถ้าตรงจะทำการแจ้งชื่อขึ้นในหน้าจอพร้อมทั้งบอกอัตราความแม่นยำ



ภาพที่ 7 หน้าจอการใช้งานของระบบ - หน้าจอการแจ้งเตือนไปยังมือถือของผู้ดูแล

กรณีที่ข้อมูลใบหน้าไม่ตรงกับข้อมูลในระบบ จะทำการส่งข้อความพร้อมรูปภาพใบหน้านั้น ๆ ไปยังมือถือของเจ้าหน้าที่หรือผู้ที่ดูแลระบบ เพื่อทำการเฝ้าระวัง

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบชีวมิติ ในงานวิจัยส่วนมากจะใช้เกณฑ์ความแม่นยำ (Accuracy) เป็นเกณฑ์หลัก อาทิเช่น งานวิจัยของ Zhao ในเรื่อง Evaluation of biometric recognition in the Covid-10 period (Zhao et al., 2020) งานของ Al-Assam ในเรื่อง Accuracy and Security Evaluation of Multi-Factor Biometric Authentication (Al-Assam et al., 2011) และงานวิจัยของ Ammour ในเรื่อง Multimodal biometric identification system based on the face and iris (Ammour et al., 2017) ซึ่งความแม่นยำของระบบชีวมิติ ประกอบด้วย 2 ปัจจัยย่อย ได้แก่ False Match Rate (FMR) และ False Non-Match Rate (FNMR) โดย FMR คือ อัตราการจับคู่ที่ผิดพลาด หรือกล่าวได้ว่าเป็นอัตราความผิดพลาดของระบบที่ปล่อยให้ผู้ที่ไม่มีสิทธิสามารถผ่านการตรวจสอบได้ ส่วน FNMR นั้นคืออัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาด หรือกล่าวคือความผิดพลาดที่ระบบทำการปฏิเสธให้ผู้ที่ไม่มีสิทธิไม่ให้อ่านในการตรวจสอบ ในการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ โดยใช้กลุ่มทดลองในการทดสอบจำนวน 100 คน โดยใช้ข้อมูลใบหน้าในการทดสอบของฐานข้อมูล AT&T โดยที่แต่ละภาพใช้ความละเอียด 640 x 480 ซึ่งเป็นความละเอียดที่เหมาะสมที่สุดในการจดจำใบหน้า (Rukhiran et al., 2020) ซึ่งใช้วิธีการจดจำใบหน้าด้วยเทคนิค LBPH โดยสูตรในการคำนวณค่า ความแม่นยำ (Accuracy) มีดังนี้ (Ahsan et al, 2021)

$$\text{Accuracy} = 100 - \frac{(\text{FMR} + \text{FNMR})}{2}$$

$$\text{FMR} = \frac{\text{Number of false acceptance}}{\text{Number of impostor attempts}} \times 100$$

$$\text{FNMR} = \frac{\text{Number of false rejection}}{\text{Number of genuine user attempt}} \times 100$$

จากการคำนวณค่าความแม่นยำจากสูตรข้างต้น พบว่า โดยชุดอุปกรณ์ IoT ในงานวิจัยนี้มีค่า ความแม่นยำ (Accuracy) อยู่ที่ 98%

ขั้นตอนที่ 4 การนำไปทดสอบการใช้งาน

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแล้ว การนำไปทดสอบการใช้งานในกลุ่มการทดลอง ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้อาศัยในชุมชนท้องถิ่น (กลุ่มที่ 1) กลุ่มผู้อาศัยในคอนโดมิเนียม (กลุ่มที่ 2) และกลุ่มผู้อาศัย ในหมู่บ้านจัดสรร (กลุ่มที่ 3) โดยจะแต่ละกลุ่มจะแบ่งกลุ่มผู้ใช้งาน 2 ประเภท ได้แก่ ลูกบ้านและผู้ดูแล โดยทำการ สุ่มตัวอย่างโดยใช้จำนวนตัวอย่างกลุ่มละ 50 คน ประกอบด้วยผู้ดูแล 8 คน ลูกบ้าน 42 คน ในแต่ละกลุ่มชุมชน วิธี การทดสอบแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองใช้งาน - การใช้งานในหอพัก



ภาพที่ 9 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองใช้งาน - การใช้งานในหมู่บ้านจัดสรร



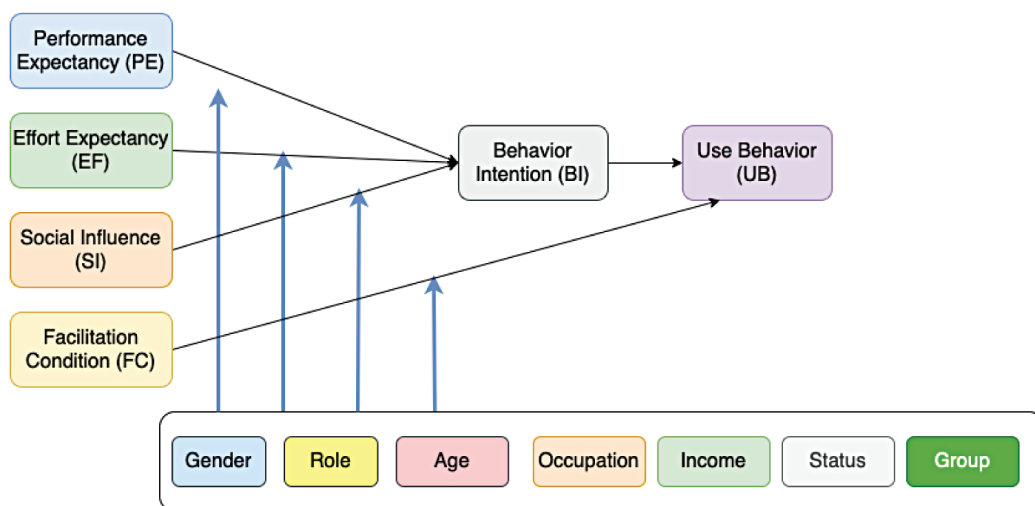
ภาพที่ 10 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองใช้งาน - การใช้งานในชุมชนท้องถิ่น

ขั้นตอนที่ 5 และ 6 อภิปรายผลและสรุปการผลทดลอง

หลังจากทำการทดลองในงานวิจัยนี้ประเมินการยอมรับเทคโนโลยีโดยใช้ The Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) ที่ได้รับการคิดค้นขึ้นโดย Viswanath Venkatesh, Michael G. Morris, Gordon B. Davis และ Fred D. Davis ในปี ค.ศ.2003 โดยเป็นทฤษฎีที่ได้มาจากการสังเคราะห์กลุ่มทฤษฎีการยอมรับในกลุ่มต่าง ๆ ไว้ด้วยกัน (Wongsumet, 2013) เป็นกรอบในการประเมิน ซึ่ง UTAUT เป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับให้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย อาทิ เช่น งานวิจัยเรื่อง Explaining Social Media Adoption for a Business Purpose: An Application of the UTAUT Model (Puriwat & Tripopsakul, 2021) ได้ใช้ UTAUT ในการประเมินการยอมรับการใช้ Social media adoption ในเชิงธุรกิจ เป็นต้น เหตุผลที่งานวิจัยนี้ได้นำ UTAUT มาใช้ในการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีเนื่องจาก

UTAUT เป็นการผสมผสานทฤษฎีต่าง ๆ ด้านพฤติกรรมกรยอมรับในหลายทฤษฎีไว้ด้วยกัน ได้แก่ ทฤษฎีการกระทำด้วยเหตุผล (TRA: Theory of Reasoned Action) ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (TPB: Theory of Planned Behavior) ทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรม (IDT: Innovation Diffusion Theory) แบบจำลองการจูงใจ (MM: Motivational Model) และแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM: Technology Acceptance Model) เพื่อที่จะลดข้อจำกัดของแต่ละทฤษฎีและเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมิน

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอกรอบแนวคิดการยอมรับเทคโนโลยี โดยทำการประเมินโดยใช้แบบสอบถามกับผู้ดูแลชุมชนและลูกบ้านที่ใช้งานระบบ ดังแสดงภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กรอบแนวคิดการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีด้วย UTAUT Model

จากภาพที่ 11 ใช้ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลในการประเมินการยอมรับในเทคโนโลยี 7 ปัจจัย ได้แก่ เพศ บทบาท อายุ อาชีพ รายได้ และสถานภาพ และกลุ่มผู้ใช้งาน โดยจะประกอบด้วยชุดคำถาม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงชุดคำถามของ UTAUT

ตัวแปรแฝง	ตัวแปรสังเกตได้	คำอธิบาย
ความคาดหวังในความพยายามใช้ (Effort Expectancy)	PE3	เป็นระบบมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล
	EE1	เป็นระบบที่เข้าใจง่าย
	EE2	เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน รายงานผลอย่างตรงไปตรงมา
	EE3	เป็นระบบช่วยลดปัญหาความปลอดภัยในที่อาศัยได้
อิทธิพลของสังคมต่อการใช้งาน (Social Influence)	SI1	เทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้นมีผลต่อการเลือกใช้งานระบบ
	SI2	บุคคลที่ให้ความรู้มีผลต่อการเลือกใช้ระบบ
	SI3	สภาพสังคมในปัจจุบันมีผลต่อการเลือกใช้งานระบบ
สภาพสิ่งอำนวยความสะดวก ในการใช้งาน (Facilitating Conditions)	FC1	คุณมีความรู้ที่จำเป็นในการใช้งานระบบ
	FC2	คุณมีคนที่สามารถช่วยคุณได้เมื่อต้องเผชิญกับปัญหาในการใช้งานระบบ
	FC3	คุณมีทรัพยากรที่จำเป็นในการใช้งานระบบ
พฤติกรรมความตั้งใจในการใช้งาน (Behavior Intention)	BI1	คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบในทันที
	BI2	คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบในอีกสักระยะ
	BI3	คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบอีกหลายเดือน
พฤติกรรมการใช้งาน (Use Behavior)	UB1	คุณชอบการแจ้งผลการตรวจสอบไปยังมือถือของผู้ดูแล
	UB2	คุณยินดีในการมอบข้อมูลชีวมิติเข้าสู่ระบบ

ระดับคะแนนในการประเมินโดยเป็นออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ในการสรุปผลประเมินความคิดเห็น

ระดับ	คะแนนเฉลี่ย
1. เห็นด้วยมากที่สุด	4.21 - 5.00
2. เห็นด้วยมาก	3.41 - 4.20
3. เห็นด้วยปานกลาง	2.61 - 3.40
4. เห็นด้วยน้อย	1.81 - 2.60
5. เห็นด้วยน้อยที่สุด	1.00 - 1.80

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยผลการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์และผลการประเมินการยอมรับการใช้งานอุปกรณ์ โดยผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยการคำนวณค่าความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ มีค่าความแม่นยำ 98% และผลการประเมินการยอมรับการใช้งานอุปกรณ์โดยการสร้างแบบสอบถามผ่านระบบ Google Form โดยทำการให้กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม กลุ่มละ 50 คน รวมทั้งสิ้น 150 คน ทำการประเมินและแสดงค่าสถิติเชิงพรรณนา ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนา

ค่าสถิติ	ลักษณะทางประชากรของกลุ่มตัวอย่าง	ความถี่	ร้อยละ
เพศ	ชาย	72	48
	หญิง	71	47.33
	อื่น ๆ	7	4.67
บทบาท	ผู้ดูแล	24	16.00
	ผู้พักอาศัย	126	14.67
อายุ	ต่ำกว่า 20 ปี	22	35.33
	21 – 30	53	32.67
	31 – 40	49	12.00
	41 – 50	18	4.67
	51 – 60	7	0.67
	มากกว่า 60 ปี	1	30.00
อาชีพ	นักเรียน/นักศึกษา	45	12.00
	พ่อบ้าน/แม่บ้าน	18	21.33
	พนักงานภาคเอกชน	32	13.33
	รับราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ	20	18.67
	อาชีพอิสระ	28	2.67
	อื่น ๆ	4	28.67
รายได้ต่อเดือน	ต่ำกว่า 15,000	43	31.33
	15,001 – 30,000	47	30.00
	30,001 – 45,000	45	6.67
	45,001 – 55,000	10	3.33
	มากกว่า 55,000	5	56.00

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ค่าสถิติ	ลักษณะทางประชากรของกลุ่มตัวอย่าง	ความถี่	ร้อยละ
สถานภาพ	โสด	84	44.00
	สมรส	66	14.67
กลุ่มที่พักอาศัย	ชุมชนท้องถิ่น	50	33.33
	ชุมชนคอนโดมิเนียม	50	33.33
	ชุมชนหมู่บ้านจัดสรร	50	33.33

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวชี้วัด

ตัวแปรแฝง	ค่าเฉลี่ย	SD	แปรผล
ความคาดหวังในประสิทธิภาพการใช้			
เป็นระบบมีการทำงานที่รวดเร็ว	4.10	0.79	มาก
เป็นระบบมีความแม่นยำสูง	4.10	0.72	มาก
เป็นระบบมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.03	0.84	มาก
ความคาดหวังในความพยายามใช้			
เป็นระบบที่เข้าใจง่าย	4.07	0.80	มาก
เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน รายงานผลอย่างตรงไปตรงมา	4.04	0.80	มาก
เป็นระบบช่วยลดปัญหาความปลอดภัยในที่อาศัยได้	4.25	0.70	มากที่สุด
อิทธิพลของสังคมต่อการใช้งาน			
เทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้นมีผลต่อการเลือกใช้งานระบบ	3.99	0.92	มาก
บุคคลที่ให้ความรู้มีผลต่อการเลือกใช้ระบบ	3.97	0.85	มาก
สภาพสังคมในปัจจุบันมีผลต่อการเลือกใช้งานระบบ	3.93	0.91	มาก
สภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน			
คุณมีความรู้ที่จำเป็นในการใช้งานระบบ	4.02	0.83	มาก
คุณมีคนที่สามารถช่วยคุณได้เมื่อต้องเผชิญกับปัญหาในการใช้งานระบบ	3.93	0.89	มาก
ในชุมชนของท่านคุณมีความพร้อมที่จำเป็นในการใช้งานระบบ	4.05	0.87	มาก

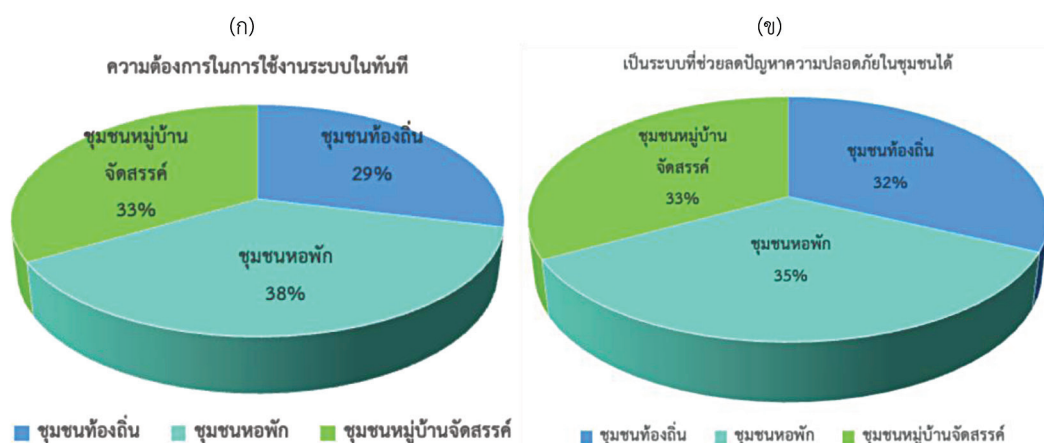
ตารางที่ 5 (ต่อ)

ตัวแปรแฝง	ค่าเฉลี่ย	SD	แปรผล
พฤติกรรมความตั้งใจในการใช้งาน			
คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบในทันที	4.14	0.80	มาก
คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบในอีกสักระยะ	4.03	0.85	มาก
คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบอีกหลายเดือน	3.18	0.95	ปานกลาง
พฤติกรรมการใช้งาน			
คุณชอบการแจ้งผลการตรวจสอบไปยังมือถือของผู้ดูแล	4.09	0.81	มาก
คุณยินดีในการมอบข้อมูลชีวมิติเข้าสู่ระบบ	4.01	0.81	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.00	0.83	มาก

จากตารางที่ 4 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนา พบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับเห็นด้วยมาก มีค่าเฉลี่ย 4.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 โดยประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ การเป็นระบบช่วยลดปัญหาความปลอดภัยในที่อาศัยได้โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.25 และประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้แก่ คุณคิดว่าจะเริ่มใช้งานระบบอีกหลายเดือน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเท่ากับ 3.18

การแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวชี้วัดแบ่งตามกลุ่มทดสอบ

จากผลการสำรวจพบว่าปัจจัยที่มีคะแนนมากที่สุดได้แก่การเป็นระบบที่ช่วยลดปัญหาความปลอดภัยในชุมชนได้ และรองลงมาได้แก่ความต้องการที่จะใช้งานระบบในทันที ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 (ก) แผนภูมิแสดงร้อยละของความต้องการในการใช้งานระบบในทันทีในแต่ละชุมชน

(ข) ร้อยละของการเป็นระบบที่ช่วยลดปัญหาความปลอดภัยในชุมชนได้

จากภาพที่ 12 (ก) พบว่ากลุ่มชุมชนที่มีความต้องการในการใช้ระบบในทันทีมากที่สุดได้แก่ ชุมชนหอพัก/คอนโด รองลงมาได้แก่ชุมชนหมู่บ้านจัดสรรและชุมชนท้องถิ่นตามลำดับ โดยมีความเห็นว่าเป็นระบบที่ช่วยลดปัญหาความปลอดภัยในชุมชนได้เรียงตามลำดับ ได้แก่ ชุมชนหอพัก ชุมชนหมู่บ้านจัดสรร และชุมชนท้องถิ่นตามลำดับ

สรุป

ในการทดสอบสมมติฐานของงานวิจัยนี้ ซึ่งมี 2 ข้อ ได้แก่ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้าว่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดีและความพึงพอใจในการยอมรับการใช้งานอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้าอยู่ในเกณฑ์ดี จากผลการทดลองพบว่า ความแม่นยำของอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้ามีความแม่นยำมีค่าร้อยละ 98 อยู่ในระดับดีมาก และค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการยอมรับเทคโนโลยี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 อยู่ในระดับเห็นด้วยในการใช้เทคโนโลยีในระดับเห็นด้วยมาก ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้าว่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดีและการความพึงพอใจในการยอมรับการใช้งานอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้าอยู่ในเกณฑ์ดี มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในชุมชน โดยชุมชนที่มีความพึงพอใจมากที่สุด ได้แก่ชุมชนหอพัก ชุมชนหมู่บ้านจัดสรร และชุมชนท้องถิ่น ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

อุปสรรคของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวมิติในการจดจำใบหน้าในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อุปสรรคในการติดตั้งใช้งาน โดยเฉพาะการใช้งานในชุมชนท้องถิ่นที่เป็นระบบเปิด มีทางเข้าออกไม่แน่นชัดทำให้การวางจุดติดตั้งอุปกรณ์มีความไม่แน่นอนซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถครอบคลุมได้ทั่วทั้งพื้นที่ชุมชน อีกทั้งยังต้องระวังปัญหาการขโมยหรือทำลายอุปกรณ์จากผู้ไม่ประสงค์ดี อุปสรรคอีกประการ ได้แก่ชุมชนผู้ใช้งานยังมีความกังวลเกี่ยวกับการยินยอมให้ระบบทำการเก็บข้อมูลใบหน้าเข้าสู่ระบบซึ่งในกรณีที่ข้อมูลรั่วไหลอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับเจ้าของใบหน้าได้ ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริง ผู้พัฒนาควรให้ความสำคัญในเรื่องของความปลอดภัยของข้อมูลให้เป็นลำดับแรก ๆ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการนำอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้ามาใช้ในการเฝ้าระวังคนแปลกหน้าที่เข้ามาในชุมชนผู้อาศัย ในการนำไปใช้จริงในอนาคตควรที่จะเน้นในเรื่องความปลอดภัยของข้อมูลสถาปัตยกรรมในการจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งการยินยอมของผู้พักอาศัยในชุมชนนั้น ๆ อีกทั้งตัวอุปกรณ์การจดจำและตรวจสอบใบหน้าในงานวิจัยนี้เป็นเพียงต้นแบบ ยังขาดในเรื่องความทนทานของตัวอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Ahsan, M. M., Li, Y., Zhang, J., Ahad, M. T., & Gupta, K. D. (2021). Evaluating the Performance of Eigenface, Fisherface, and Local Binary Pattern Histogram-Based Facial Recognition Methods under Various Weather Conditions. *Technologies* 2021, 9, 31.
- Al-Assam, H., Sellahewa, H., & Jassim, S. (2011). Accuracy and Security Evaluation of Multi-Factor Biometric Authentication. *International Journal for Information Security Research*. 1. 11-19.
- Ammour, B., Bouden, T., & Amira-Biad, S. (2017). *Multimodal biometric identification system based on the face and iris*. 2017 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes (ICEE-B), 1-6.

- Dass, S., Sadrulhuda, M., Pasha, N., Nayan, N., & S, J. (2020). Real Time Face Recognition using Raspberry Pi. **International Journal of Computer Applications**, 176(33), 1-4.
- Muchima, P. (1979). **Rural Sociology**. Krung Thep Maha Nakhon: Thammasat Printing house. (in Thai).
- Phanmanavin, N. (1980). **Rural Sociology**. Krung Thep Maha Nakhon: Kasetsart University. (in Thai).
- Puriwat, W., & Tripopsakul, S. (2021). Explaining Social Media Adoption for a Business Purpose: An Application of the UTAUT Model. **Sustainability** 2021, 13(4), 2082.
- Rukhiran, M., Netinant, P., & Elrad, T. (2020). Effecting of environmental conditions to accuracy rates of face recognition based on IoT solution. **Journal of Current Science and Technology**, 10(1), 21-33.
- Wongsumet. P. (2013). Factors Influencing the Adoption of Web-Based Learning System. **Bangkok University Executive Journal**. 33(3), 1-9. (in Thai).
- Zhao, Y., Xu, J., Wu, J., Hao, J., & Qian, H. (2020). Enhancing Camera-Based Multimodal Indoor Localization with Device-Free Movement Measurement Using Wi-Fi. **IEEE Internet of Things Journal**, 7(2), 1024-1038.
-

การตรวจเอกลักษณ์ทางเภสัชเวทและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรว่านนางคำ

MACROSCOPIC EXAMINATION AND MICROSCOPIC EXAMINATION, ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *Curcuma aromatica* Salisb.

นฤมล วิถีธรรมศักดิ์* นพวรรณ พรศิริ และ กุลภัสร โภชนกุล

สาขาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร

Naruemon Witheethummasak*, Nopphawan Pornsiri and Kullaphat Pochanakul

Department of Applied Thai Traditional Medicine, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok.

*E-mail: Naruemon.w@pnru.ac.th

Received: 2022-03-22

Revised: 2022-05-09

Accepted: 2022-05-20

บทคัดย่อ

ว่านนางคำ (*Curcuma aromatica* Salisb.) จัดอยู่ในวงศ์ขิง (Zingiberaceae) เป็นสมุนไพรไทยที่ใช้ในแพทย์แผนไทยเป็นเวลานานการศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อการตรวจเอกลักษณ์ทางเภสัชเวทและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรว่านนางคำ แหล่งที่มาจากกรมวิชาการเกษตรและการประเมินลักษณะทางมหัพรรณและจุลพรรณของเครื่องยาสมุนไพร ดูลักษณะภายนอกและลักษณะผงยาสมุนไพรว่านนางคำและมีการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีโดยใช้แผ่นซิลิกาเจล 60 GF254 เป็นวัสดุภาคคงที่โดยใช้ตัวทำละลายโครโรฟอร์มต่อเมทานอล (9:1) รวมทั้งแก๊สโครมาโทกราฟี การสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำและวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี การระบอบองค์ประกอบทางเคมีที่ระเหยง่ายได้ดำเนินการโดยการวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมทรี พบว่า มีน้ำมันหอมระเหยที่พบมากที่สุดคือ β -Curcumene ใน retention time ที่ 31.25 คิดเป็นร้อยละ 49.83 ของพื้นที่ รองลงมา ได้แก่ α -Curcumene retention time ที่ 29.97 คิดเป็นร้อยละ 30.48 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม Curcuminoids และมีการศึกษาการต้านฤทธิ์ออกซิเดชันด้วยวิธีการต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช พบว่า สารสกัดว่านนางคำมีฤทธิ์ที่ $IC_{50} = 0.207$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารควบคุมกลุ่มเชิงบวกแอสคอร์บิก แอซิด พบว่ามีฤทธิ์ที่ $IC_{50} = 0.195$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารบีเอชที พบว่ามีฤทธิ์ที่ $IC_{50} = 8.460$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและสารเคซีที พบว่ามีฤทธิ์ที่ $IC_{50} = 3.137$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

คำสำคัญ: ว่านนางคำ เภสัชเวท ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี แก๊สโครมาโทกราฟี ดีพีพีเอช

ABSTRACT

Curcuma aromatica Salisb. (Zingiberaceae) have been used in traditional Thai medicine for a long time. This study was carried out to develop the pharmacognostic specifications by

qualitative content of *C. aromatica* Salisb. The sample was collected from the Department of Agriculture in Thailand. Macroscopic and microscopic characteristics of crude drug was illustrated. The physicochemical parameters of *C. aromatica* Salisb. was prelim analyzed by thin layer chromatography (TLC) using silica gel60 GF254 as stationary phase. Chloroform and methanol (9:1) were used as mobile phase. Volatile oils were extracted using steam distillation method and subjected to gas chromatographic analysis. Identification of the volatile chemical constituents were performed by Gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) analysis. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) was demonstrated the most common volatile oil was β -Curcumene in retention time at 31.25, accounting for 49.83 % of the area, followed by α -Curcumene retention time at 29.97 %, accounting for 30.48 %, respectively. It is a substance in the Curcuminoids group. The free radical scavenging potentials of the ethanolic extract of *C. aromatica* Salisb. was demonstrated with the IC_{50} of 0.207 μ g/ml for DPPH and the IC_{50} of 0.195 μ g/ml for Ascorbic acid, the IC_{50} of 8.460 μ g/ml for BHT, the IC_{50} of 3.137 μ g/ml for Quercetin.

Keywords: *Curcuma aromatica* Salisb., pharmacognostic, thin layer chromatography, Gas chromatography, DPPH

บทนำ

ว่านนางคำ (*Curcuma aromatica* Salisb.) เป็นว่านที่อยู่ในกลุ่มหรือวงศ์เดียวกันกับข่า และขิง และมีลักษณะคล้ายกับขมิ้น มีใบกว้าง และใหญ่กว่า และมีแถบแดงที่ขอบ และเส้นกลางใบ เป็นว่านที่ส่วนใหญ่นิยมนำหัวว่านมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์เสริมความงาม เครื่องสำอาง รวมถึงใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาโรคต่าง ๆ โดยประโยชน์ทางยาทางแพทย์แผนไทย มีสรรพคุณใช้ฝนแก้เม็ดผื่นคันและโรคผิวหนังชนิดคันอย่างรุนแรง รับประทานเป็นยาขับลมในลำไส้ แก้ปวดท้อง แก้ฟกช้ำและข้อเคล็ดหรือห่อทำลูกประคบใช้ประคบแก้โรคเหน็บชา ชาตามกล้ามเนื้อ ชาตามแขนขา (Shamim, 2011)

กรมวิชาการเกษตรจึงได้เร่งผลักดันให้เกษตรกรปลูกสมุนไพรภายใต้ระบบ GAP เพื่อยกระดับคุณภาพและมาตรฐานสมุนไพรไทยให้เป็นที่ยอมรับ ซึ่งได้เร่งผลักดันให้เกษตรกรปลูกสมุนไพรชนิดหนึ่งใน 18 ชนิด ได้แก่ กระชาย กระชายดำ ขมิ้นชัน บัวบก ขิง ข่า อบเชย ว่านหางจระเข้ ว่านชักมดลูก ว่านนางคำ ฟ้าทะลายโจร ฟักข้าว เจริญกุลหลาน เพกา เพชรสังฆาต มะดัน หญ้าปักกิ่ง หญ้าหวาน จำนวน 818 ราย เป็นพื้นที่ 2,842.46 ไร่ โดยในจำนวนดังกล่าว เป็นสมุนไพรประเภท Product champion คือ บัวบก ไพล กระชายดำและขมิ้นชัน จำนวน 134 ราย คิดเป็นพื้นที่ 165.23 ไร่ และเตรียมเข้าระบบรับรองแปลงอินทรีย์ มีพืช 21 ชนิด ได้แก่ กระชาย กระชายดำ ขมิ้นชัน บัวบก ขิง ข่า อบเชย ว่านน้ำ ว่านหางจระเข้ ว่านชักมดลูก ว่านนางคำ ฟ้าทะลายโจร ฟักข้าว หญ้าปักกิ่ง ย่านาง หญ้าหวาน เจตมูลเพลิง เจริญกุลหลาน เพกา เพชรสังฆาต กระเทียม จำนวน 458 ราย พื้นที่ 280.1 ไร่ โดยมี Product champion บัวบก ไพล กระชายดำ ขมิ้นชัน รวม 47 ราย พื้นที่ 39.88 ไร่ ซึ่งว่านนางคำเป็นสมุนไพรเศรษฐกิจที่สำคัญ (Department of Agriculture, 2019)

สมุนไพรไทยที่มีศักยภาพตรงความต้องการของตลาด การพัฒนาอุตสาหกรรมและตลาดสมุนไพรให้มีคุณภาพระดับสากล การส่งเสริมการใช้เพื่อการรักษาโรค เสริมสร้างสุขภาพ และการสร้างความเข้มแข็งด้านการ

บริหารและนโยบายภาครัฐเพื่อขับเคลื่อนสมุนไพรอย่างยั่งยืนกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการขับเคลื่อนด้านวัตถุดิบสมุนไพร ขับเคลื่อนเป้าหมายยุทธศาสตร์ที่ 1 ในประเด็นที่ 1 การส่งเสริมผลิตผลสมุนไพรไทยที่มีศักยภาพตรงความต้องการของตลาด ประกอบกับ แผนการส่งเสริมการเพิ่มผลิตภาพสมุนไพรที่มีคุณภาพสู่การผลิตสมุนไพรที่มีมูลค่าสูง สนับสนุนให้เกิดเศรษฐกิจ BCG เพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคเกษตร กระจายรายได้สู่เกษตรกร

โดยต้นน้ำ ผลิตสมุนไพรปลอดภัยให้ได้มาตรฐาน GAP หรือเกษตรอินทรีย์ใช้เทคโนโลยีในการผลิต มีการปลูกแปลงใหญ่ สนับสนุนกลุ่มวิสาหกิจ สหกรณ์ กลางน้ำ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มมูลค่า มีนวัตกรรมต่อยอด มีการลงทุนวิจัย และปลายน้ำ ส่งเสริมตลาดชุมชน ออนไลน์ตลาดกลางสมุนไพร โดยมีการขับเคลื่อนการผลิตสมุนไพร กำหนดพืช Product champion 12 ชนิด ได้แก่ กวาวเครือขาว กระชายดำ ขมิ้นชัน บัวบก มะขามป้อม กระชาย พริก พืชทะเลยาโจร กระเจี๊ยบแดง หนุ่ยหวาน ว่านหางจระเข้ โพลี ทั้งนี้ในปี 2564 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ดำเนินการส่งเสริมการปลูกพืชสมุนไพรให้เกษตรกร จำนวน 363,353 ราย รวมพื้นที่ปลูกสมุนไพร 1,151,495 ไร่ ทั้งนี้ ได้ส่งเสริมการจัดทำมาตรฐานเพื่อส่งเสริมการผลิตสมุนไพร Product Champion 12 ชนิด ให้ได้คุณภาพมาตรฐาน โดย กรมวิชาการเกษตร ดำเนินการพัฒนาห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน (ISO 17025) เพื่อรองรับการให้บริการการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบสมุนไพร กรมส่งเสริมการเกษตร กรมวิชาการเกษตร สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม กรมพัฒนาที่ดิน กรมส่งเสริมสหกรณ์สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมปศุสัตว์ ร่วมจัดทำระบบฐานข้อมูลสมุนไพร โดยมีศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เป็นหน่วยงานกลางในการจัดทำระบบฐานข้อมูลสมุนไพรต่อไป (Department of Agriculture, 2019) ร่างกายของมนุษย์เรานั้นมีผลเสียมากมายที่ทำให้เกิดโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ การเจ็บป่วยต่าง ๆ เนื่องจากความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเรา ไม่ว่าจะเป็นอาหารทอด อาหารย่าง อาหารปิ้ง เป็นต้น รวมทั้งอากาศเสีย มลภาวะควัน ทำให้ร่างกายมีการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ เนื่องจากเกิดจากอนุมูลอิสระที่มาจากร่างกายหรือสิ่งแวดล้อมภายนอกที่ก่อให้เกิดโรคร้ายต่าง (Rizwana, 2015) ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีบทบาททั้งที่จำเป็นและสำคัญต่อร่างกายและอีกด้านหนึ่งถ้าไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จากสารก่ออนุมูลอิสระจะสามารถก่อการบาดเจ็บ และสามารถเกิดโรคร้ายได้ สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีในร่างกาย เช่น วิตามิน ซี อี กรดไลโปอิก เบต้า-แคโรทีน เป็นต้น (Kukongviriyapan, 2015)

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการตรวจเอกลักษณ์ทางเภสัชเวทและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรว่านางคำเพื่อเป็นหลักในการเลือกใช้สมุนไพรและมาตรฐานในการผลิตยา ส่งเสริมศักยภาพในการผลิต ทั้งการผลิตยาในการรักษาโรคต่าง ๆ ที่ได้มาตรฐานต่อไป รวมทั้งกรมวิชาการเกษตรได้เร่งผลักดันให้เกษตรกรปลูกสมุนไพรชนิดหนึ่งใน 18 ชนิด (Department of Agriculture, 2019)

วิธีการ

ขั้นที่ 1 การเก็บตัวอย่าง

ศึกษาสมุนไพรและแหล่งที่เก็บสมุนไพร โดยได้รับการตรวจพิสูจน์ (Authentication) เปรียบเทียบเพื่อยืนยันชนิดของตัวอย่างสมุนไพร (Herbarium) จากตัวอย่างพันธุ์ไม้อ้างอิง จากสำนักหอพันธุ์ไม้ กรมอุทยานสัตว์ป่าและพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร ร่วมกับการยืนยันชนิดของพันธุ์ไม้จากผู้เชี่ยวชาญ

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างสมุนไพรว่านางคำ (ส่วนเหง้า) จากกรมวิชาการเกษตร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยศึกษา

สมุนไพรและแหล่งที่เก็บสมุนไพร โดยได้รับการตรวจพิสูจน์ (Authentication) เปรียบเทียบ เพื่อยืนยันชนิดของตัวอย่างสมุนไพร (Herbarium) จากตัวอย่างพันธุ์ไม้อ้างอิง จากสำนักหอพันธุ์ไม้ กรมอุทยานสัตว์ป่าและพันธุ์พืช ร่วมกับการยืนยันชนิดของพันธุ์ไม้จากผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นที่ 2 ศึกษาวิธีการทดลอง ทฤษฎีต่าง ๆ ในการทำการทดลอง

การตรวจเอกลักษณ์ทางเภสัชเวท

คุณลักษณะของ monograph ของสมุนไพร ในแต่ละ monograph ของแต่ละตัวยาประกอบด้วยข้อกำหนดถือว่าเป็นข้อบังคับ (Requirements) และข้อกำหนดในรูปแบบทั่วไป (General Notices) ซึ่งอย่างไรก็ตามโดยทั่วไปตรวจสอบเอกลักษณ์ทางมหรรณ (Macroscopical) และจุลทรรศน์ (Microscopical) ซึ่งเป็นการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเภสัชเวท

1. ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางมหรรณ (Macroscopical)

นำตัวอย่างมานางคำการศึกษาที่เห็นได้ประสาทสัมผัส เช่น การมอง การดมกลิ่น ลักษณะภายนอกที่เห็น ใบ ราก ลำต้น เป็นต้น หลังจากนั้นนำมาตรวจโดยกำหนดอัตราส่วนที่ถูกต้อง

2. ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางจุลทรรศน์ (Microscopical)

นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดเป็นผง โดยการนำมาใส่สไลด์ส่องกล้องจุลทรรศน์จำนวนเล็กน้อย แล้วใช้พู่กันเกลี่ยให้เข้ากัน นำน้ำมาใส่สไลด์เล็กน้อยแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำส่องกล้องจุลทรรศน์ใช้กำลังขยาย 4x 10x 20x เพื่อดูลักษณะของสมุนไพรอย่างละเอียด

การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมี

1. ตรวจสอบเอกลักษณ์ขององค์ประกอบทางเคมีบนกระดาษโดยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (Thin-layer Chromatographic identification: TLC)

การเตรียมสารละลาย

นำตัวอย่างผงมาชั่งน้ำหนักแบบแห้ง 2 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปอังในเตาความร้อน เมื่อได้ตะกอนเติมเอทานอล 1000 ไมโครลิตร เพื่อละลายเป็นสารละลาย โดยวิธีการ นำเอาได้ปิเปตดูบรรจุสารละลาย จำนวน 3 ไมโครลิตร ลงในบนแผ่นซิลิกาเจล (TLC Silica gel 60 F254) โดยแต่ละตัวอย่างห่างกัน 1 เซนติเมตรแล้วผึ่งให้แห้ง การตรวจสอบและนำแผ่นซิลิกาเจลใส่ในอุปกรณ์คอลัมน์ (column) ที่เตรียมสารละลายขนาด 10x10 เซนติเมตร โดยสารละลายที่เตรียมไว้ คลอโรฟอร์ม (chloroform) : เมทานอล (methanol) อัตราส่วน 9:1 เพื่อเป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase)

2. Gas chromatography แก๊สโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับแยกตัวอย่างที่เป็นสารผสมที่ระเหยได้โดยเปลี่ยนสารผสมให้เป็นไอที่อุณหภูมิหนึ่ง ไอที่เกิดขึ้นจะถูกนำเข้าสู่คอลัมน์โดยอาศัยการพาไปของเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) หรือ carrier gas ตาม flow rate ที่ต้องการ ภายในคอลัมน์บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่ในการแยก เรียกว่า เฟสคงที่ (stationary phase) สารผสมจะถูกแยกออกเป็นส่วนๆที่คอลัมน์นี้ ด้วยความแตกต่างของสมบัติทางเคมีโครงสร้างน้ำหนักโมเลกุลโดยที่จุดเดือดสารที่แยกได้ผ่านออกไปสู่ส่วนตรวจวัด (detector) ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังระบบประมวลผล (data system) ซึ่งสามารถคำนวณและรายงานผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม ให้ทราบถึงองค์ประกอบหรือเทียบปริมาณของสารตัวอย่างได้กล่าวคือสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ วิธีการ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC 2010 plus, Shimadzu, ญี่ปุ่น) ประกอบด้วยเครื่องฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ (AOC 5000 plus, Shimadzu, ญี่ปุ่น) คอลัมน์ชนิด HP-5MS (30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร, Agilent

Technologies, เยอรมนี) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีตั้งอุณหภูมิ ของส่วนฉีดสารที่ 300 องศาเซลเซียส ปริมาตร การฉีด ตัวอย่าง 3 ไมโครลิตร โปรแกรมอุณหภูมิของตัวอย่าง เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และคงที่ไว้เป็น เวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียสต่อนาที เพิ่มอุณหภูมิต่อไป จนถึง 230 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 300 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 30 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงที่ไว้ 18 นาที เครื่องตรวจวัดมีอุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส โดยมีแก๊สฮีเลียม เป็นแก๊สตัวพาที่มี อัตราการไหลที่ความแรงเชิงเส้น 25 เซนติเมตรต่อวินาที

3. ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำมัน เป็นการกำหนดปริมาณน้ำมันหอมระเหยเป็นการควบคุมสมุนไพรรักษาวิธีหนึ่ง โดยการกลั่นด้วยไอน้ำจากน้ำ จากนั้นเก็บของเหลวที่กลั่นได้วัดในหลอดวัดปริมาตร (graduated tube) โดยน้ำ กับน้ำมันจะแยกตัวกัน และไหลกลับไปยังภาชนะที่ไกลั่น (distilling flask) โดยน้ำมันจะอยู่เหนือ น้ำ ทำให้อ่านปริมาณ ของน้ำมันได้ วิธีการโดยการชั่งตัวอย่างแบบแห้ง 100 กรัม ต้มในน้ำอุณหภูมิประมาณจุดเดือด 100-140 องศาเซลเซียส โดยใช้ความร้อนจากเครื่อง Portable Steam Distillation Unit เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยนี้ใช้กลั่นเพื่อสกัด แยกเอาน้ำมันชนิดน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil) ออกมา

4. การทดสอบอนุมูลอิสระ การทดสอบดีพีพีเอช เป็นการวัดความสามารถของสารในงานรีดิวซ์ DPPH ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระสีม่วง ดูดกลืนที่แสงความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ไปเป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว ซึ่งคำนวณ เป็น % inhibition = $\frac{(Abs_{DPPH} - Abs_{DPPH+test}) \times 100}{Abs_{DPPH}}$ เขียนเป็นกราฟระหว่าง % inhibition และ ความเข้มข้น เพื่อหาค่า IC_{50} การวิเคราะห์แปรผลของการต้านอนุมูลอิสระโดยการคิดค่า IC_{50} (Inhibitory Concentration) ของแต่ละสารตั้งต้น

การเตรียมสาร DPPH

การตรวจวัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดำเนินการในไมโครเพลท 96 หลุม สารสกัดหรือสารควบคุมที่เป็นบวก (Ascorbic acid, Quercetin, BHT) เข้มข้น 0.50 มิลลิโมล ในเอทานอลถูกเติมด้วย 100 ไมโครลิตรของสารละลาย DPPH (120 ไมโครโมล) ที่บ่มเพาะที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ในที่มืดและวัดการดูดกลืนแสงวัดได้จาก ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา วัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Microplate reader คำนวณหาค่า % Inhibition สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % inhibition กับ ความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการ ทดสอบเพื่อหาค่าความเข้มข้นที่ให้ผลในการต้านอนุมูลอิสระครึ่งหนึ่ง (IC_{50}) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบ ตัวอย่าง 3 ครั้ง คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้ % Inhibition = $\frac{([Absorbance\ control - Absorbance\ sample])}{(Absorbance\ control)} \times 100$

การทดสอบ DPPH-scavenging assay ด้วยเครื่อง Microplate reader

ปิเปตสารมาตรฐาน Ascorbic acid หรือสารตัวอย่าง 1000 ไมโครลิตร ในแต่ละความเข้มข้นใน 96-well plate ในความเข้มข้นต่าง ๆ โดยทำความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ จากนั้นใส่สาร DPPH ที่ความเข้มข้น 0.50 มิลลิโมล ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ในแต่ละหลุมตัวอย่าง โดยที่ใช้ positive control เป็นเมทานอล 100 ไมโครลิตรและ เติมน้ำตาลละลาย DPPH 100 ไมโครลิตร เขย่าและนำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนด เวลา นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader คำนวณหาค่า % Inhibition สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % inhibition กับ ความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหา ค่าความเข้มข้นที่ให้ผลในการต้านอนุมูลอิสระครึ่งหนึ่ง (IC_{50}) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ (Brand-Williams et al., 1995)

ผลการทดลองและวิจารณ์

เอกลักษณ์ทางมหทรรศน์ (Macroscopical)



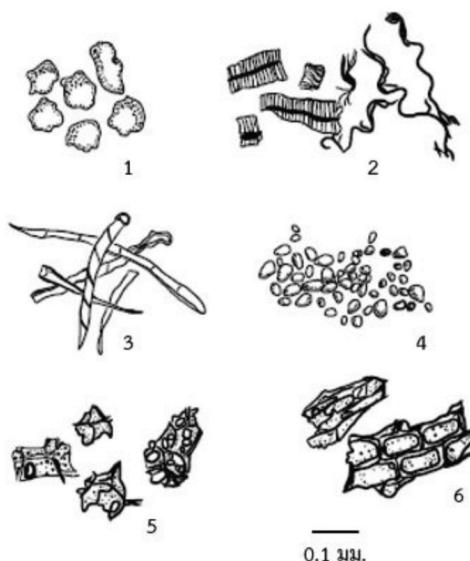
ภาพที่ 1 เครื่องยาสมุนไพรว่านนางคำ



ภาพที่ 2 ภาพวาดของสมุนไพรว่านนางคำ

จากภาพที่ 1 และภาพที่ 2 เป็นลักษณะเครื่องยาสมุนไพรของว่านนางคำ มีลักษณะลักษณะเป็นส่วนของหัวเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ลักษณะของก้านใบยาวแข็ง สีใบเขียวเข้มโดยมีกระดูกและขอบใบสีแดง เนื้อในหัวเหง้ามีสีเหลืองถึงสีเหลืองเข้ม หัวเหง้ามีกลิ่นหอมเย็นและมีรสฝาดว่านนางคำมีหลายชนิด (Thummatuchsana, 1980)

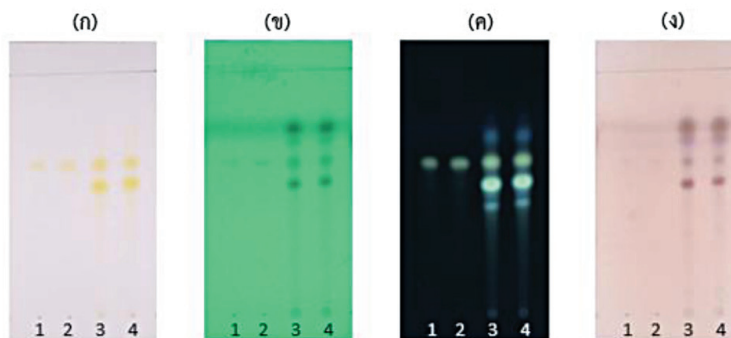
เอกลักษณ์ทางจุลทรรศน์ (Microscopic)



ภาพที่ 3 เอกลักษณ์ทางจุลทรรศน์ลักษณะทางผงยา (Microscopic)

1. โอเลโอเรซิน (oleoresin)
2. ส่วนของท่อลำเลียงน้ำ (fragment of reticulated vessel)
3. ส่วนของไฟเบอร์ (fragment of fiber)
4. เม็ดสตาร์ชหรือเม็ดแป้ง (starch grain)
5. พarenchyma ที่บรรจุในส่วนของเม็ดสตาร์ช (parenchyma containing starch grain)
6. ส่วนตามยาวของพarenchyma (parenchyma, longitudinal view)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoenphon & Jirakornwong (2007) ได้ศึกษาลักษณะเอกลักษณ์ทางจุลทรรศน์ของผงยา ของสมุนไพรว่านนางคำ ภายใต้สภาพของเหง้าสดพบชั้นของกาบใบแห้ง (scale), periderm, cortex, endodermoid และ stele มีระบบนำน้ำและอาหารแบบปฐมภูมิกระจายอยู่ทั้งใน cortex และ stele ซึ่งพบอาหารสะสมที่ ได้แก่ โอลิโอเรซิน และเม็ดสตาร์ชเป็นจำนวนมาก รวมทั้งพบท่อลำเลียงแบบ reticulate, scalariform และ spiral ส่วนที่พบมากที่สุดคือ พวาเรงโคมา และที่พบน้อยสุด ได้แก่ ไฟเบอร์



ภาพที่ 4 โครมาโทกราฟีชนิดแผ่นบาง (Thin layer chromatography, TLC) ของสารสกัดว่านนางคำ
รูปแบบโครมาโทแกรมของสารสกัดว่านนางคำ

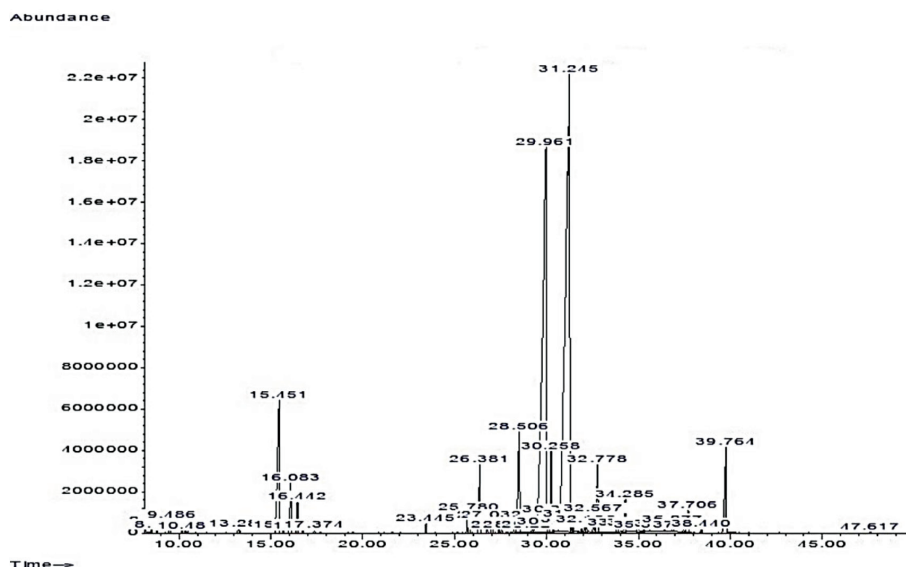
(ก) ส่องภายใต้แสงปกติ (ข) ส่องภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร
(ค) ส่องภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร และ (ง) พ่นด้วยสารละลาย Anisaldehyde
(1-2) สารมาตรฐาน Curcumin (3-4) สารสกัดว่านนางคำ

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า โครมาโทแกรมชนิดแผ่นบางของสารสกัดว่านนางคำเทียบกับสารมาตรฐาน Curcumin ใช้เฟสอยู่กับที่คือ TLC aluminium sheet, Silica gel 60 F254 และ Chloroform : Methanol (9:1) เป็นเฟสเคลื่อนที่ พ่นด้วยสารละลาย Anisaldehyde ตัวอย่างจากซ้ายไปขวา สารมาตรฐาน Curcumin (1-2) และ สารสกัดว่านนางคำ (3-4) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีระยะที่ตรงกับสารมาตรฐาน Curcumin ซึ่งในงานวิจัยของ Panicha (2009) พบว่า ในว่านนางคำมีสารในกลุ่ม Curcuminoids ซึ่งประกอบด้วย Curcumin ซึ่งมีลักษณะสีเหลือง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านมะเร็ง และต้านจุลินทรีย์

ตารางที่ 1 แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

Sample name	Library search NIST11	Quality	tR	Area %
Oil 1	β -Curcumene	97	31.25	41.55
	α -Curcumene	99	29.97	30.48
	(+)-2-Bornanone	98	15.45	5.6
	(E)- β -Famesene	98	28.5	3.52
	Curzerene	95	30.26	2.13
	Isoborneol	95	16.08	1.31
	Endo-Borneol	97	16.44	0.78
	(-)- β -Elemene	90	25.78	0.43
	Caryophyllene	99	27.03	0.34
	α -Bergamotene	99	26.77	0.3
	α -Phellandrene	91	9.483	0.21
	α -Selinene	98	30.06	0.21
	δ -Elemene	96	23.44	0.2
	(+)- δ -Cadinene	97	31.34	0.15
	Selina-3,7(11)-diene	97	31.07	0.15
	β -Pinene	97	8.498	0.12
	γ -Elemene	96	27.41	0.12
	2-Nonanol	90	13.29	0.09
	Eremophilene	91	31.92	0.09
	D-Limonene	99	10.34	0.08
	β -Linalool	83	13.22	0.08
	Cis-muurolo-3,5-diene	95	28.22	0.07
	P-Cymene	94	10.16	0.06
	Eucalyptol	98	10.48	0.05
	α -Terpineol	90	17.37	0.05
	Terpinen-4-ol	90	16.74	0.04

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า น้ำมันหอมระเหยที่พบมากที่สุดในส่วนสมุนไพรว่านนางคำ ได้แก่ β -Curcumene ใน retention time ที่ 31.25 คิดเป็นร้อยละ 49.825 ของพื้นที่ ลำดับ 2 รองลงมา ได้แก่ α -Curcumene retention time ที่ 29.97 คิดเป็นร้อยละ 30.48 และลำดับ 3 ได้แก่ (+)-2-Bornanone retention time ที่ 15.45 คิดเป็นร้อยละ 5.6 ตามลำดับ และน้ำมันหอมระเหยที่พบน้อยที่สุดคือ Terpinen-4-ol retention time ที่ 16.74 คิดเป็นร้อยละ 0.04 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panicha (2009) พบน้ำมันหอมระเหย Curcumin ซึ่งเป็นสารสำคัญของข่าและว่านนางคำ ซึ่งโครมาโทแกรมแก๊สโครมาโทกราฟีของน้ำมันหอมระเหยว่านนางคำ แสดงในภาพที่ 5

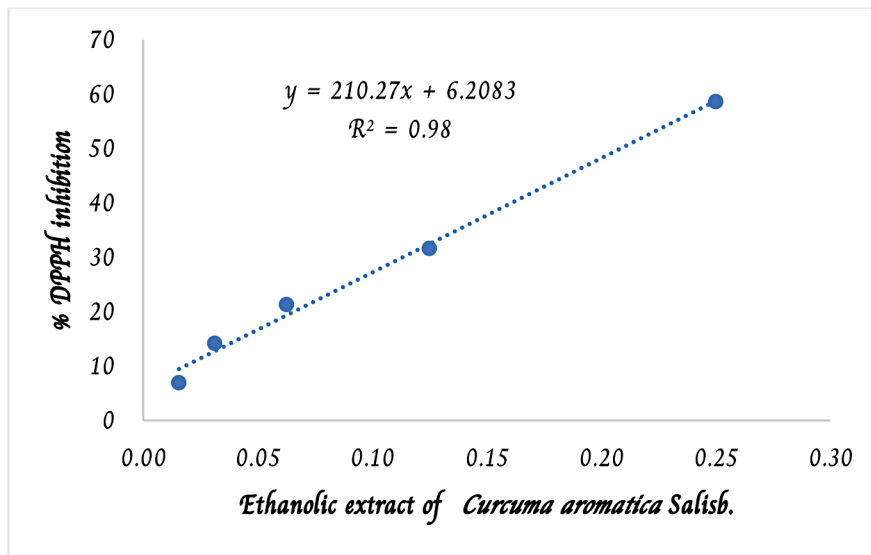


ภาพที่ 5 โครมาโทแกรมแก๊สโครมาโทกราฟีของน้ำมันหอมระเหยของว่านนางคำ

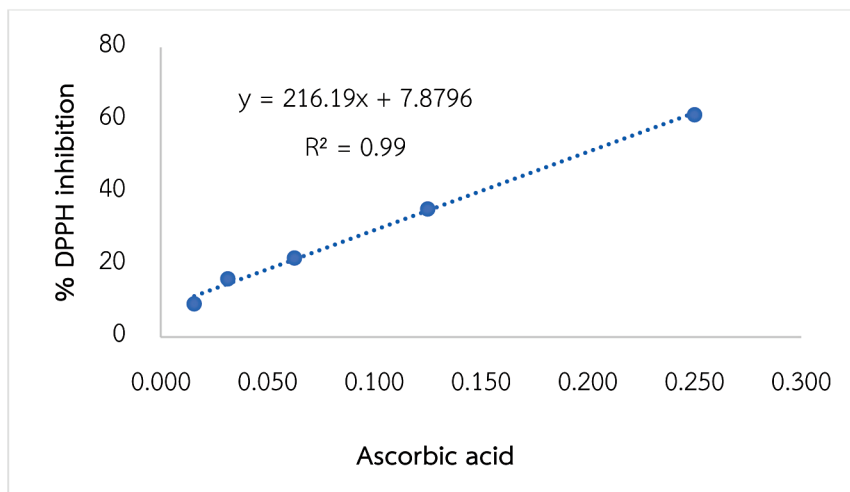
การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay)

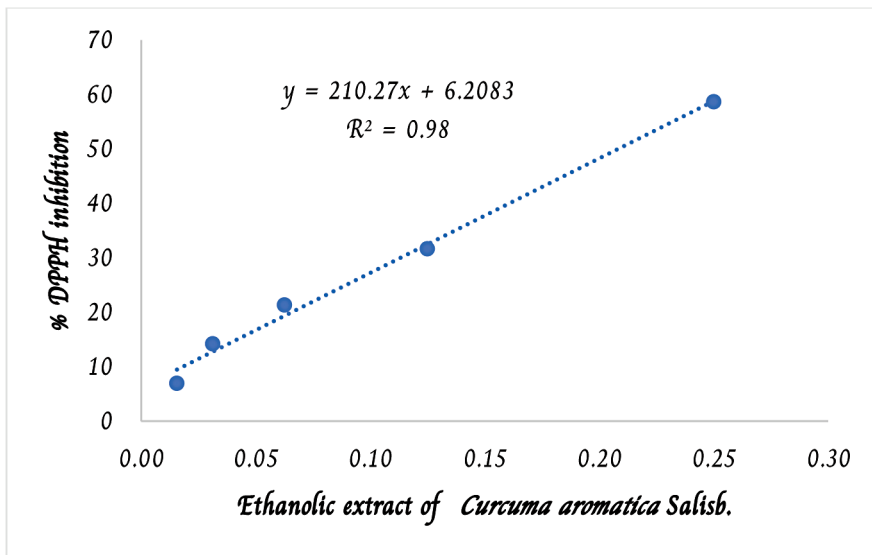
สารสกัดเอทานอลจากว่านนางคำ พบว่า มีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระของ IC_{50} เท่ากับ 0.207 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 6) สารมาตรฐาน Ascorbic acid, BHT และ Quercetin เป็นค่าบวกซึ่งมีค่า IC_{50} 0.195 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 7) 8.460 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 8) และ 3.137 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 9) ตามลำดับ



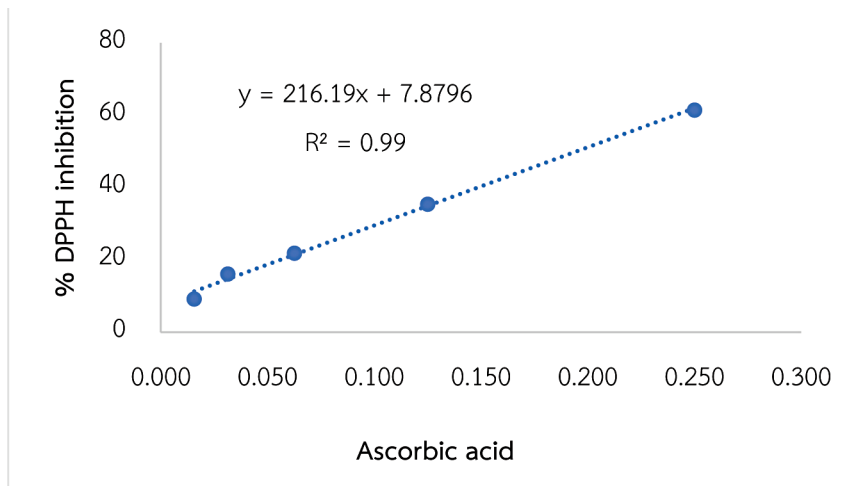
ภาพที่ 6 การยับยั้งดีพีพีเอชของสารสกัดว่านนางคำ



ภาพที่ 7 การยับยั้งดีพีพีเอชของแอสคอร์บิก แอซิด



ภาพที่ 8 การยับยั้งดีพีพีเอชของบีเอชที



ภาพที่ 9 การยับยั้งดีพีพีเอชของแอสคอร์บิก

สรุปผล

การควบคุมคุณภาพทางพฤกษศาสตร์และจุลทรรศน์ รวมทั้งข้อกำหนดทางเภสัชเวท จะใช้เพื่อรักษาความปลอดภัยและประสิทธิภาพของยาสมุนไพร กระบวนการที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของการควบคุมคุณภาพคือมาตรฐานที่กำหนดข้อกำหนดของพารามิเตอร์ด้วยการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ลายและโครมาโทกราฟี การหาน้ำมันหอมระเหยรวมทั้งการหาสารสำคัญโดยการเทียบกับสารมาตรฐาน และการหาคุณสมบัติทางเคมีเพื่อให้แน่ใจถึงความบริสุทธิ์และคุณภาพของเครื่องยา รวมทั้งการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยรัฐบาลได้มีการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับสมุนไพรไทย ออกเป็นแผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทย (พ.ศ.2560 - 2564) โดยเป้าหมายเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนสมุนไพรไทย และการใช้ยาที่ผลิตจากสมุนไพรไทย และสำนักยาและวัตถุเสพติด กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้จัดทำตำรับยาสมุนไพรไทย (Thai Herbal Pharmacopoeia; THP) โดยจัดทำครั้งแรกในปี 2538 และประกาศใช้อย่างเป็นทางการเมื่อปี 2541 ตำรับยาดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้เป็นมาตรฐานทั้งในด้านการผลิต การควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทย และเป็นคู่มือการใช้สำหรับบุคลากรทางการแพทย์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินกองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2563 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร รวมทั้งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ เจ้าหน้าที่ที่สำนักงานจากกรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ผู้ให้ข้อมูลทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อมูล คำแนะนำ และชี้แนะงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 28(1):25-30.
- Charoenphon W., & Jirakornwong T. (2007). *Preliminary study on specification of Curcuma aromatica* Salisb.: microscopic and physical characters. (Bachelor degree). Mahidol University, Bangkok.
- Department of Agriculture, (2019). *Supported to plant 18 types of medicinal plants according to GAP standards*. Retrieved from <https://www.kaset1009.com/th/articles/163486> [2020, 20 Dec.]
- Kukongviriyapan V., (2015). Essential Role of Antioxidant network of Vitamins and Enzymes. *Srinagarind Medical Journal, Faculty of Medicine, Khon Kaen University*, 29, 16-18. (In Thai)
- Panicha, U. (2009). *The effects of Alpinia galanga and Curcuma aromatica extracts containing antioxidant phenolics on cellular melanogenesis induced by UV radiation*. The Thailand Research Fund, Bangkok

- Rizwana S., Ajmal K., Sadia N., Sara K., Afsar K., Abdur R., Haji B., & Reaz U. (2015). Evaluation of Antioxidant, Free Radical Scavenging, and Antimicrobial Activity of *Quercus incana* Roxb. **Front Pharmacol**, **23**(6), 277-283.
- Shamim A., Shahid H., & Ansaria, F. (2011). Phytoconstituents from the rhizomes of *Curcuma aromatica* Salisb. **Journal of Saudi Chemical Society** **15**(3), 287-290.
- Sharif M., Atiqur R., Sattar M., Oliur M., & Hasan M. (2010). Essential oil composition and antioxidant activities of *Curcuma aromatica* Salisb. **Food and Chemical Toxicology**, **48**(6), 1757- 1760.
- Thummatuchsana B. (1980, 18 Dec.) Aloe Vera for treatment. **Moh Chao Ban**, **20**(3), 41-42. (In Thai)
-

การระบุชนิดของยีสต์ที่คัดแยกได้จากป่าเขาพลวงตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์ด้วย
การวิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ในบริเวณ ITS และ D1/D2

IDENTIFICATION OF YEASTS ISOLATED FROM KHAOPLOUNG FOREST
BY COMPARATIVE ITS AND D1/D2 SEQUENCE ANALYSIS

เปมิกา ขำวีระ^{1*} ณัฐวดี บำรุง² และ สิริลักษณ์ พุกมาก²

¹สาขาวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร

Pemika Khamweera^{1*}, Natthawadee Bamrong² and Sirilak Pookmak²

¹Product Innovation and Technology program, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok.

²Biology program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok.

*E-mail: pemika@pnru.ac.th

Received: 2021-06-08

Revised: 2022-05-12

Accepted: 2022-05-20

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของกลุ่มยีสต์เพื่อระบุสายพันธุ์ที่พบในพื้นที่ป่าเขาพลวงด้วยหลักการระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์ ผลการศึกษาตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บจากการแบ่งพื้นที่ตามวิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างแบบง่ายร่วมกับการใช้วิจารณ์ฐาน พบยีสต์ที่เจริญบนอาหารสูตร acidified yeast extract malt extract agar ที่มีสารปฏิชีวนะคลอแรมเฟนิคอลเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดโพธิ์โอนิก ร้อยละ 0.1 ปรับความเป็นกรดเบสเท่ากับ 3.7 จำนวน 126 ไอโซเลท เมื่อศึกษาเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วนของ ITS พบยีสต์ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Candida tropicalis* PRUCT1, *Trichosporon asahii* PRUTA1, และ *Pichia* sp. PRUPS1 โดยมีร้อยละความเหมือน 100, 100 และ 99.12 ตามลำดับ และเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วนของ D1/D2 domain ของ large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA) หรือ 26S rDNA พบยีสต์ 1 สายพันธุ์ คือ *Dipodascus albidus* PRUDA1 โดยมีร้อยละความเหมือน 91.47

คำสำคัญ: ยีสต์พื้นถิ่น ป่าเขาพลวง ITS D1/D2 domain

ABSTRACT

The objective of this research was to identify the yeast species found in the Khaoplung forest area. The results showed that the 126 isolated yeasts were grown on acidified yeast extract

malt extract agar which contained the antibiotic chloramphenicol at the concentration of 200 mg / l and 0.1 % propionic acid (pH 3.7). In a comparative study of the nucleotide sequences of ITS, 3 yeast species were identified; namely, *Candida tropicalis* PRUCT1, *Trichosporon asahii* PRUTA1, and *Pichia* sp. PRUPS1, with similarity percentage at 100, 100 and 99.12, respectively, and the nucleotide sequence of the D1/D2 domain of large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA) or 26S rDNA was found in *Dipodascus albidus* PRUDA1 with a percentage of similarity at 91.47.

Keywords: Local yeast, Khaoplung forest, ITS, D1/D2 domain

บทนำ

ยีสต์ (yeast) เป็นจุลินทรีย์ในอาณาจักรเห็ดรา (Fungi) มีลักษณะการเจริญแบบเซลล์เดี่ยว (unicellular) บางชนิดพบการสร้างกลุ่มใยคล้ายรา โดยพบทั้งกลุ่มใยแท้ (true mycelium) และกลุ่มใยเทียม (pseudomycelium) ทั้งนี้สามารถพบได้ทั้งในน้ำ ทะเล บรรยากาศ และบนบก (Kurtzman et al., 2011) การศึกษาความหลากหลายของยีสต์อาจทำได้โดยแยกยีสต์จากแหล่งที่มา และนำมาพิสูจน์เอกลักษณ์ ซึ่งการจัดจำแนกทำได้โดยหลักอนุกรมวิธานแบบดั้งเดิม (conventional taxonomy) และอนุกรมวิธานระดับโมเลกุล (molecular taxonomy) หรือใช้อนุกรมวิธานหลายแบบร่วมกัน ที่เรียกว่า polyphasic taxonomy (Vandamme et al., 1996) โดยอนุกรมวิธานแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการจำแนกประเภท (classification) และการจัดจำแนกยีสต์นั้นอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา ชีวเคมี และสรีรวิทยา ซึ่งอาจให้ผลที่ไม่แน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับสภาวะการเลี้ยง ในขณะที่อนุกรมวิธานระดับโมเลกุลสามารถช่วยแก้ปัญหาความไม่แม่นยำ และขัดข้องได้แก่ในการจำแนกได้ (Sawitree, 2013; Kurtzman & Robnett, 1998; Fell et al., 2000; Lopandic & Prillinger, 2001; Oslan et al., 2012; Haelewaters et al., 2020; Li et al., 2020) ดังนั้นลำดับนิวคลีโอไทด์จึงสามารถนำมาใช้เพื่อบ่งชี้ความสัมพันธ์ในบรรดา ยีสต์ได้ โดยเฉพาะการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของ nuclear rRNA gene ใช้มากสำหรับการประเมินความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากมีทั้งส่วนที่มีวิวัฒนาการน้อย หรือบริเวณอนุรักษ์ (conserved region) และส่วนที่วิวัฒนาการมาก ที่เรียกว่าบริเวณผันแปร (variable region) ทำให้สามารถใช้บริเวณอนุรักษ์เป็นจุดอ้างอิง เพื่อเทียบหาความแตกต่างของบริเวณผันแปรได้ ในบรรดา nuclear rRNA gene นั้น D1/D2 domain ของ large subunit (LSU) rRNA gene ช่วยในการแยกสปีชีส์ของยีสต์ส่วนใหญ่ได้ดีกว่าบริเวณอื่น ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักสำหรับการจัดจำแนกยีสต์อย่างรวดเร็ว รายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีการจำแนกยีสต์และรายงานยีสต์จากแหล่งต่าง ๆ จำนวนมาก และได้ค้นพบและเสนอยีสต์สปีชีส์ใหม่มากกว่า 50 สปีชีส์ เช่น *Candida phayaonensis* sp. nov., *C. sakaeensis* sp. nov., *C. sirachaensis* sp. nov., *C. uthaithanina* sp. nov., *Metschnikowia lopburiensis* sp. nov., *M. saccharicola* sp. nov., *Ogataea kanchanaburiensis* sp. nov., *O. wangdongensis* sp. nov., *Wickerhamomyces siamensis* sp. nov., *W. xylosica* sp. nov., *Yamadazyma phyllophila* sp. nov. และ *Y. siamensis* sp. nov. (Limtong, 2013) โดย Sumpradit et al. (2015) ได้ศึกษาความหลากหลายชนิดของยีสต์ป่าในดินป่าเบญจพรรณ และป่าดิบแล้งของอุทยานแห่งชาติแม่วงก์โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยง (culture-dependent) เพื่อบ่งบอกความหลากหลายของยีสต์และประเมินบทบาทเชิงนิเวศของยีสต์ในดินป่าธรรมชาติของอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ โดยคัดแยกยีสต์จากตัวอย่างดินป่าเบญจพรรณและดินป่าดิบแล้ง จำนวน 16 และ 29 สายพันธุ์ ตามลำดับ ผลการพิสูจน์เพื่อระบุชื่อชนิดของยีสต์โดยใช้หลักการระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์ (phylogenetic identification) พบว่า ยีสต์

16 สายพันธุ์ที่คัดแยกจากดินป่าเบญจพรรณ เป็นยีสต์ที่มีความแตกต่างกัน 11 ชนิด คือ *Candida albicans*, *C. diversa*, *C. maltose*, *Galactomyces geotrichum*, *Kloeckera apiculata*, *Millerozyma phetchabunensis*, *Pichia kluyveri*, *Saccharomyces cerevisiae*, *S. pastorianus*, *Tetrapisispora namnaonensis* และ *T. phaffii* และยีสต์ 29 สายพันธุ์ที่คัดแยกจากดินป่าดิบแล้ง เป็นยีสต์ที่มีความแตกต่างกัน 13 ชนิด คือ *C. albicans*, *C. diversa*, *Debaryomyces hansenii*, *Geotrichum candidum*, *Hanseniaspora uvarum*, *Kazachstania humatica*, *Kloeckera lindneri*, *P. kluyveri*, *S. cerevisiae*, *T. namnaonensis*, *T. phaffii* และ *Yarrowia lipolytica* ความหลากหลายชนิดของยีสต์ทั้งหมดมีผลต่อการทำหน้าที่ในระบบนิเวศในป่าไม้ ซึ่งยีสต์แต่ละชนิดหรือแต่ละกลุ่มมีแหล่งที่อยู่ (habitat) จำเพาะ การปรากฏของยีสต์แต่ละชนิดในแหล่งที่อยู่นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางสรีรวิทยาของยีสต์นั้น ๆ ได้แก่ ความสามารถในการใช้สารประกอบบางชนิด และความสามารถในการเจริญในสภาวะแวดล้อม เช่น *Candida sonorensis* พบในเนื้อเยื่อกระบอกเพชร ยีสต์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophilic yeast) และยีสต์จากเศษอาหาร (Kuncharoen et al, 2020) ในแถบขั้วโลก ดังนั้นสารประกอบอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนและสารอาหาร และสภาวะแวดล้อมของแหล่งที่อยู่เหล่านั้น จะร่วมกันกำหนดชนิดของยีสต์ที่พบ ดังนั้นการแพร่กระจายของยีสต์ในธรรมชาติอาจเกิดโดยละอองลอยในอากาศ มีสัตว์เป็นพาหะและกิจกรรมของมนุษย์ ตลอดจนส่งเสริมการเจริญของพืช (Kurtzman & Robnett, 1998; Tapia-Vázquez et al., 2020) ยีสต์ที่พบบนดอกไม้ เช่น สายพันธุ์ *Candida phlcherrima* และ *Cryptococcus* sp. ยีสต์ที่พบบนผลไม้ เช่น สายพันธุ์ *Hanseniaspora uvarum* และ *Pichia kluyveri* ยีสต์ที่พบบนใบพืช เช่น สายพันธุ์ *Cryptococcus* sp. และ *Rhodotorula* sp. แม้กระทั่งยางไม้หลายชนิดก็ยังสามารถพบยีสต์ได้ เช่น สายพันธุ์ *Saccharomycodes ludwigii* ยีสต์หลายชนิดพบอยู่ในดินชนิดที่มีความแตกต่างกันทั้งองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ยีสต์สกุล *Liomyces* และ *Debaryomyces* (Alfred, 2011; Yurkov, 2018) การนำยีสต์มาใช้ประโยชน์ก็พบในหลากหลายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากงานวิจัย เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผสมลูกจากเชื่อม (Sasiapa, 2021) ซึ่งเกิดจากบทบาทของยีสต์ในการบวกรวมกัน เป็นต้น วิทยาลัยพยาบาลพัฒนาเป็นพื้นที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลชัยบาดาล อำเภอย้ายบาดาล จังหวัดลพบุรี โดยมีพื้นที่ทางด้านทิศใต้เป็นภูเขาชื่อว่า “เขาพลวง” จัดเป็นป่าอนุรักษ์ที่มีระบบนิเวศที่ยังคงความสมบูรณ์ เนื่องจากไม่มีการรบกวนของมนุษย์ในพื้นที่ มีความหลากหลายทางธรรมชาติอยู่สูงเหมาะแก่การนำมาศึกษา สำรวจ เก็บรวบรวมทรัพยากรชีวภาพของประเทศไทย โดยเฉพาะความหลากหลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น รวมไปถึงจุลินทรีย์มีความหลากหลายทางชีวภาพ ในเชิงความหลากหลายของชนิดพันธุ์ (species diversity) ความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) และความหลากหลายทางนิเวศวิทยา (ecological diversity) (Rungcharoen et al., 2019) ดินมีลักษณะเป็นดินที่เกิดจากการผุร่อนของหินภูเขาไฟ ซึ่งพบเศษหินกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป บริเวณพื้นที่นี้มีลักษณะอุณหภูมิอากาศค่อนข้างร้อนและแห้งแล้งในฤดูแล้งพืชพรรณที่พบส่วนใหญ่จึงมีขนาดของลำต้นและความสูงไม่มากนัก (Bamrungsawad, 2012) อย่างไรก็ตามพื้นที่ป่าเขาพลวงมีความสำคัญด้านการเป็นพื้นที่ป่าปกปักษ์ในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร (อพ. สธ.-มรภ. พระนคร) เป็นพื้นที่ที่ไม่มีการศึกษาชนิดของยีสต์มาก่อน นำมาสู่การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชีวภาพที่มีศักยภาพและสามารถนำมาพัฒนาและใช้ประโยชน์ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านต่าง ๆ ได้ สอดคล้องกับปรัชญา วิสัยทัศน์ และพันธกิจของวิทยาลัยพยาบาลพัฒนาที่มุ่งเน้นการพัฒนาตามความต้องการของท้องถิ่น พัฒนาด้านการเรียนรู้โดยมุ่งเน้นการวิจัยและนำกระบวนการวิจัยมาใช้เป็นหลักการศึกษา ค้นคว้าพัฒนาด้าน

ความรู้ของท้องถิ่นและสร้างเครือข่าย ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลและยั่งยืน สืบสานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริในการปฏิบัติการกิจของมหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น (Chongsuwat W., 2011) จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจการคัดแยกสายพันธุ์ยีสต์ในพื้นที่แห่งนี้เพื่อจัดเก็บข้อมูลไว้เพื่อประโยชน์ต่อการวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชนท้องถิ่นต่อไปในอนาคต ทั้งในด้านการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซล การทำน้ำหมักชีวภาพ ตลอดจนคาดหวังว่าอาจพบสายพันธุ์ใหม่ในพื้นที่ป่าแห่งนี้อีกด้วย

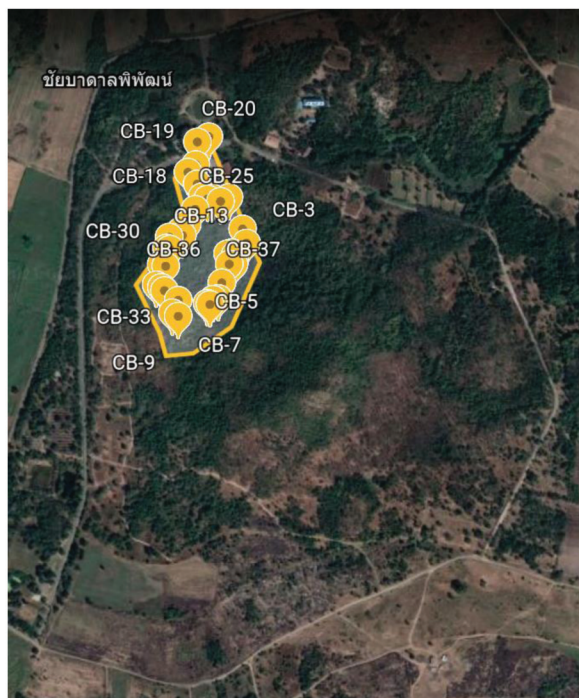
วิธีการ

1. การสุ่มเก็บตัวอย่างดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ป่าเขาพลวง วิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์ จังหวัดลพบุรี (ภาพที่ 1) ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว โดยสุ่มเก็บดินจากการแบ่งพื้นที่ตามวิธีวิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling) ร่วมกับการใช้วิจารณญาณ (judgment method) ทุก ๆ ระยะ 100 - 200 เมตร บริเวณใต้ต้นไม้ที่มีใบไม้ทับถมหรือมีลูกไม้ตก และบริเวณหน้าผาหินมีความชื้น (Yurkov, 2018) ตามพิกัดเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติเขาพลวง ระยะทาง 1 กิโลเมตร คำนวณพื้นที่ด้วยโปรแกรม Google Earth Pro (เวอร์ชัน 7.3.4.8573, บริษัท Google, สหรัฐอเมริกา) คิดเป็นพื้นที่ 53,564.78 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นใช้พลั่วขุดจากหน้าดินลึกลงไป 0-15 เซนติเมตรเป็นรูปตัว V เก็บตัวอย่างดินปริมาณ 50 กรัม จำนวน 40 จุดเก็บ กำหนดรหัส Chaibadan (CB)-1 ถึง Chaibadan (CB)-40 บรรจุใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค เก็บที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาศึกษาต่อไป



ภาพที่ 1 แผนที่ป่าเขาพลวง วิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์ จังหวัดลพบุรี



ภาพที่ 2 พื้นที่เก็บตัวอย่างดินตามพิกัดเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติป่าเขาพลวง

2. การคัดแยกยีสต์จากดินโดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเชื้อ (culture-dependent method)

คัดแยกยีสต์จากตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บด้วยเทคนิคการเพิ่มจำนวน (Enrichment Culture Technique) ร่วมกับการใช้อาหารคัดเลือกจำเพาะ (Selective media) และบ่มในสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญของยีสต์ โดยใส่ตัวอย่างดินปริมาณ 5 กรัม ลงในอาหารเหลวสูตร Acidified Yeast Extract Malt Extract Broth ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่มีสารปฏิชีวนะคลอแรมเฟนิคอล เข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดโพธิ์โอนิก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชเป็น 3.7 บ่มบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2-7 วัน จากนั้นแยกยีสต์ที่เจริญบนอาหารดังกล่าวมาเลี้ยงต่อบนอาหารกึ่งแข็งสูตร Acidified Yeast Extract Malt Extract Agar ที่มีสารปฏิชีวนะคลอแรมเฟนิคอลเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดโพธิ์โอนิก 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชเป็น 3.7 ด้วย Spread plate technique บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง คัดเลือกเก็บโคโลนีที่มีความแตกต่างกัน และนำไปทำให้บริสุทธิ์ (Pure culture) ด้วยเทคนิค Cross streak บนอาหารสูตร Yeast Extract Malt Extract (YM) Agar (ดัดแปลงวิธีการจาก Sumpradit et al., (2015) และ Kurtzman & Sugiyama, 2001) เก็บเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ไว้ใช้ในการศึกษาลักษณะฟีโนไทป์ที่สำคัญของยีสต์ตามวิธีการมาตรฐานทางอนุกรมวิธานของยีสต์ โดยศึกษาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา (Barnett et al., 2000) ซึ่งพิจารณาลักษณะโคโลนีของยีสต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo Microscope) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ด้วยวิธีการย้อมเซลล์ด้วยสี Lactophenol Cotton Blue (LPCB) ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope)

3. การจัดจำแนกยีสต์โดยอาศัยอนุกรมวิธานระดับโมเลกุลด้วยการระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์

การระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์เพื่อระบุชนิดยีสต์โดยเปรียบเทียบศึกษาเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วนของ ITS (White et al., 1990) และลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วนของ D1/D2 domain ของ large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA) หรือ 26S rDNA โดยใช้ไพรเมอร์ (Primer) NL1 และ NL4 (Sumpradit, 2005) โดยสกัดดีเอ็นเอของยีสต์ เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณ D1/D2 ของ 26S rRNA gene ของยีสต์ตามวิธีของ Kurtzman & Robnett (1998) วิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์โดยศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เพื่อรับรองผล

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การแยกยีสต์ในดินป่าเขาพลวง

จากการนำดินที่เก็บมาจากพื้นที่เขาพลวง วิทยาลัยพยาบาลพัฒน มหาววิทยาลัยราชภัฏพระนคร จำนวน 40 ตัวอย่าง ที่สุ่มเก็บดินในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว โดยวิธี culture-dependent method พบว่าสามารถคัดเลือกลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกันทั้งหมดที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ 126 ไอโซเลท ซึ่งมาจากดินทุกตัวอย่างที่ศึกษา โดยป่าเขาพลวงประกอบด้วยป่าไม้ผลัดใบชนิดป่าเต็งรัง เป็นไม้หลักผสมกับป่าเบญจพรรณที่มีพืชลักษณะเด่นหลายชนิด เช่น มะค่า ตะโก ไผ่เท็ก ตั้ว พุทราป่า เป็นต้น ดินมีลักษณะเป็นดินที่เกิดจากการผุร่อนของหินภูเขาไฟ ซึ่งพบเศษหินกระจายอยู่โดยทั่วไป ดินมีความชื้นต่ำ เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีลักษณะภูมิอากาศค่อนข้างร้อนและแห้งแล้งในฤดูแล้งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.4-6.8 พืชพรรณที่พบส่วนใหญ่จึงมีขนาดของลำต้นและความสูงไม่มาก และบางจุดก็มีการกำหนดปักต้นไม้ โดย Siringam et al. (2019) ซึ่งลักษณะกายภาพของดินที่สุ่มเก็บมีสีน้ำตาลเข้ม ร่วนซุย มีเศษหินขนาดเล็กปนอยู่ และมีเศษรากไม้กับเศษใบไม้ทับถมหรือมีลูกไม้ตก และบริเวณหน้าผาผิวดินมีความชื้น ซึ่งเป็นดินที่มีความเหมาะสมแก่การเจริญของยีสต์ อ้างอิงจากผลงานวิจัยของ Jamai & Ettayebi (2013) ซึ่งรายงานว่ายีสต์สามารถพบได้ในดินหลากหลายชนิดและบริเวณที่พบจะมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์เนื่องจากยีสต์เป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์และยีสต์ที่ยังมีชีวิตอยู่สามารถเจอได้ตั้งแต่ผิวดินลึกถึง 100 เซนติเมตร ยิ่งความลึกมากยิ่งขึ้นจำนวนน้อย (Yurkov, 2018) เมื่อนำดินตัวอย่างมาบ่มในอาหารสูตร acidified yeast extract malt extract broth ซึ่งมีการเติมสารปฏิชีวนะ คลอแรมเฟนิคอล และกรดโพธิ์โอนิก ลงในอาหารส่งผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิด และช่วยรักษาสภาพของเซลล์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและเป็นการเพิ่มจำนวน

2. ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยีสต์บริสุทธิ์

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยีสต์บริสุทธิ์ โดยพิจารณาจากลักษณะโคโลนีของยีสต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยวิธีการย้อมเซลล์ด้วยสี Lactophenol Cotton Blue (LPCB) ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงให้เห็นลักษณะการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อและลักษณะทางสัณฐานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน 4 ชนิด ดังสรุปในตารางที่ 1

3. ผลการจัดจำแนกยีสต์โดยอาศัยอนุกรมวิธานระดับโมเลกุลด้วยการระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์โดยศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) รายงานว่าการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยการวิเคราะห์ลำดับเบสในส่วน ITS พบยีสต์ 3 สายพันธุ์ คือ *Trichosporon asahii*, *Candida tropicalis*, และ *Pichai* sp. และในส่วนของ D1/D2 LSU rDNA พบยีสต์ 1 สายพันธุ์ คือ *Dipodascus albidus* โดยแสดงร้อยละความเหมือน (% Similarity) และความยาวของนิวคลีโอไทด์ในตารางที่ 2 ซึ่งการเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วน ITS และบริเวณ D1/D2 ของ 26S rRNA gene ซึ่งมีขนาดประมาณ 500-600 นิวคลีโอไทด์ เป็นบริเวณที่มีวิวัฒนาการเร็ว จึงเป็นบริเวณที่มีความแตกต่างมากในลำดับนิวคลีโอไทด์ของ rRNA gene ความแตกต่างในบริเวณนี้พอเพียงที่จะแบ่งแยกสปีชีส์ของยีสต์ได้ ซึ่งหลักการพิจารณาตามหลักเกณฑ์การระบุสปีชีส์ยีสต์ โดยยีสต์ต่างสปีชีส์กันจะมีความแตกต่างกันของลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ D1/D2 domain ของ 26S rDNA มากกว่าร้อยละ 1 หรือประมาณ 6 นิวคลีโอไทด์ แต่ถ้าแตกต่างกัน 0-3 นิวคลีโอไทด์ จัดเป็นสปีชีส์ที่ใกล้ชิดกันมาก ๆ (sister species) และถ้าไม่แตกต่างกันเลย จะจัดว่าเป็นสปีชีส์เดียวกัน (conspecific species) (Sumpradit, 2005; Kurtzman & Robnett, 1998)

ตารางที่ 1 ลักษณะการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อและลักษณะทางสัณฐานภายใต้กล้องจุลทรรศน์

จุดเก็บดิน	โคโลนี	ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์
CB-13	ลักษณะกลม (circular) ขอบเป็นเส้นใย	ทรงกระบอกต่อกันเป็นเส้นสายยาวขนาดเล็ก
CB-20	เส้นสั้น ๆ (filamentous) สีขาวขุ่น	สืบพันธุ์โดยการแตกหน่อเส้นสายกลุ่มใยราเทียม
CB-29	ทึบแสง (white and opaque) มีลักษณะ	(pseudomycelium)
CB-31	นูนขึ้นจากผิวหน้าอาหาร (convex)	
CB-32		
CB-9	ลักษณะกลม ขอบเรียบ (entire) สีขาว	วงกลมขนาดใหญ่ (round and large) สืบพันธุ์แบบ
CB-17	ขุ่นทึบแสง ผิวเรียบด้าน (smooth and	ไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ (budding)
CB-19	dull) ยกตัวนูนขึ้นจากผิวหน้าอาหาร	
CB-21	ลักษณะคล้ายร่ม (umbonate)	
CB-25		
CB-34		
CB-20	ลักษณะกลม ขอบเรียบ ผิวขรุขระด้าน	หัวแหลมท้ายแหลมคล้ายลูกมะนาวฝรั่งขนาดกลาง
CB-26	(rough) สีขาวขุ่นทึบแสง โคโลนีแบน	สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการแตกหน่อ
	ไปกับผิวหน้าอาหาร (raised)	
CB-21	ลักษณะกลม ขอบเป็นเส้นใยเส้นสั้น ๆ	วงกลมขนาดใหญ่ สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการ
CB-34	สีขาวโปร่งแสง (white and translucent)	แตกหน่อ
	โคโลนีนูนตัวนูนขึ้นจากผิวหน้าอาหาร	

ตารางที่ 2 ชื่อสายพันธุ์ยีสต์ ร้อยละความเหมือน และความยาวนิวคลีโอไทด์ของยีสต์

ชื่อสายพันธุ์ยีสต์ (Yeast strain name)	ร้อยละความเหมือน (% Similarity)	ความยาวนิวคลีโอไทด์ (bp)
<i>Trichosporon asahii</i>	100	513
<i>Candida tropicalis</i>	100	494
<i>Pichai sp.</i>	99.12	496
<i>Dipodascus albidus</i>	91.47	1061

หมายเหตุ ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์เพื่อระบุชนิดยีสต์จากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นฐานวิทยาดังแสดงในภาพที่ 3 (ก) - (ง) พบว่า *Trichosporon asahii* พบที่บริเวณจุดเก็บดิน CB-13, CB-20, CB-29, CB-31 และ CB-32 โคโลนีลักษณะกลม ขอบเป็นเส้นใยเส้นสั้น ๆ สีขาวขุ่น ทึบแสง มีลักษณะนูนขึ้นจากผิวหน้าอาหาร ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นทรงกระบอกต่อกันเป็นเส้นสายยาวขนาดเล็ก สืบพันธุ์โดยการแตกหน่อเส้นสายเส้นกลุ่มใยราเทียม (pseudomycelium) *Candida tropicalis* พบที่บริเวณจุดเก็บดิน CB-9, CB-17, CB-19, CB-21, CB-25 และ CB-34 โคโลนีลักษณะกลม ขอบเรียบ สีขาวขุ่น ทึบแสง ผิวเรียบด้าน ยกตัวนูนขึ้นจากผิวหน้าอาหารลักษณะคล้ายร่ม ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นวงกลมขนาดใหญ่ สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ *Pichai sp.* พบที่บริเวณจุดเก็บดิน CB-20 และ CB-26 โคโลนีลักษณะกลม ขอบเรียบ ผิวขรุขระด้าน สีขาวขุ่นทึบแสง โคโลนีแบนไปกับผิวหน้าอาหาร ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นแบบหัวแหลมท้ายแหลมคล้ายลูกมะนาวฝรั่งขนาดกลาง สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการแตกหน่อ และ *Dipodascus albidus* พบที่บริเวณจุดเก็บดิน CB-21 และ CB-34 โคโลนีลักษณะกลม ขอบเป็นเส้นใยเส้นสั้น ๆ สีขาวโปร่งแสง โคโลนียกตัวนูนขึ้นจากผิวหน้าอาหาร ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นวงกลมขนาดใหญ่ สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแตกหน่อ

เมื่อพิจารณาการกระจายของยีสต์ที่พบบริเวณป่าเขาพลวง (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่าพบ *Candida tropicalis* มากที่สุด 6 ไอโซเลท รองลงมาคือ *Trichosporon asahii* 5 ไอโซเลท, *Pichai sp.* 2 ไอโซเลท และ *Dipodascus albidus* 2 ไอโซเลท ตามลำดับ ซึ่ง *C. tropicalis* เป็นยีสต์กลุ่ม Budding Yeast สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual diploid organism) พบได้ทั่วไปโดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนบริเวณรอบเส้นศูนย์สูตรของโลก และสามารถคัดแยกได้จากตัวอย่างหลากหลายประเภท (Prasatsri, 2006; Boonmak et al., 2009; Chanklan et al., 2012) สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนที่หลากหลายเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานในการเจริญ (Jamai, L. & Mohamed, 2013) นอกจากนี้ยังพบว่า *C. tropicalis* หลายสายพันธุ์ที่คัดแยกจากตัวอย่างในธรรมชาติ สามารถย่อยเซลลูโลสหรือไซแลนได้ Soetarto, 1998; Thongekkaew et al., 2011; Sulman & Rehman, 2013; Hermansyah & Wiraningsih, 2016) *Trichosporon asahii* มีความสามารถในการย่อยได้ทั้งแป้ง คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และไซแลน (Kaewwichian, R. & Khamthaiklang, S., 2017) และรายงานของ Limtong et al. (2002) ที่พบ *T. asahii* ในลูกแป้งข้าวหมากสามารถผลิตเอนไซม์แอมิเลส (amylase) *Pichai sp.* เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอาหารและอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถพบได้ในอาหารกลุ่มนี้ เนื่องจากสามารถเจริญได้ในที่ความเป็นกรด-เบส

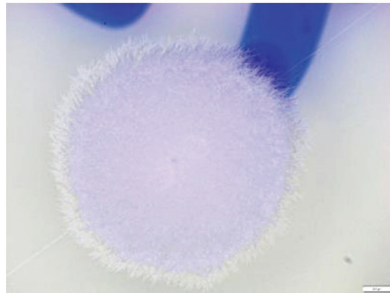
ต่ำ แรงดันออสโมซิสสูง และมีปริมาณออกซิเจนน้อย นอกจากนี้ยังมีความสามารถใช้แหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่หลากหลาย ส่งผลต่อการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมจากขยะอินทรีย์ทางการเกษตร (Passoth et al., 2005) และ *Dipodascus albidus* เป็นยีสต์กลุ่ม Budding Yeast พบได้จากยางของต้น Puya (Bromeliaceae) ยางของต้น Betula (Corylaceae) (Lagerheim, 1892)

ตารางที่ 3 การกระจายของยีสต์ที่พบบริเวณป่าเขาพลวง วิทยาลัยชัยบาดาลพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

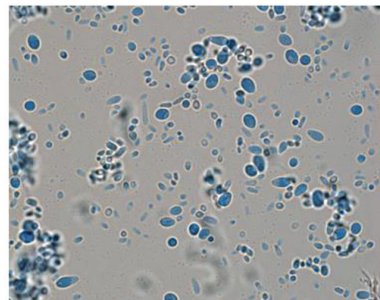
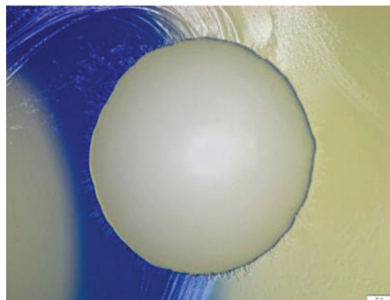
จุดเก็บดิน	ยีสต์			
	<i>Trichosporon asahii</i>	<i>Candida tropicalis</i>	<i>Pichai sp.</i>	<i>Dipodascus albidus</i>
CB-9	-	+	-	-
CB-13	+	-	-	-
CB-17	-	+	-	-
CB-19	-	+	-	-
CB-20	+	-	+	-
CB-21	-	+	-	+
CB-25	-	+	-	-
CB-26	-	-	+	-
CB-29	+	-	-	-
CB-31	+	-	-	-
CB-32	+	-	-	-
CB-34	-	+	-	+

หมายเหตุ เครื่องหมาย + พบ - ไม่พบ

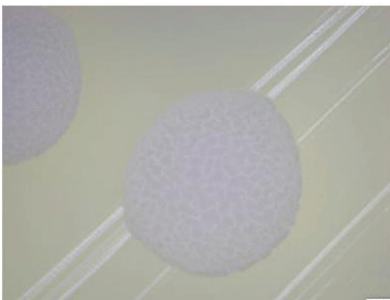
4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ



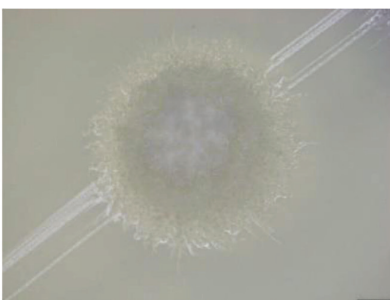
(ก)



(ข)

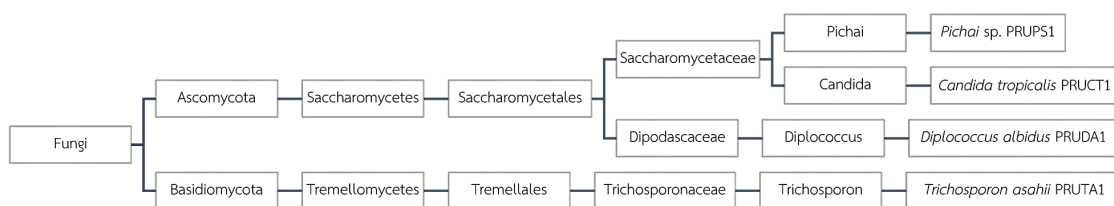


(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 ลักษณะการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแตกต่างกันของยีสต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ กำลังขยาย 45 เท่า และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยีสต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 60 เท่า
(ก) *Trichosporon asahii* (ข) *Candida tropicalis* (ค) *Pichai* sp. (ง) *Dipodascus albidus*



ภาพที่ 4 แผนภาพสายวิวัฒนาการ (Phylogenetic tree) ของยีสต์ที่พบในดินป่าเขาพลวง
วิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สรุป

การระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์เพื่อระบุชนิดของยีสต์ป่าเขาพลวง วิทยาลัยชัยบาดาลพิพัฒน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร โดยใช้หลักการระบุตามวิวัฒนาการชาติพันธุ์ (phylogenetic identification) ตามพิกัดเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติเขาพลวงจำนวน 40 จุดเก็บ (CB-1 - CB-40) ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวประกอบด้วยการศึกษาฐานวิทยาของกลุ่มยีสต์ และพิสูจน์เอกลักษณ์เพื่อระบุชนิดยีสต์โดยศึกษาเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วนของ ITS พบยีสต์ 3 ชนิด คือ *Candida tropicalis* PRUCT1, *Trichosporon asahii* PRUTA1, และ *Pichia* sp. PRUPS1 และเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วนของ D1/D2 domain ของ large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA) หรือ 26S rDNA พบยีสต์ 1 ชนิด คือ *Dipodascus albidus* PRUDA1 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีบทบาทในระบบนิเวศ ตลอดจนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อยอดงานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่นได้ในอนาคต อาทิเช่น การคัดเลือกยีสต์ที่มีสามารถในการสะสมไขมันสูง (Oleaginous Yeast) จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตไบโอดีเซล

เอกสารอ้างอิง

- Alfred B. (2011). The importance and ecology of yeasts in soil, **Soil Biology and Biochemistry**, 43(1), 1-8.
- Bamrungsawad, K. (2012). **Development of A Nature Trail in the Khaoploung Forest at Chaibadanpiphat College**, Phranakhon Rajabhat University, Amphur Chai Badan, Lop Buri Province. (Master's thesis). Phranakhon Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Barnett, J.A., Payne, R.W. & Yarrow, D. (2000). **Yeasts: Characteristics and Identification**, 3rd edition. Cambridge University, New York.
- Boonmak, C., Jindamorakot, S., Kawasaki, H., Yongmanitchai, W., Suwanarit, P., Nakase, T. & Limtong, S. (2009). *Candida siamensis* sp. nov., an anamorphic yeast species in the *Saturnispora* clade isolated in Thailand. **FEMS: Yeast Research**, 9(4), 668-672.
- Chanklan, R., Kungkaew, P., Am-In, S. & Jindamorakot, S. (2012) Diversity of yeasts in the nature education center for mangrove conservation and ecotourism, Chonburi Province. **Thai Journal of Science and Technology**,1(3), 155-168.

- Chongsuwat, W. (2011) **Study Report No.3 Survey Design and Master Plan Project Chai Badan Phiphat College Phranakhon Rajabhat University.** Phranakhon Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Fell, J.W., Boekhout, T., Fonesca, A., Scorzetti, G. & Tallman, A.S. (2000). Biodiversity and systematics of basidiomycetous yeasts determined by large subunit rDNA D1/D2 domain sequence analysis. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, **50**, 1351-1371.
- Haelewaters, D., Toome-Heller, M., Albu, S., & Aime, M. C. (2020). Red yeasts from leaf surfaces and other habitats: three new species and a new combination of *Symmetrospora* (Pucciniomycotina, Cystobasidiomycetes). **Fungal systematics and evolution**, **5**, 187-196.
- Hermansyah, N. & Wiraningsih, M. (2016). Bioethanol production from cellulose by *Candida tropicalis*, as an alternative microbial agent to produce ethanol from lignocellulosic biomass. *Sriwijaya Journal of Environment*, **1**(1), 10-13.
- Jamai, L. & Ettayebi, M. (2013). Bioethanol production process using the non-conventional yeast *Candida tropicalis*. **International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)**, 477-481.
- Kaewwichian, R. & Khamthaiklang, S. (2017). Yeast in Mangrove Forest Soil from the Central Thailand and Its Ability in the Degradation of Starch, Carboxymethyl cellulose and Xylan. **Burapha Science Journal**, **22**(3). (in Thai)
- Kuncharoen, N., Techo, S., Savarajara, A. & Tanasupawat, S. (2020). Identification and lipolytic activity of yeasts isolated from foods and wastes. **Mycology**, **11**(4), 279-286.
- Kurtzman, C.P., Fell, J.W. & Boekhout T. (2011). **The Yeasts (Fifth Edition)**. Elsevier Science. Inc., Amsterdam.
- Kurtzman, C.P. & Robnett, C.J. (1998). Identification and phylogeny of ascomycetous yeasts from analysis of nuclear large subunit (26S) ribosomal DNA partial sequences, **Antonie van Leeuwenhoek**, **73**, 331-371.
- Kurtzman, C.P. & Sugiyama, J. (2001). Ascomycetous yeasts and yeastlike taxa, In D.J. McLaughlin and P.A. Lemke, eds. **The Mycota VII: Systematics and Evolution Part A**. Springer-Verlag, Berlin. 179-200.
- Lagerheim, G. (1892). *Dipodascus albidus*, eine neue, geschlechtliche Hemiascee. **Jahrb. Wiss. Bot.**, **24**, 549-565.
- Li, A.H., Yuan, F.X., Groenewald, M., Bensch, K., Yurkov, A.M., Li, K., Han, P.J., Guo, L.D., Aime, M.C., Sampaio J.P., Jindamorakot S., Turchetti B., Inacio J., Fungsin B., Wang Q.M., & Bai F.Y. (2020). Diversity and phylogeny of basidiomycetous yeasts from plant leaves and soil: Proposal of two new orders, three new families, eight new genera and one hundred and seven new species. **Studies in Mycology**, **96**, 17-140.

- Limtong, S., Sintara, S., Suwannarit, P., & Lotong, N. (2002). Yeast diversity in Thai traditional fermentation starter (Loog-pang). **Kasetsart Journal (Natural Sciences) (Thailand)**, **36**(2), 149-158.
- Limtong, S. (2013). Yeast genetics and guidelines for utilization. **Thai Journal of Genetics**, **S.1**(S1 (Special Issue 1)), 71-75. (in Thai)
- Lopandic, K. and Prillinger, H. (2001). Genotypic identification and phylogenetic characterization of yeasts from Austrian dairy products. **Fachgruppe Mikrobiologie und Molekularbiologie**. 117-118.
- Oslan S.N., Salleh A.B., Rahman R.N., Basri M. & Chor A.L.T. 2012. Locally isolated yeasts from Malaysia: identification, phylogenetic study and characterization. **Acta Biochimica Polonica** **59**(2). 225-229.
- Passoth V., Fredlund E., ÄdelDruvefors U., & Schnürer J. (2005). Biotechnology, physiology and genetics of the yeast *Pichia anomala*. **Yeast Research**. 1567-1364
- Prasatsri, K. (2006). **Identification of Yeast isolated from organic matter in mangrove forest by conventional and molecular taxonomy**. Master of Science (Microbiology). Kasetsart University. (in Thai)
- Rungcharoen, C., Phunan, W., Nilsuwan, A., Boonme, N., Keawprasert, K. & Somwong-in. (2019). **Summary report on the performance of the resource protection project in the Khao Phluang forest area Activities to explore biological resources in the mushroom group that are useful in the ecosystem in the Khao Phluang forest area Chai Badan Phiphat College Lopburi. (Academic reports)**. Phranakhon Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Sasiapa., (2021). Development of yogurt with *Nypa fruitcans* in syrup. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, **16**(2), 1-11. (in Thai)
- Siringam, T., Vanijajiva, O. & Thaweesuk, A. (2019). **Resource Protection Project in the Khao Phluang Forest Area: Survey and Plant Coding, and Coordinating Code Activity at Chaibadanpiphat College, Lopburi Province. (Academic Report)**. Phranakhon Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Soetarto, E.S. (1998). Xylan degrading enzymes of the yeast *Candida tropicalis* strain R1. **Indonesian Journal of Biotechnology**. 173-179.
- Sulman, S. & Rehman, A. (2013). Isolation and Characterization of Cellulose Degrading *Candida tropicalis* W2 from Environmental Samples. **Pakistan Journal of Zoology**, **45**(3), 809-816.
- Sumpradit, T. (2005). **Yeast diversity in soils from hill evergreen, mixed deciduous, dry dipterocarp, and pine forests of Nam Nao National Park**. Kasetsart University/Bangkok. Retrieved from DOI: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI= [2021, 23 Jun.]

- Sumpradit, T., Wongvilair, R., & Wiangdao, S. (2015). **Yeast Species Diversity in Soils Collected from the Mixed Deciduous and Dry Evergreen Forests in Mae Wong National Park.** (Master's thesis). Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Tapia-Vázquez, I., Sánchez-Cruz, R., Arroyo-Domínguez, M., Lira-Ruan, V., Sánchez-Reyes, A., Sánchez-Carbente, M.R., Padilla-Chacón, D., Batista-García, R.A., & Folch-Mallol, J.L. (2020). Isolation and characterization of psychrophilic and psychrotolerant plant-growth promoting microorganisms from a high-altitude volcano crater in Mexico. **Microbiological Research**, 232.
- Thongekkaew, J., Khumsap, A. & Chatsa-nga, P. (2011). Yeasts in mixed deciduous forest areas of Phujong Nayoy National Park and their ability to produce xylanase and carboxymethyl cellulase. Songklanakarin. **Journal of Science and Technology**, 34 (2), 157-163.
- Vandamme P., Pot B., Gillis M., P de Vos, Kersters K., & Swings, J. (1996). Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. **Microbiological Reviews**, 60(2), 407-438.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J.W. (1990). **Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics.** In: Innis M, Gelfand D, Sninsky JJ & White TJ (Eds) PCR protocols Academic Press, San Diego, California. 315–322.
- Yurkov A. M. (2018). Yeasts of the soil - obscure but precious. **Yeast (Chichester, England)**, 35(5), 369–378.

[illegible]

สถานการณ์และองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน
กรณีศึกษา เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

STATUS AND CHARACTERIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE:
THE CASE OF POOCHAOSAMINGPRAI MUNICIPALITY,
PHRA PRADAENG DISTRICT, SAMUT PRAKAN PROVINCE

ธัญญา หนังสือ กำพล นันทพงษ์ และ บุษราคัม ฐิตานูวัฒน์*
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Thananya Nangsue, Kampol Nanthapong and Bussarakam Thitanuwat*
Faculty of Public Health, Thammasat University

*E-mail: b.thitanuwat@fph.tu.ac.th

Received: 2021-09-25

Revised: 2021-12-23

Accepted: 2022-01-24

บทคัดย่อ

การไม่คัดแยกมูลฝอย และการกำจัดมูลฝอยอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ นอกจากจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพแล้ว ยังจัดเป็นปัญหาที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหลายแห่งกำลังประสบอยู่ การแก้ไขปัญหามูลฝอยอย่างยั่งยืนและเหมาะสมกับประเภทของมูลฝอยนั้นจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาแหล่งกำเนิด อัตราการเกิดและประเภทของมูลฝอยชุมชน และ (2) ศึกษาสถานการณ์การจัดการมูลฝอยในปัจจุบัน ณ เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ.2563 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 จากการศึกษาพบว่า ปัจจุบันมูลฝอยกว่าร้อยละ 99 ของปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมได้ในพื้นที่ ถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการเทกองควบคุม ทั้งนี้หากสนับสนุนให้มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากชุมชน (ร้อยละ 76.49) ตลาด (ร้อยละ 1.70) สถานศึกษา (ร้อยละ 0.79) ศาสนสถาน (ร้อยละ 1.77) โรงงานอุตสาหกรรม (ร้อยละ 16.04) และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม (ร้อยละ 3.21) จะพบว่า อัตราการเกิดมูลฝอยในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 1.48 ± 0.08 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน นอกจากนี้ยังพบว่า มูลฝอยอินทรีย์เป็นมูลฝอยที่พบมากที่สุด (ร้อยละ 51.44 ± 0.85) จากทุกแหล่งกำเนิด รองลงมาเป็นมูลฝอยทั่วไป (ร้อยละ 39.75 ± 3.95) มูลฝอยรีไซเคิล (ร้อยละ 8.69 ± 3.09) และมูลฝอยอันตราย (ร้อยละ 0.12 ± 0.20) ดังนั้น ในอนาคตจึงควรมุ่งเน้นการศึกษาเทคโนโลยีทางเลือกที่เหมาะสมกับมูลฝอยแต่ละประเภท เช่น การนำมูลฝอยอินทรีย์ไปทำปุ๋ยหมักหรือเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ การคัดแยกมูลฝอยทั่วไปเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง (RDF) เป็นต้น จะมีส่วนช่วยให้เกิดการจัดการมูลฝอยแต่ละประเภทได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: องค์ประกอบของขยะ มูลฝอยชุมชน การจัดการมูลฝอย

ABSTRACT

Lack of Municipal Solid Waste (MSW) sorting coupled with non-sanitary disposal causes not only effects on the environment and human health but also a current management problem for local authorities. Sustainable and proper management of the problem according to types of the MSW is important. This research aimed to evaluate sources, generation rate, and types of the MSW and to study current situation of MSW management in Poochaosamingprai Municipality during September 2020 to April 2021. The results indicated that approximately 99% of collected MSW from this area was disposed by Controlled Open Dump. The source identification revealed that this MSW was generated from communities (76.49%), fresh-food markets (1.70%), schools (0.79%), temples (1.77%), industrial sector (16.04%) and non-industrial establishments (3.21%). If MSW separation at source was implemented properly, the estimated generation rate would be 1.48 ± 0.08 kg per capita per day. Moreover, the highest proportion of the MSW from all sources was organic waste ($51.44 \pm 0.85\%$), followed by general waste ($39.75 \pm 3.95\%$), recycle waste ($8.69 \pm 3.09\%$) and hazardous waste ($0.12 \pm 0.20\%$), respectively. In the future, therefore, studies should focus on alternative waste management technologies for each type of MSW, for example composting or biogas production for organic waste and Refuse-derived fuel (RDF) for general waste, which can contribute to the proper and sustainable management of MSW.

Keywords: Solid Waste composition, Municipal Solid Waste, Solid Waste Management

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการจัดการมูลฝอยยังคงเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่ยังต้องการการแก้ไข เพราะนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ ภูมิทัศน์ของบ้านเมือง ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน (Silpasuwan, 2014) สถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวของชุมชน การเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการท่องเที่ยว Nichols & Smith (2019) ได้จัดทำรายงาน Waste Generation and Recycling Indices ในปี ค.ศ. 2019 พบว่า ในแต่ละปีทั่วโลกจะผลิตมูลฝอยชุมชนมากกว่า 2.1 พันล้านตัน ในจำนวนนี้มีเพียง 323 ล้านตัน (หรือคิดเป็นร้อยละ 16) เท่านั้น ซึ่งถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ในขณะที่มูลฝอยชุมชนส่วนที่เหลือยังคงถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดการมูลฝอยยังคงเป็นปัญหาที่ทุกหน่วยงาน รวมไปถึงองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหลายแห่งกำลังประสบอยู่ ไม่ว่าจะเป็นปัญหามูลฝอยตกค้าง ปัญหาการกำจัดมูลฝอยอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ หรือปัญหาการไม่มีที่ดินสำหรับการกำจัดมูลฝอย (Vajarodaya, 2013)

มูลฝอยชุมชน อันประกอบไปด้วยมูลฝอยอินทรีย์ มูลฝอยทั่วไป มูลฝอย มูลฝอยรีไซเคิล และมูลฝอยอันตราย มักมีรูปแบบการจัดการโดยเริ่มต้นจากการคัดแยกมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด (บางแห่ง) การเก็บรวบรวม มูลฝอย การขนส่งมูลฝอย การนำมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ และการกำจัดมูลฝอย (Pollution Control Department, 2015) ทั้งนี้การคัดแยกมูลฝอยก่อนทิ้งถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลให้ปริมาณมูลฝอยที่จะถูกนำไปกำจัดมีปริมาณน้อยลง มูลฝอยชุมชนจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน เช่น บ้านเรือน ตลาด สถานศึกษา ศาสนสถาน โรงงาน

อุตสาหกรรม เป็นต้น อาจมีปริมาณ อัตรา ชนิด และองค์ประกอบของมูลฝอยที่แตกต่างกัน (Khantaphat, 2006) นอกจากนี้ แนวทางการนำมูลฝอยชุมชนแต่ละประเภทไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ยังมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของมูลฝอย เช่น มูลฝอยอินทรีย์ โดยทั่วไปมักประกอบไปด้วย เศษอาหาร ผัก ผลไม้ และมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่สำคัญคือ มีความชื้นร้อยละ 50-60 และองค์ประกอบของอินทรีย์สารมากกว่าร้อยละ 40 จึงนิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมัก (Composting) ซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกและง่าย สามารถทำได้เองภายในครัวเรือน (Pollution Control Department, 2009) นอกจากนี้ยังนิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production) โดยอาจหมักร่วมกับวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น มูลสัตว์ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น (Jitpranee & Ladpala, 2009) ในขณะที่มูลฝอยทั่วไป หากมีกระบวนการคัดแยกอย่างเหมาะสม จะนิยมนำไปแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงมูลฝอย (Refuse Derived Fuel: RDF) (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2005) หรือมูลฝอยรีไซเคิล เช่น กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ ซึ่งมีมูลค่า จึงนิยมเก็บและรวบรวมเพื่อจำหน่ายหรือสร้างรายได้ต่อไป (Na Sakolnakorn & Leknoi, 2020)

เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย จัดเป็นแหล่งกำเนิดมูลฝอยชุมชนที่สำคัญ ประกอบไปด้วยชุมชน สถานศึกษา ตลาด ศาสนสถาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม ครอบคลุมพื้นที่กว่า 25.5 ตารางกิโลเมตร ในแต่ละวันจะมีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จากสถิติข้อมูลปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมได้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 – 2563 พบว่า ในแต่ละปีจะมีปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมด เฉลี่ยปีละ 40,000 ตัน ในปัจจุบัน มูลฝอยเกือบทั้งหมดจะถูกส่งไปกำจัดด้วยวิธีการเทกองที่มีการควบคุม (Controlled dump) ประกอบไปด้วยการบดอัด และการกลบทับมูลฝอย โดยไม่ผ่านกระบวนการคัดแยก (Phonla, 2016) ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการแต่ละปีกว่า 60 ล้านบาท นอกจากนี้ จากเหตุการณ์เพลิงไหม้ ซึ่งเกิดขึ้นจากการกำจัดมูลฝอยอย่างไม่เหมาะสม ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซที่ติดไฟได้ และปัญหามลพิษทางอากาศ ยังคงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่หน่วยงานภาครัฐ และองค์กรต่าง ๆ ภายในพื้นที่ยังต้องดำเนินการติดตามตรวจสอบ (Thai Publica, 2014) จากสถานการณ์ข้างต้น หากผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวางแผนการจัดการมูลฝอยมีความเข้าใจถึงแหล่งกำเนิด ชนิด ปริมาณ อัตราการเกิดและองค์ประกอบของมูลฝอยในเทศบาลจะช่วยให้การนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการตัดสินใจ และการดำเนินการจัดการอย่างยั่งยืนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแหล่งกำเนิด ชนิด อัตราการเกิด องค์ประกอบ และและประเภทของมูลฝอยชุมชน และเพื่อศึกษาสถานการณ์การจัดการมูลฝอยในปัจจุบันของเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย

วิธีการ

การศึกษาศาสนาการณการจัดการมูลฝอยชุมชนในพื้นที่เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เก็บและรวบรวมข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับขนาดพื้นที่ จำนวนประชากร แหล่งกำเนิด และประเภทมูลฝอยชุมชนในปัจจุบัน จากระบบบันทึกสถิติฐานข้อมูลปริมาณมูลฝอยของเทศบาล

2) คัดเลือกพื้นที่เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการสำรวจชนิด ปริมาณ องค์ประกอบ และแนวทางการจัดการในปัจจุบันจำแนกตามแหล่งกำเนิดของมูลฝอย โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1) แบ่งแหล่งกำเนิดมูลฝอยออกเป็น 6 แหล่งกำเนิด ได้แก่ ชุมชน สถานศึกษา ตลาด ศาสนสถาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม

2.2) คำนวณจุดเก็บตัวอย่างมูลฝอยชุมชนจากแต่ละแหล่งกำเนิดจากสมการที่ (1) อ้างอิงจากสูตรของ Taro Yamane (Yamane, 1973) ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (1)$$

โดยที่ n แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (มีหน่วยเป็น แห่ง)

N แทน ขนาดของประชากรจำแนกตามแหล่งกำเนิด (โดยชุมชน ตลาด สถานศึกษา ศาสนสถาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงาน อุตสาหกรรม มีขนาดของประชากร เท่ากับ 62 แห่ง 8 แห่ง 25 แห่ง 11 แห่ง 166 แห่ง และ 95 แห่ง ตามลำดับ) (Poochaosamingprai Municipality, 2020)

e แทน ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง (กำหนดให้เท่ากับ 0.05)

การสุ่มเก็บตัวอย่างมูลฝอยในแต่ละแหล่งกำเนิดเพื่อศึกษาประเภทของมูลฝอย จะสุ่มเก็บตัวอย่าง จากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง (n) ที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) โดยแบ่งตามแหล่งกำเนิดของมูลฝอยชุมชน ดังนั้น จากการคำนวณ จะมีตัวแทนของตัวอย่างมูลฝอยจากชุมชน จำนวน 54 แห่ง ตลาด จำนวน 8 แห่ง สถานศึกษา จำนวน 24 แห่ง ศาสนสถาน จำนวน 11 แห่ง โรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 117 แห่ง และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงาน อุตสาหกรรม จำนวน 77 แห่ง

3) สํารวจปริมาณมูลฝอยตามจำนวนจุดเก็บมูลฝอยจำแนกแหล่งกำเนิดมูลฝอย ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 2.2 เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการสำรวจตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ พร้อมทั้งจดบันทึกข้อมูลน้ำหนักมูลฝอยชุมชน ที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมด (ในหน่วยกิโลกรัม) จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณมูลฝอยชุมชนต่อวันจากสมการที่ 2 และ อัตราการเกิดมูลฝอยจำแนกตามแหล่งกำเนิดมูลฝอย (สมการที่ 3) นอกจากนี้ ยังรวบรวมสถิติปริมาณมูลฝอยที่เก็บ รวบรวมได้ในพื้นที่ ในช่วงปี พ.ศ. 2559-2563 จากระบบบันทึกสถิติฐานข้อมูลปริมาณมูลฝอยของเทศบาล เพื่อใช้ ในการประเมินอัตราการเกิดมูลฝอยในภาพรวมของเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย

$$\text{ปริมาณมูลฝอยเฉลี่ยต่อวัน (กก.ต่อ วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของมูลฝอยที่เก็บขนได้ (กก.)}}{\text{จำนวนวันที่เก็บขน (วัน)}} \quad (2)$$

$$\text{อัตราการเกิดมูลฝอย (กก.ต่อหน่วย ต่อวัน)} = \frac{\text{จำนวนวันที่เก็บขน (วัน)}}{\text{จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา (หน่วย)}} \quad (3)$$

4) สุ่มเก็บตัวอย่างมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด จากจำนวนจุดเก็บซึ่งคำนวณได้จากข้อ 2.2 ทั้งในวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์) และในวันหยุด (เสาร์ อาทิตย์ วันหยุดนักขัตฤกษ์) ระหว่างวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2563 ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2564 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความหนาแน่นของมูลฝอย (สมการที่ 4) และวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยชุมชน ทั้งในภาพรวมและจำแนกตามแหล่งกำเนิด ด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering Method) โดยทำการแบ่งชนิดของมูลฝอยชุมชน ออกเป็น 11 ชนิด ได้แก่ เศษอาหาร ไม้/กิ่งไม้ กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ ยาง ผ้า หนัง อื่น ๆ และมูลฝอยอันตราย นำมูลฝอยแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนัก (บันทึกน้ำหนักในหน่วยของกิโลกรัม) และประเมินร้อยละขององค์ประกอบของ มูลฝอยทั้ง 11 ชนิด (สมการที่ 5) (Pollution Control Department, 2007)

$$\text{ความหนาแน่นของมูลฝอย (กก.ต่อ ลบ.ม.)} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยแยกประเภท (กก.)}}{\text{ปริมาตรของภาชนะบรรจุ (ลบ.ม.)}} \quad (3)$$

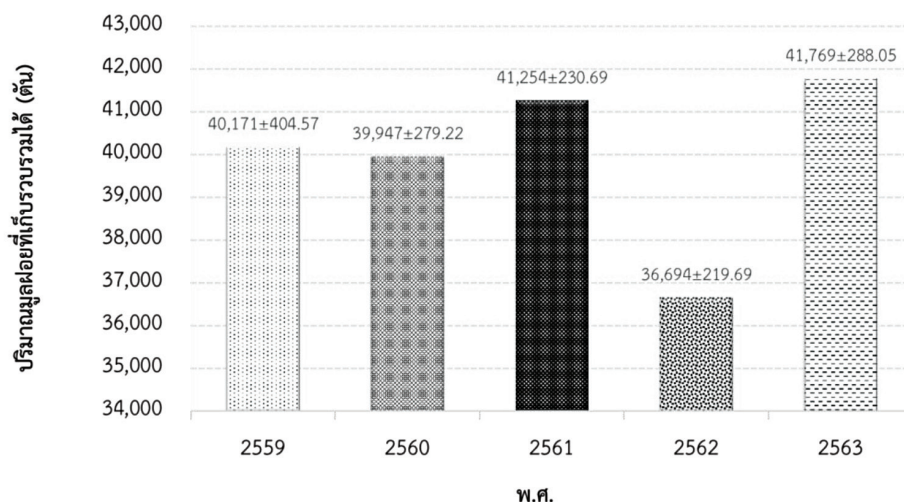
$$\text{ร้อยละขององค์ประกอบมูลฝอย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยแยกประเภท (กก.)}}{\text{น้ำหนักมูลฝอยรวม (กก.)}} \times 100 \quad (4)$$

5) เมื่อทราบร้อยละของมูลฝอยทั้ง 11 ชนิดแล้ว จึงจัดกลุ่มแยกมูลฝอยอีกครั้งเป็น 4 ประเภทย่อย ได้แก่ มูลฝอยทั่วไป (ประกอบไปด้วย ยาง ผ้า หนัง และอื่น ๆ) มูลฝอยอินทรีย์ (ประกอบไปด้วย เศษอาหาร ไม้/กิ่งไม้) มูลฝอยรีไซเคิล (ประกอบไปด้วย กระดาษ พลาสติก แก้ว และโลหะ) และมูลฝอยอันตราย (ประกอบไปด้วยของเสียอันตรายต่าง ๆ เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หลอดไฟ เป็นต้น) แล้วนำมูลฝอยแต่ละประเภทมาชั่งน้ำหนัก และประเมินร้อยละของมูลฝอยแต่ละประเภทในแต่ละแหล่งกำเนิด (ดังสมการที่ 5)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1) สถานการณ์และการจัดการมูลฝอยชุมชนในปัจจุบัน

จากสถิติข้อมูลปริมาณมูลฝอยในเขตเทศบาลเมืองปทุมธานี พบว่า ปริมาณมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ในปี พ.ศ. 2559 - 2563 (ดังแสดงในภาพที่ 1) มีค่าเฉลี่ยโดยประมาณ $39,958 \pm 1,997.42$ ตันต่อปี ทั้งนี้พบว่า ปริมาณมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ในแต่ละปีมีความแตกต่างกัน ดังเห็นได้อย่างชัดเจนในปี พ.ศ. 2562 พบว่าปริมาณมูลฝอยที่เก็บขนได้ มีจำนวนลดลงถึง ร้อยละ 11 เมื่อเทียบกับปริมาณมูลฝอยที่เก็บขนได้ ในปี พ.ศ. 2561 แต่กลับเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในปี พ.ศ. 2563 ทั้งนี้เป็นผลมาจากในปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 เทศบาลฯ มีการจัดโครงการอบรมการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน และโครงการอบรมให้ความรู้แก่นักเรียนในด้านการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งเน้นการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน การคัดแยกและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การสร้างจิตสำนึกและการมีวินัยในการจัดการมูลฝอยในชุมชน ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2563 เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้มูลฝอยชุมชนอาจประกอบด้วยมูลฝอยติดเชื้อ ทำให้มีการจัดการโดยเน้นการเก็บรวบรวมให้ได้มากที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงจากการสัมผัสมูลฝอยติดเชื้อ นอกจากนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงในหลายปัจจัย เช่น เขตเทศบาลเมืองปทุมธานีเป็นพื้นที่ที่มีประชากรแฝง และนักศึกษารวมเป็นจำนวนมาก มีการลงทุน และประกอบกิจการจำนวนมากทั้งอุตสาหกรรม การพาณิชย์กรรม และที่พักอาศัยเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลต่อปริมาณมูลฝอยได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในภาพรวม จะสามารถสรุปได้ว่า ในแต่ละวันเทศบาลเมืองปทุมธานีจะมีศักยภาพในการเก็บรวบรวมมูลฝอยโดยเฉลี่ย 109.35 ± 5.39 ตัน



ภาพที่ 1 ปริมาณมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ในเขตเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย ปี พ.ศ. 2559-2563

ปัจจุบันการดำเนินการจัดการมูลฝอยภายในพื้นที่เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการเก็บรวบรวม และขนส่งมูลฝอย เพื่อนำไปกำจัดโดยบริษัทเอกชน ด้วยวิธีการฝังกลบมูลฝอยในรูปแบบพื้นที่เทกองแบบควบคุม (Controlled Dump) จากสถิติข้อมูลใน ปี พ.ศ. 2563 พบว่า เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพรายมีการคัดแยกมูลฝอยบางประเภทเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปทำลังคา ขาเทียมพระราชทาน ผ้าไตรจีวร เป็นต้น (ร้อยละ 0.019) และคัดแยกมูลฝอยอันตรายเพื่อนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบแบบปลอดภัยภายนอกพื้นที่ (Secure Landfill) อีกกว่า ร้อยละ 0.002 ในขณะที่มูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ที่เหลือ ซึ่งไม่มีการคัดแยก (ร้อยละ 99) จะถูกนำไปกำจัดโดยการเทกองแบบควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 2



หมายเหตุ * นำไปทำลังคา ขาเทียมพระราชทาน ผ้าไตรจีวร เป็นต้น

ภาพที่ 2 แนวทางการจัดการมูลฝอยในปัจจุบันของเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย

จากสถานการณ์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่ามูลฝอยกว่า 39,958 ตันต่อปี ถูกนำไปกำจัดทิ้งโดยไม่มีการคัดแยกหรือใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ดังนั้นหากเทศบาลเมืองปู้เจ้าสมิงพรายมีข้อมูลทั้งชนิด ประเภท องค์ประกอบของมูลฝอยอย่างถูกต้อง จะทำให้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนให้เกิดการคัดแยกและนำไปสู่การส่งเสริมการใช้ประโยชน์มูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

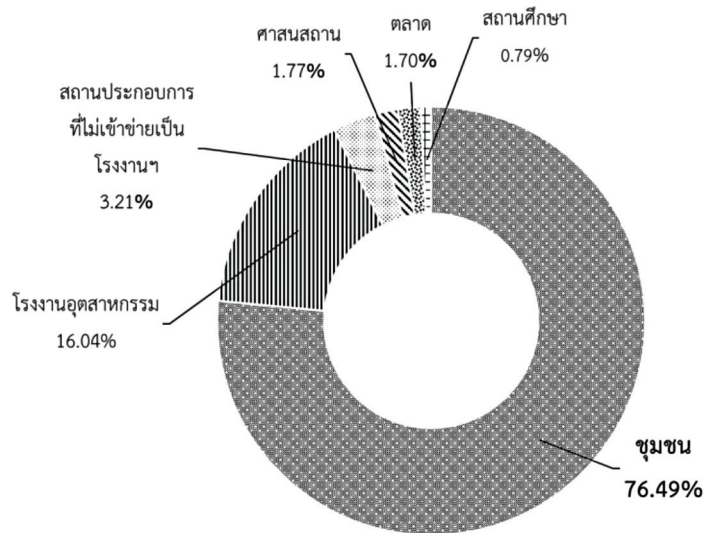
2) แหล่งกำเนิด ชนิด ปริมาณ อัตราการเกิดและองค์ประกอบมูลฝอยชุมชน

ในการสำรวจชนิด ปริมาณ อัตราการเกิด และองค์ประกอบของมูลฝอย จากจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากวิธีการศึกษา ข้อ 2.2 (ชุมชน 54 แห่ง ตลาด 8 แห่ง สถานศึกษา 24 แห่ง ศาสนสถาน 11 แห่ง โรงงานอุตสาหกรรม 117 แห่ง และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม 77 แห่ง) พบว่า ปริมาณมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดจากพื้นที่ของเทศบาลเมืองปู้เจ้าสมิงพราย ส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 70 มีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชน รองลงมาเป็นมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม ศาสนสถาน ตลาด และสถานศึกษา ตามลำดับ ดังภาพที่ 3

แหล่งกำเนิดมูลฝอยซึ่งจำแนกได้ในการศึกษานี้ ยังมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Prohmtong (1997) ซึ่งได้มีการจัดแบ่งออกเป็น แหล่งกำเนิดจากชุมชน ตลาด สถานศึกษา ศาสนสถาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ปริมาณมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดจากพื้นที่ของเทศบาลเมืองปู้เจ้าสมิงพราย ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชน (ร้อยละ 76.49) ยังมีความสอดคล้องกับผลการศึกษา ณ เทศบาลนครรังสิต โดยพบว่ามูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมูลฝอยจาก บ้านเรือนและชุมชนมากที่สุด (Thakhamasuk et al., 2019)

จากข้อมูลสถิติปริมาณมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้ในปี พ.ศ. 2559 – 2563 จะพบว่า อัตราการเกิดมูลฝอยต่อประชากร มีค่ากับ 1.48 ± 0.08 กิโลกรัมต่อวัน โดยมีค่าสูงกว่าอัตราการเกิดมูลฝอยชุมชนในภาพรวมของประเทศ (1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) (Pollution Control Department, 2017) และสูงกว่าอัตราการเกิดมูลฝอยชุมชนในจีน (1.00 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) (Wang & Nie, 2001) และยังพบว่ามีค่าสูงกว่าถึง 1.5 เท่าของอัตราการเกิดมูลฝอยในจังหวัดเชียงราย (0.9 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) (Suma et al., 2019) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากภายในเขตเทศบาลเมืองปู้เจ้าสมิงพราย เป็นพื้นที่ที่ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดมูลฝอยที่หลากหลายทั้งบ้านเรือน ชุมชน ตลาด ตลอดจนอุตสาหกรรม และมีจำนวนประชากรแฝงเป็นจำนวนมาก สำหรับอัตราการเกิดมูลฝอยโดยการจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้แก่ ชุมชน ตลาด สถานศึกษา ศาสนสถาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

นอกจากนี้ ผลจากการศึกษายังพบว่า มูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้จากเทศบาลเมืองปู้เจ้าสมิงพราย ทั้งจากแหล่งกำเนิดชุมชน ตลาด สถานศึกษา ศาสนสถาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม มีความหนาแน่นมูลฝอยเฉลี่ยเท่ากับ 194.44 ± 48.11 , 251.11 ± 77.84 , 130.56 ± 54.22 , 200.00 ± 22.05 , 137.78 ± 43.50 และ 127.78 ± 19.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2550 ที่ได้ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของมูลฝอยจากเทศบาลทั่วประเทศ และพบว่าความหนาแน่นมูลฝอยของชุมชนจะอยู่ในช่วงระหว่าง $124.76 - 296.00$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Pollution Control Department, 2007)



ภาพที่ 3 ร้อยละของปริมาณมูลฝอยจำแนกตามแหล่งกำเนิด ณ เทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย

ตารางที่ 1 อัตราการเกิดมูลฝอยตามแหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิดมูลฝอย	อัตราการเกิดมูลฝอยตามแหล่งกำเนิด		
	กก./คน/วัน ^[1]	กก./ตร.ม./วัน ^[2]	กก./แผง/วัน ^[3]
ชุมชน	1.120	-	-
ตลาด	-	0.044	3.342
สถานศึกษา	0.091	0.006	-
ศาสนสถาน	-	0.009	-
โรงงานอุตสาหกรรม	0.605	-	-
สถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายโรงงานฯ	1.290	-	-

หมายเหตุ : ^[1] อัตราการเกิดมูลฝอย ในหน่วยของ กก./คน/วัน คิดจากจำนวนประชากรของชุมชน (71,631 คน) สถานศึกษา (9,064 คน) โรงงานอุตสาหกรรม (27,813 คน) และสถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม (2,607 คน)

^[2] อัตราการเกิดมูลฝอย ในหน่วยของ กก./ตร.ม./วัน คิดจากขนาดพื้นที่ของตลาด (40,620 ตร.ม.) สถานศึกษา (131,020 ตร.ม.) และศาสนสถาน (211,740 ตร.ม.)

^[3] อัตราการเกิดมูลฝอย ในหน่วยของ กก./แผง/วัน คิดจากจำนวนแผงร้านค้าของตลาด (536 แผง)

จากการดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างมูลฝอยชุมชนในแต่ละแหล่งกำเนิด เพื่อศึกษาประเภทของมูลฝอยพบว่า มูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมได้จากเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพรายในภาพรวม ประกอบไปด้วย มูลฝอยอินทรีย์ (ร้อยละ 51.44±0.85) มูลฝอยรีไซเคิล (ร้อยละ 8.69±3.09) มูลฝอยทั่วไป (ร้อยละ 39.75±3.95) และมูลฝอยอันตราย (ร้อยละ 0.12±0.20) ทั้งนี้ หากพิจารณาตามแหล่งกำเนิดทั้ง 6 แหล่ง จะสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2

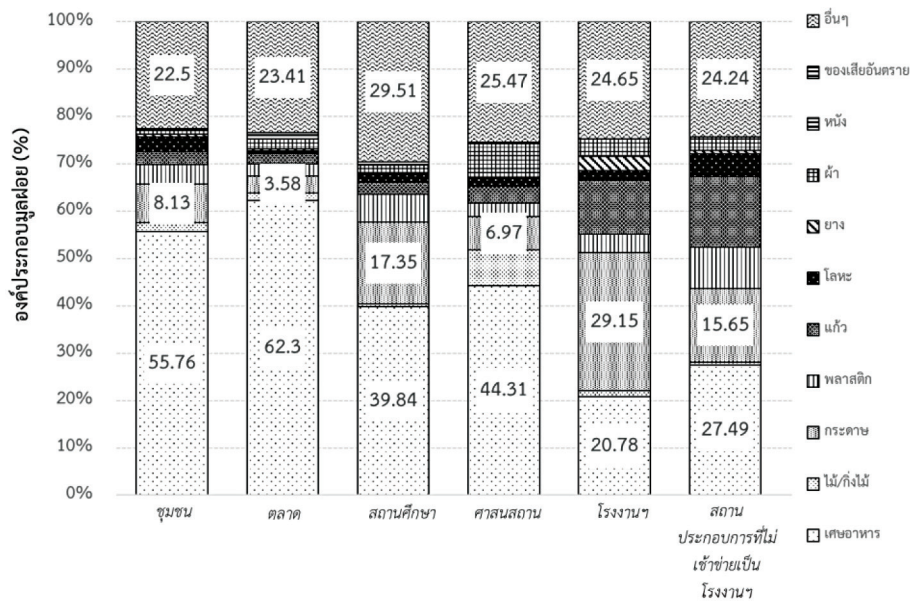
ตารางที่ 2 ประเภทของมูลฝอยจำแนกตามแหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิด	ร้อยละโดยน้ำหนักของมูลฝอย (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	มูลฝอยอินทรีย์	มูลฝอยรีไซเคิล	มูลฝอยทั่วไป	มูลฝอยอันตราย
ชุมชน	57.53±8.53	18.23±5.28	23.86±5.43	0.38±0.66
ตลาด	63.81±6.57	8.98±0.30	25.98±4.75	1.23±2.14
สถานศึกษา	40.36±1.94	27.45±3.21	31.39±6.00	0.80±1.38
ศาสนสถาน	51.81±6.92	15.16±2.38	32.74±4.82	0.29±0.50
โรงงานอุตสาหกรรม	22.05±7.34	46.54±15.04	31.41±7.83	-
สถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานฯ	28.03±6.56	44.08±10.70	27.89±4.58	-

หมายเหตุ : ดำเนินการศึกษาและสุ่มเก็บตัวอย่าง จำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง (ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2564)

ผลการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอย จำแนกตามแหล่งกำเนิด ซึ่งประกอบไปด้วย เศษอาหาร ไม้/กิ่งไม้ กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ ยาง ผ้า หนังสือ ของเสียอันตราย และอื่น ๆ (ดังแสดงในภาพที่ 4) พบว่า มูลฝอยประเภทเศษอาหาร กระดาษ และมูลฝอยอื่น ๆ (เช่น เศษเปลือกลูกอม ถุงพลาสติกที่เปื้อนเศษอาหาร เป็นต้น) เป็นองค์ประกอบของมูลฝอยที่พบสูงที่สุด 3 อันดับแรก จากทุกแหล่งกำเนิด และพบว่า เศษอาหารเป็นชนิดของมูลฝอยที่พบมากที่สุด โดยอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 20.78-62.30 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Meesang (2016) และ Joshi et al. (2015) ซึ่งสรุปได้ว่าเศษอาหารเป็นองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนที่พบได้มากที่สุด ในทางกลับกันการศึกษาของ University of Michigan (2020) พบว่า มูลฝอยชุมชนที่พบส่วนใหญ่จากการศึกษามักประกอบไปด้วยมูลฝอยรีไซเคิล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของบริบทพื้นที่ และนโยบายในการจัดการที่แตกต่างกันไป

นอกจากนี้ ผลจากการสำรวจชนิดและปริมาณของมูลฝอย ยังพบว่า มีจำนวนของมูลฝอยชนิดหน้ากากอนามัยเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ซึ่งเทศบาลฯ ได้จัดตั้งถังรองรับมูลฝอย (สำหรับทั้งหน้ากากอนามัยโดยเฉพาะ) พร้อมกับประชาสัมพันธ์และให้ความรู้แก่ประชาชนในเรื่องของการคัดแยกมูลฝอยอย่างถูกต้อง โดยมูลฝอยในส่วนนี้ ถูกดำเนินการเก็บรวบรวมไปพร้อมมูลฝอยติดเชื้อจากศูนย์บริการสาธารณสุขของเทศบาลฯ และส่งกำจัด ณ โรงพยาบาลสมุทรปราการ



ภาพที่ 4 ร้อยละขององค์ประกอบมูลฝอยตามแหล่งกำเนิด

สรุป

การจัดการมูลฝอยชุมชนในปัจจุบันของเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพราย ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยเฉลี่ย 39,958 ตันต่อปี ยังคงเป็นการกำจัดด้วยวิธีการเทกอง แนวทางการกำจัดดังกล่าวนี้ยังคงเป็นวิธีการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามหากเทศบาลเมืองปู่เจ้าสมิงพรายสนับสนุนให้เกิดการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรม ศาสนสถาน ตลาด และสถานศึกษา คิดเป็นร้อยละ 76.43 16.02 3.21 1.85 1.70 และ 0.79 ตามลำดับ จะสามารถคัดแยกมูลฝอยได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ มูลฝอยอันตราย มูลฝอยรีไซเคิล มูลฝอยทั่วไป และมูลฝอยอันตราย นอกจากนี้ยังพบว่า เศษอาหารเป็นมูลฝอยที่มีสัดส่วนมากที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 20.78-62.30 ดังนั้น หากมีการคัดแยกและนำมูลฝอยในแต่ละประเภทไปใช้ประโยชน์หรือจัดการอย่างเหมาะสมกับคุณสมบัติของมูลฝอย จะช่วยเกิดประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ช่วยลดปริมาณมูลฝอยที่จะต้องนำไปกำจัดขั้นสุดท้าย เกิดการแปรสภาพมูลฝอยให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการระบายก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยเศษอาหาร ลดปัญหากลิ่นที่เกิดจากน้ำชะมูลฝอย และสัตว์พาหะนำโรค เป็นต้น โดยเทศบาลอาจเริ่มต้นได้โดยการจัดโครงการอบรมให้ความรู้แก่ประชาชนในพื้นที่เกี่ยวกับประเภทของมูลฝอย และแนวทางการใช้ประโยชน์มูลฝอย ดังที่เคยดำเนินการมาก่อนหน้า และมุ่งเน้นไปที่แหล่งกำเนิดมูลฝอยจากชุมชน บ้านเรือนเนื่องจากมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่กว่าร้อยละ 70 มีแหล่งกำเนิดมาจากแหล่งนี้ หรืออาจมุ่งเน้นการจัดการไปที่ประเภทของมูลฝอย เช่น เน้นการจัดการมูลฝอยอันตราย เนื่องจากพบว่าเป็นประเภทมูลฝอยที่พบมากที่สุด นอกจากนี้เพื่อให้ทราบแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการ การศึกษาในอนาคตอาจประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การใช้หลักการของสมดุลมวล (Mass Balance) เพื่อศึกษาประโยชน์และความเป็นไปได้ในการจัดการหรือมุ่งเน้นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางเลือกที่เหมาะสมกับมูลฝอยแต่ละประเภท เช่น การนำมูลฝอยอันตราย

ไปทำปุ๋ยหมัก หรือเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ การคัดแยกมูลฝอยทั่วไปเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง (RDF) และการณรงค์ให้เกิดการคัดแยกมูลฝอยรีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นต้น รวมไปถึงการศึกษากาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการจัดการมูลฝอยในแต่ละแนวทางเพื่อพิจารณาถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ก็จะมีส่วนช่วยให้เกิดการจัดการมูลฝอยแต่ละประเภทได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2005). **Study and demonstration of electric power/heat production from community waste**. Retrieved from <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2482> [2021, 10 May.]
- Jitpranee, S., & Ladpala, S. (2009). Feasibility study of organic waste management for biogas production in Naresuan University. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 2(1), 37-43. (in Thai)
- Joshi, N., Khatri, S., Tomar, R.K, & Jain, S.K. (2015). Greenhouse gas emissions in present and proposed municipal solid waste management plans and technologies in India: a comparative analysis of CO₂ equivalent emissions from centralized and decentralized municipal solid waste management. **Journal of Civil Engineering and Environmental Technology**. 2(16). 21-26
- Khantaphat, T. (2006). **Analysis of solid wastes management in Thungkru District**. (Master's dissertation). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Meesang, W. (2016). Trends composition and amount of municipal solid waste in Sam Phrao sub-district, Udon Thani Province. **Journal of the Association of Researchers**, 21(3), 211-220. (in Thai)
- Nichols, W., & Smith, N. (2019). **Waste Generation and Recycling Indices 2019 Overview and findings**. Retrieved from https://www.circularonline.co.uk/wp-content/uploads/2019/07/Verisk_Maplecroft_Waste_Generation_Index_Overview_2019.pdf [2020, 1 Jul.]
- Phonla, C. (2016). **Schemes for community waste management of local administrative organizations**. (Master's dissertation). Thammasat University, Pathum Thani.
- Pollution Control Department. (2007). **Survey and analysis of municipal solid waste composition of municipalities across the country Project** (Report No.04-041). Bangkok: Pollution Control Department.
- Pollution Control Department. (2009). **Composting from solid waste**. Retrieved from <https://www.pcd.go.th/publication/5001/> [2021,10 May]
- Pollution Control Department. (2015). **Waste separation correctly and add value**. Bangkok, Thailand: He's.

- Pollution Control Department. (2017). **Pollution Control Department's Thailand pollution report in 2016**. Retrieved from http://infofile.pcd.go.th/mgt/Thailand_state_pollution2017%20Thai.pdf?CFID=1444046&CFTOKEN=65882008 [2021, 10 May].
- Poochaosamingprai M., (2020). **Annual solid waste data of Poochaosamingprai Municipality**.
- Prohmtong, P. (1997). **Potential of Waste Separation for Reuse**. (Master's dissertation) King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Promsaka N., T., & Lekno, U. (2020). Waste management of subdistrict municipality under circular economy Concept. **Narkbhutparitat Journal**, 12(2), 46-52. (in Thai)
- Silpasuwan, P. (2014). **Municipal solid waste: The Significant problem of Thailand**. Bangkok, Thailand: The Secretariat of the Senate.
- Suma, Y., Pasukphun, N., Hongtong, A., Keawdunglek, V., Laor, P. & Apidechkul, T. (2019). Waste composition evaluation for solid waste management guideline in highland rural tourist area in Thailand. **Applied Environmental Research**, 41(2), 13-26.
- Thakhamsuk, N., Nanthapong, K., & Boonshuyar, C. (2019). Municipal solid waste management: A case study of Rangsit City Municipality **Journal of Disease and Health Risk DPC.3**, 13(3), 57-66 (in Thai)
- Thai Publica. (2014). **The case of the "Praksa" landfill is on the national agenda for waste management in Thailand**. Retrieved from <https://thaipublica.org/2014/08/praksa-1/> [2021, 11 Sep.]
- University of Michigan. (2020). **Municipal Solid Waste**. Retrieved from <https://css.umich.edu/factsheets/municipal-solid-waste-factsheet> [2021, 6 Sep.]
- Vajarodaya, P. (2013). **Local Authority's Solid Waste Management: A Case Study of Muangklang Municipality, Rayong Province**. (Master's dissertation). National Institute of Development Administration, Bangkok.
- Wang, H. & Nie, Y. (2001). Municipal solid waste characteristics and management in China. **Journal of the Air & Waste Management Association**, 51, 250-263.
- Yamane, T. (1973). **Statistics: an introductory analysis**. 3rded. New York: Harper and Row Publications.

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์
ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ

REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN SOLVENT VAPOR
OF CAR PAINT USING BIOFILTER

สุภัทสร ชิมเชิด^{1*} วรากร โคมโสภา² ธรรมรักษ์ ศรีมารุต¹ อรัญ ขวัญปาน¹
ณัฐพร อารีรัชกุล¹ และ รุจีพรรณ แผงจันดา¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร

Suphatsorn Chimcherd^{1*}, Warakorn Chomsopa², Thammarak Srimarut¹, Aran Kwanpan¹,
Nathaporn Areerachakul¹ and Rujipun Phangchandha¹

¹Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok

²Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok

*E-mail: suphatsorn.ch@ssru.ac.th

Received: 2022-01-25

Revised: 2022-05-23

Accepted: 2022-05-25

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ อัตราส่วนของตัวกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด และชนิดของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัด การทดลองประกอบด้วยตัวกลางผสมปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ช้างข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี นำตัวกลางมาผสมกันในอัตราส่วน 2: 1: 3: 1, 2: 2: 2: 1 และ 2: 3: 1: 1 โดยปริมาตร ตามลำดับ ตัวแปรควบคุมใช้ความเข้มข้นไอระเหยตัวทำละลายเท่ากับ 400 ppm ในการทดลองนี้กำหนดระยะเวลาพัก 60 120 และ 180 วินาที ผลการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ อัตราส่วนตัวกลางเท่ากับ 2: 3: 1: 1 ผ่านตัวกรองชั้นแรกประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $90.9 \pm 2.0\%$ ผ่านตัวกรองชั้นที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $93.5 \pm 1.2\%$ และเมื่อผ่านตัวกรองชั้นที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $96.4 \pm 0.3\%$ ตามลำดับ รองลงมาเป็นอัตราส่วนตัวกลางเท่ากับ 2: 2: 2: 1 ผ่านตัวกรองชั้นแรกประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $79.7 \pm 0.3\%$ ผ่านตัวกรองชั้นที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $85.2 \pm 0.4\%$ และผ่านตัวกรองชั้นที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $90.2 \pm 0.2\%$ ตามลำดับ ทั้งนี้จุลินทรีย์เด่นในตัวกลางได้แก่ *Bacillus cereus* และ *Candida tropicalis*

คำสำคัญ: การบำบัดไอระเหย สารอินทรีย์ระเหยง่าย ตัวทำละลาย เครื่องกรองชีวภาพ

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine efficiency of biofilter in the removal of volatile organic compounds (VOCs) in solvent vapor of a car paint, suitable ratios of media used in the biofilter, and dominant species of microorganisms in the removal process. The media used in this study was a mixture of manure, soil mixed with caw leaves, corn cob and community sewage sludge at the ratios of 2: 1: 3: 1, 2: 2: 2: 1 and 2: 3: 1: 1 by volume. The media mixtures were analyzed for their physical and chemical properties. The control variable was concentration of solvent vapor set at 400 ppm. The retention times were 60, 120 and 180 seconds.

Before the VOCs removal study, the solvent vapor of car paint was analyzed. The results showed that the highest removal efficiency was obtained from the biofilter using the media ratio of 2: 3: 1: 1 with the highest removal efficiency after passing through the 3 media layers at $90.9 \pm 2.0\%$, $93.5 \pm 1.2\%$ and $96.4 \pm 0.3\%$, respectively, followed by the media ratio of 2: 2: 2: 1 with the removal efficiency after passing through the 3 media layers at $79.7 \pm 0.3\%$, $85.2 \pm 0.4\%$, and 90.2 ± 0.2 , respectively. The dominant microorganisms found in all of the media mixture were *Bacillus cereus* and *Candida tropicalis*.

Keywords: Vapor removal, Volatile organic compounds, Solvent vapor, Biofilter

บทนำ

มลพิษทางอากาศเป็นอีกปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ สถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทยในปี 2563 ยังมีแนวโน้มทรงตัวและยังพบคุณภาพอากาศที่เกินมาตรฐานในหลายพื้นที่ เช่น ความเข้มข้นสารเบนซีนในบรรยากาศมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในบางพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ริมถนนและพื้นที่รอบอุตสาหกรรม ปัจจุบันเบนซีนในบรรยากาศยังเป็นปัญหาหลักทั่วประเทศซึ่งแหล่งกำเนิดหลักมาจากน้ำมันและการใช้สารเคมีและตัวทำละลาย (Pollution Control Department, 2020) สารอินทรีย์ระเหยง่ายหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) หมายถึง กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ (Office of Air and Sound Quality Management, Pollution Control Department, 2008)

สาร VOCs ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิดที่ถูกปล่อยออกจากผลิตภัณฑ์หลายประเภท แหล่งที่มาหลักของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถพบได้ทั่วไป เช่น สีทาบ้าน น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาไล่แมลง สารกำจัดศัตรูพืช วัสดุก่อสร้าง เครื่องตกแต่งอุปกรณ์สำนักงานกรรพิกและวัสดุหัตถกรรม เป็นต้น (Erika et al., 2017) สาร VOCs มีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ การดื่มน้ำทางปาก และการสัมผัสทางผิวหนัง เมื่อร่างกายได้รับสาร VOCs จะส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน ระบบประสาท ระบบพันธุกรรม ระบบฮอร์โมน และระบบสืบพันธุ์ สาร VOCs หลายชนิด เช่น เบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม และไดคลอโรเบนซีน สามารถทำลายโครโมโซมในเซลล์ของอวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ไต และระบบประสาท โดยสาร VOCs ที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมาจากการใช้ในชีวิตประจำวันและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สาร VOCs เป็นตัวทำละลายและใช้วัตถุดิบที่มีสาร VOCs ในการผลิตเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการปนเปื้อน

ของสาร VOCs ออกสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อประชาชนที่อาศัยรอบโรงงานหรือเขตนิคมอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Disaster Prevention and Management Research and Development Center, 2008)

การลดมลพิษทางอากาศถือเป็นความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมในเมืองใหญ่ ๆ ของโลกซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในประเทศกำลังพัฒนา การพัฒนาเมืองอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการปล่อยแก๊สมลพิษมากขึ้น ระบบกรองชีวภาพ (Biofilter) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดมลพิษที่เป็นสาร VOCs ในต่างประเทศได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ การควบคุมดูแลไม่ต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีความรู้สูงมากนักและเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อดำเนินระบบได้อย่างถูกต้องเหมาะสม แต่ในการดำเนินระบบกรองชีวภาพที่ผ่านมามีประสบปัญหาในเรื่องความดันลดของระบบ การอัดตัวของตัวกลาง (Compaction) การอุดตันเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การควบคุมความชื้นของตัวกลางภายในระบบ รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุดของระบบกรองชีวภาพสำหรับประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลาย (Gurjar et al., 2008)

งานวิจัยนี้จึงนำเครื่องกรองชีวภาพมาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่ฟลักซ์ โดยใช้ปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ชังข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย ผสมกันเป็นตัวกลาง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่ฟลักซ์ เวลาพักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่ฟลักซ์และอัตราส่วนของตัวกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่ฟลักซ์

วิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด เวลาพักที่เหมาะสมและพารามิเตอร์ต่างๆ ในการบำบัดไอระเหยของตัวทำละลายสี่ฟลักซ์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพแบบใช้ตัวกลาง

การกำหนดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเริ่มต้น ได้ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายภายในสถานประกอบการผู้พันสี่รยนต์ทั้งภายนอกและภายในห้องพันสี่ ก่อนการพันสี่ ระหว่างการพันสี่ และหลังการพันสี่ พบความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 40 - 350 ส่วนในล้านส่วน ทดลองบำบัดไอระเหยโทลูอิน ไโซลิน และทินเนอร์ซึ่งมีโทลูอินเป็นองค์ประกอบหลักโดยใช้ตัวกลางปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ตะกอนจุลินทรีย์ และเศษไม้ ในอัตราส่วน 60: 10: 20: 10 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น 50 - 200 ส่วนในล้านส่วนมีค่ามากกว่า 90% ที่เวลาพัก 90 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดไอระเหยทินเนอร์ ที่ความเข้มข้น 50 100 200 300 และ 400 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลาพักสูงสุด 90 วินาที เท่ากับ $99.3 \pm 0.3\%$ $99.1 \pm 0.4\%$ $95.6 \pm 0.4\%$ $87.4 \pm 4.1\%$ และ $70.5 \pm 5.8\%$ ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้จึงทดลองใช้ความเข้มข้นสูงขึ้นเป็น 400 ส่วนในล้านส่วน และได้เปลี่ยนตัวกลางที่ใช้และเพิ่มเวลาพัก (Wongphan et al., 2018)

1. วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1.1 วัสดุตัวกลาง

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ปุ๋ยคอก:ดินผสมใบก้ามปู:ชังข้าวโพด:ตะกอนน้ำเสีย โดยใช้อัตราส่วน คือ 2: 1: 3: 1, 2: 2: 2: 1 และ 2: 3: 1: 1 โดยปริมาตร ตามลำดับ

1.1.1 ปุ๋ยคอก เป็นวัสดุตัวกลางเสริมที่ใช้ในการทดลองนี้ เนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์ที่หนาแน่น มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำและความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี โดยเป็นปุ๋ยคอกจากมูลไก่ผสมแกลบ ดังภาพที่ 1 (ก)

1.1.2 ดินผสมใบก้ามปู เป็นวัสดุตัวกลางเสริมที่ใช้ในการทดลองนี้คือดินผสมใบก้ามปู เป็นดินที่ประกอบด้วยดินร่วนผสมใบก้ามปูหมักรวมกันเพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน สามารถหาได้ทั่วไปในที่นี้ซื้อจากร้านขายต้นไม้อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ดังภาพที่ 1 (ข)

1.1.3 ชังข้าวโพด เป็นวัสดุตัวกลางหลักที่ใช้ในการทดลองนี้ซึ่งวัสดุเหลือใช้ที่หาง่ายและพบมากในเขตพื้นที่ภาคกลาง ชังข้าวโพดมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและสามารถเก็บความชื้นได้ดี ช่วยลดการอัดแน่นของตัวกลาง งานวิจัยนี้ขอชังข้าวโพดจากร้านขายข้าวโพดต้ม เมื่อได้ชังข้าวโพดแล้วให้นำไปล้างน้ำเพื่อกำจัดน้ำเกลือในชังข้าวโพดออก (ล้างน้ำประมาณ 3 ครั้ง) จากนั้นนำไปตัดเป็นท่อน ยาวท่อนละ 2 เซนติเมตร แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดที่มีตะแกรงร่อนขนาด 0.5 เซนติเมตร นำชังข้าวโพดที่บดแล้วไปผึ่ง 3 ชั่วโมง จึงเก็บใส่ถุงนำไปแช่ตู้เย็นเพื่อรักษาสภาพตัวอย่าง ดังภาพที่ 1 (ค)

1.1.4 ตะกอนน้ำเสีย เป็นวัสดุตัวกลางเสริมที่เป็นแหล่งจุลินทรีย์ที่สำคัญ ซึ่งการทดลองนี้เลือกใช้ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำแล้วจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม กรุงเทพมหานคร ดังภาพที่ 1 (ง)



(ก) ปุ๋ยคอก



(ข) ดินผสมใบก้ามปู



(ค) ชังข้าวโพด



(ง) ตะกอนน้ำเสีย

ภาพที่ 1 ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

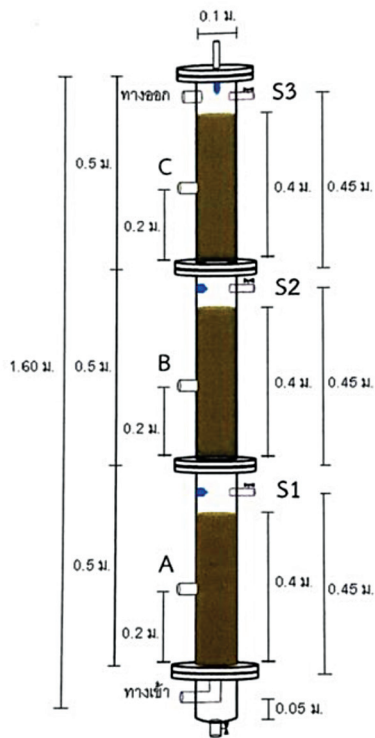
วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกลาง ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ความชื้น ความหนาแน่น ความพรุน ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ทุกพารามิเตอร์ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวกลาง

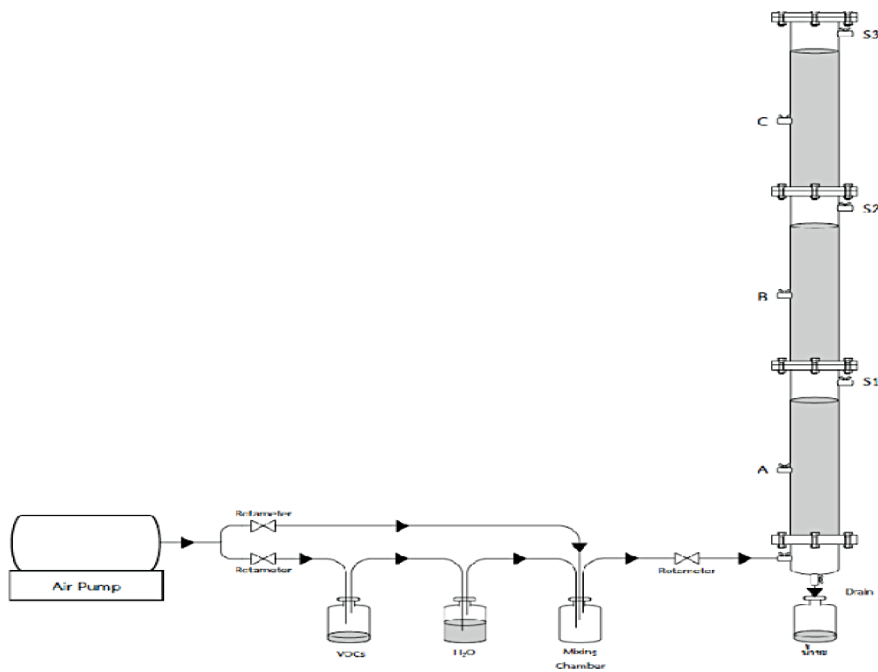
ตัวแปร	วิธีทดสอบ
ความเป็นกรดต่าง	Electronic pH Meter Method
ความชื้น	JIS M 8812-1984
ความหนาแน่น	JIS 1474-1976
ความพรุน	Phase Relationship
ปริมาณไนโตรเจน	Kjeldahl Method
ปริมาณฟอสฟอรัส	Ascorbic Acid Method
ปริมาณโพแทสเซียม	Atomic Absorption Spectrophotometer

1.2 เครื่องกรองชีวภาพ

เครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ทำด้วยท่ออะคริลิกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.10 เมตร ความสูง 1.60 เมตร โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น (ชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน) กำหนดให้บรรจุตัวกลาง ชั้นละ 0.40 เมตร จุดทางเข้าไธเรเฮยของตัวทำละลายที่ระดับ 0.05 เมตร จุดเก็บตัวอย่างขาออก 3 จุด (S1, S2, S3) ที่ระดับ 0.45 เมตร วัดจากฐานของแต่ละชั้นและใช้เป็นหัวกระจายน้ำเพื่อรักษาปริมาณความชื้นให้แก่ตัวกลาง ช่องเก็บตัวอย่างอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มีจุดวัดความชื้นของตัวกลาง อุณหภูมิของตัวกลาง และความเป็นกรดต่างของตัวกลาง 3 จุด (A, B, C) ที่ระดับ 0.2 เมตร วัดจากฐานของแต่ละชั้น นอกจากนี้ที่ฐานเครื่องกรองชีวภาพยังมีท่อและวาล์วเพื่อใช้รองรับน้ำชะ ดังภาพที่ 2 ในการทดลองนี้กำหนดระยะเวลาพักที่ 60 120 180 วินาที ติดตั้งระบบป้อนไธเรเฮย ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 เครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3 เครื่องกรองชีวภาพพร้อมระบบการป้อนไธระเหย

1.3 การเดินระบบ

ในแต่ละวันทำการเดินระบบวันละ 8 ชั่วโมง โดยมีบีมลมทำหน้าที่อัดอากาศให้ไหลผ่าน Rotameter เพื่อควบคุมอัตราการไหล และต่อไปยังท่อที่ติดกับภาชนะบรรจุสารตัวทำละลาย โดยไอระเหยของสารตัวทำละลายจะระเหยขึ้นมาผสมกับอากาศ เมื่ออากาศผสมกับไอระเหยของสารตัวทำละลายแล้วจะไหลผ่านไปยังจุดแยก จากนั้นจึงเข้าสู่ระบบของเครื่องกรองชีวภาพ ทั้งนี้ต้องควบคุมความชื้นของตัวกลางให้มีค่าประมาณ 60% ตลอดเวลาที่เดินระบบ

การตรวจวัดความเข้มข้นไอระเหยขาเข้าและขาออก อุณหภูมิของตัวกลาง ความเป็นกรดต่างของตัวกลาง ความชื้นของตัวกลาง ความดันลดของตัวกลาง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

พารามิเตอร์	เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น/ขนาดเครื่องมือ	ระยะเวลา
ความเป็นกรดต่างของตัวกลาง	เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง	Garman Soil pH meter/ pH 3-10	ก่อนเริ่มการทดลองในแต่ละวัน
ความชื้นของตัวกลาง	เครื่องวัดความชื้นในดิน	E.M. System Soil Test/ Moisture 1-100%	ก่อนเริ่มการทดลองในแต่ละวัน
อุณหภูมิของตัวกลาง	เทอร์โมมิเตอร์	Branan/10-100 องศาเซลเซียส	ก่อนเริ่มการทดลองในแต่ละวัน
ความดันลดของตัวกลาง	มานอมิเตอร์	Dwyer/ รุ่น 477-3	ทุก 1 ชั่วโมง วันละ 8 ชั่วโมง
อัตราการไหลของอากาศ	โรตاميเตอร์	Dwyer/ 5-25 ลิตรต่อนาที	ควบคุมตลอดเวลา
ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด	เครื่องวัดความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดแบบพกพา	MiniRAE 3000/ 0.1-15,000 ส่วนในล้านส่วน	ทุก 5 นาที วันละ 8 ชั่วโมง
ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี	Shimadzu GC-2010	ทุก 1 ชั่วโมง วันละ 8 ชั่วโมง

2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 การวิเคราะห์ห้องประกอบของไอระเหยของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองจากร้านขายสีตามท้องตลาดทั่วไป (ยี่ห้อ Sun Super Thinner) วิเคราะห์ห้องประกอบสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ที่ใช้ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (GC-FID) รุ่น GC-2010 ยี่ห้อ Shimadzu ตั้งค่าสถานะเครื่อง Gas Chromatograph ปิเปตตัวทำละลาย 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บสารละลาย (vial) ขนาด 1 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิททิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นใช้เข็มฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร ดึงตัวอย่างแก๊สจากขวดเก็บสารละลายที่ตำแหน่ง headspace แล้วฉีดตัวอย่างดังกล่าวเข้าทางด้านบนของ Injection port โดยให้ดัน Syringe ให้ชนกับ Needle guide ของ Injector แล้วจึงกด plunger ดันสารตัวอย่างใน Syringe เข้าสู่ภายใน Injector พร้อมกับกดปุ่ม START บนเครื่อง GC แล้วจึงดึง Syringe ออกจาก Injector และรอจนเครื่อง GC วิเคราะห์สารตัวอย่างเสร็จ

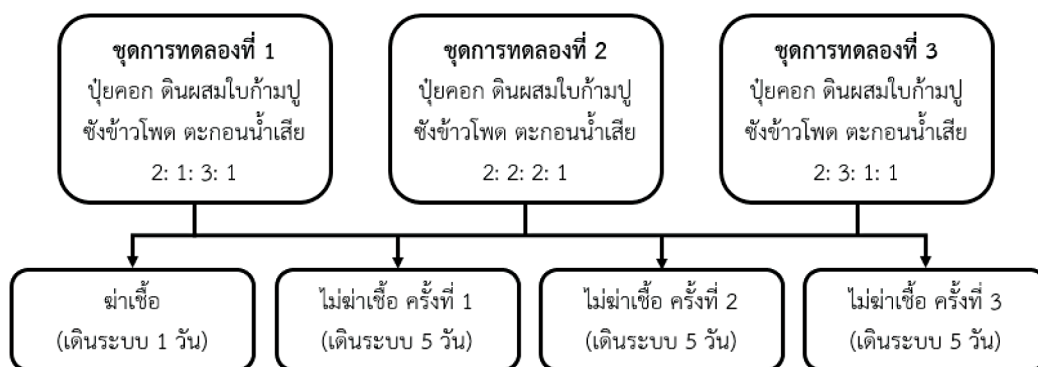
2.2 การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้แก่ ความชื้นของตัวกลาง อุณหภูมิของตัวกลาง ความเป็นกรด-ด่างของตัวกลาง การทรุดตัวของตัวกลาง ความดันลด ความเข้มข้นของสารตัวทำละลายขาเข้า-ขาออก ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ขาเข้า-ขาออก

2.3 การเตรียมตัวกลางและบรรจุตัวกลาง

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ชังข้าวโพด และตะกอนน้ำเสียในการผสมตัวกลางเพื่อให้ได้ตัวกลางที่มีความชื้นในการทดลองตามที่ต้องการจะต้องมีการเติมน้ำลงไป ดังนั้นจึงต้องมีการหาปริมาณความชื้นของตัวกลางทุกชนิดก่อนผสม โดยการเตรียมตัวกลางที่จะบรรจุเข้าไปในระบบมีขั้นตอนดังนี้ ชั่งน้ำหนักตัวกลางแต่ละชนิดโดยใช้ค่าความหนาแน่นของตัวกลางแต่ละชนิดไปคำนวณหาน้ำหนักเพื่อเตรียมตัวกลางผสม

เมื่อชั่งน้ำหนักตัวกลางแต่ละชนิดในอัตราส่วนที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปผสมกันในถังขนาด 20 ลิตร คลุกเคล้าส่วนผสมตัวกลางทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วปรับความชื้นโดยการพรมน้ำลงไปทีละน้อย ให้ค่าความชื้นอยู่ที่ประมาณ 60% จึงนำตัวกลางผสมที่ได้บรรจุลงในท่ออะคริลิกแต่ละชั้น โดยไม่ต้องบดอัดตัวกลาง แต่ให้ใช้วิธีการเขย่าเพื่อให้มีช่องว่างระหว่างตัวกลางน้อยที่สุดจากนั้นวัดความสูงของตัวกลางให้อยู่ที่ 40 เซนติเมตร โดยวัดจากฐานแต่ละชั้น ความเข้มข้นไอระเหยของตัวทำละลายขาเข้าเริ่มต้น 400 ส่วนในล้านส่วน ใช้เวลาในการเดินระบบครั้งละ 5 วัน วันละ 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 แผนผังชุดการทดลอง

2.4 การปนเปื้อนของตัวทำละลาย

การทดลองบำบัดโอโรเซของตัวทำละลายใช้ความเข้มข้นขาเข้าเริ่มต้น 400 ส่วนในล้านส่วน อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่เครื่องกรองชีวภาพ 3.14 ลิตรต่อนาที เวลาพัก 60 120 และ 180 วินาที

ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency) แสดงถึงประสิทธิภาพการบำบัดโอโรเซของตัวทำละลาย (Kanpayan, 2005) ดังสมการ

$$\text{Removal Efficiency (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100$$

โดยที่ C_{in} = ความเข้มข้นของสารตัวทำละลายเข้าระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_{out} = ความเข้มข้นของสารตัวทำละลายออกจากระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3. วิธีการวิเคราะห์การศึกษาชนิดจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ

เตรียมตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์จากตัวกลางผสมโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างตัวกลางที่ใช้ 10 กรัม ลงในปิกรอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำทะเลละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.85% ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วใช้ปิเปตดูดตัวอย่างเพื่อนำไปเจือจางตามลำดับ (Serial dilution)

นำอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ Nutrient Agar (NA) Lactobacillus MRS Agar และ Blood Agar Base ที่หลอมเหลวและมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส เทลงในจานเพาะเชื้อ จากนั้นนำตัวอย่างเชื้อที่ละลายแล้วจากแต่ละหลอดมาผสมเข้ากับอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเพาะเชื้อ แก้วจานเพาะเชื้อเบา ๆ เพื่อให้เชื้อกระจายตัว แล้วรอจนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำออกมา นับจำนวนโคโลนี (Gabriel & Paulo, 2016)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ซังข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย โดยนำไปทดสอบลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวกลาง ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง ความชื้น ความหนาแน่น ความพรุน และ

ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ดังตารางที่ 3 ทุกพารามิเตอร์ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีพบว่า

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวกลาง

พารามิเตอร์ ที่ทดสอบ	ปุ๋ยคอก	ดินผสม ใบก้ามปู	ซังข้าวโพด	ตะกอน น้ำเสีย	อัตราส่วนของตัวกลางผสม										
					2:	1:	3:	1	2:	2:	1	2:	3:	1:	1
ความเป็นกรดต่าง	7.84	6.79	6.11	5.83	6.72	6.83	7.05								
ความชื้น (%)	32.09	2.82	23.72	3.59	62.22	65.97	67.82								
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	0.28	0.69	0.13	0.57	ไม่ได้ ตรวจวัด	ไม่ได้ ตรวจวัด	ไม่ได้ ตรวจวัด								
ความพรุน (%)	63.73	38.05	69.49	51.70	56.24	56.03	54.66								
ธาตุอาหาร (%)	0.61: 0.37:	0.16: 1.74:	0.55: 0.37:	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้ตรวจ	ไม่ได้								
(N : P : K)	1.45	0.15	0.05	ตรวจวัด	ตรวจวัด	วัด	ตรวจวัด								

หมายเหตุ: วิเคราะห์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผลการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์ความเข้มข้นขาเข้า 400 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 60 120 และ 180 วินาที เติมน้ำวันละ 8 ชั่วโมง ครั้งละ 5 วัน เพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลาง โดยใช้อัตราส่วนตัวกลางปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ซังข้าวโพด ตะกอนน้ำเสีย ที่อัตราส่วนตัวกลางเท่ากับ 2: 1: 3: 1, 2: 2: 1 และ 2: 3: 1: 1 โดยปริมาตร ตามลำดับ ทำการวัดค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยทุก ๆ 5 นาที ใช้เวลาในการเดินระบบชุดการทดลอง 5 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง และทำการทดลองแบบควบคุม (Control) โดยนำตัวกลางผสมทั้ง 3 อัตราส่วนไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ก่อนนำไปทดลองบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์โดยใช้ตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 1: 3: 1

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์ความเข้มข้นขาเข้า 400 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้ตัวกลางปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ซังข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย ที่อัตราส่วนตัวกลางเท่ากับ 2: 1: 3: 1 ค่าที่รายงานเป็นผลจากค่าเฉลี่ยรายวันจากการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าเมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นแรกเวลาพัก 60 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $69.1 \pm 0.5\%$ เมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นที่ 2 เวลาพัก 120 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $75.8 \pm 0.3\%$ และเมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นที่ 3 เวลาพัก 180 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $78.5 \pm 0.2\%$ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟันทรงยนต์เมื่อผ่านตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 1: 3:1

Day	Total VOCs Inlet (ppm)	Total VOCs Outlet (ppm)					
		เวลากักพัก			ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		60 วินาที	120 วินาที	180 วินาที	60 วินาที	120 วินาที	180 วินาที
1	406.6 ± 0.9	254.5 ± 2.7	247.7 ± 5.9	237.6 ± 6.9	37.4 ± 0.5	39.1 ± 1.3	41.6 ± 1.6
2	406.4 ± 1.2	219.0 ± 8.7	205.1 ± 6.6	195.4 ± 10.2	46.1 ± 2.0	49.5 ± 1.6	51.9 ± 2.5
3	405.2 ± 2.4	182.8 ± 8.4	169.5 ± 6.9	157.2 ± 6.0	54.9 ± 2.0	58.2 ± 1.6	61.2 ± 1.4
4	404.4 ± 1.1	131.1 ± 2.5	107.2 ± 8.9	100.8 ± 6.6	54.9 ± 0.5	73.5 ± 2.1	75.1 ± 1.6
5	403.7 ± 1.9	124.8 ± 2.2	97.7 ± 1.8	87.0 ± 1.3	69.1 ± 0.5	75.8 ± 0.3	78.5 ± 0.2

การหลุดตัวของตัวกลางและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างเดินระบบโดยใช้ตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 1: 3: 1 พบว่าเมื่อเริ่มทดลองการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟันทรงยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ ตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรองชีวภาพที่เวลากักพัก 60 120 และ 180 วินาทีค่าความดันลดของตัวกลางเริ่มต้นที่ 4.4 ± 0.2 , 4.3 ± 0.1 และ 4.2 ± 0.2 นิวตัน ตามลำดับ หลังจากเดินระบบ 5 วัน ตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพหลุดตัวทำให้ช่องว่างในตัวกลางน้อยลง ส่งผลให้ความดันลดของตัวกลางต่ำสุดมีค่า 2.3 ± 0.2 , 2.1 ± 0.2 และ 1.7 ± 0.2 นิวตัน ตามลำดับ

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟันทรงยนต์โดยใช้ตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 2: 2: 1

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟันทรงยนต์ที่ความเข้มข้นของไอระเหยขาเข้า 400 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้ตัวกลางปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ช้างข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย ที่อัตราส่วนตัวกลางเท่ากับ 2: 2: 2: 1 ค่าที่รายงานเป็นผลจากค่าเฉลี่ยรายวันจากการทดลอง 3 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าเมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นแรกเวลากักพัก 60 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $79.7 \pm 0.3\%$ เมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นที่ 2 เวลากักพัก 120 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $85.2 \pm 0.4\%$ และเมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นที่ 3 เวลากักพัก 180 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $90.2 \pm 0.2\%$ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์เมื่อผ่านตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 2: 2: 1

Day	Total VOCs Inlet (ppm)	Total VOCs Outlet (ppm)					
		เวลากักพัก			ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		60 วินาที	120 วินาที	180 วินาที	60 วินาที	120 วินาที	180 วินาที
1	404.7 ± 1.9	237.0 ± 6.7	212.9 ± 14.8	209.3 ± 11.1	41.4 ± 1.6	47.4 ± 3.4	48.3 ± 2.5
2	406.2 ± 1.7	154.5 ± 0.5	132.0 ± 9.6	110.8 ± 12.0	62.0 ± 0.2	67.5 ± 2.3	72.7 ± 2.8
3	406.0 ± 3.0	102.7 ± 7.1	86.5 ± 7.4	73.5 ± 0.4	74.7 ± 1.7	78.7 ± 1.8	81.9 ± 0.1
4	406.1 ± 1.6	88.8 ± 2.8	73.4 ± 2.5	55.2 ± 2.9	78.1 ± 0.6	81.9 ± 0.3	86.4 ± 0.7
5	406.3 ± 0.9	82.4 ± 1.5	60.3 ± 1.8	39.7 ± 0.9	79.7 ± 0.3	85.2 ± 0.4	90.2 ± 0.2

การหลุดตัวของตัวกลางและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างเดินระบบโดยใช้ตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 2: 2: 1 พบว่าเมื่อเริ่มทดลองการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ ตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรองชีวภาพที่เวลากักพัก 60 120 และ 180 วินาทีค่าความดันลดของตัวกลางเริ่มต้นที่ 4.4 ± 0.1 , 4.3 ± 0.1 และ 4.1 ± 0.1 นิ้วน้ำ ตามลำดับ หลังจากเดินระบบ 5 วัน ตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพหลุดตัว ทำให้ช่องว่างในตัวกลางน้อยลง ส่งผลให้ความดันลดของตัวกลางต่ำสุดมีค่า 2.8 ± 0.5 , 2.8 ± 0.4 และ 2.7 ± 0.2 นิ้วน้ำ ตามลำดับ

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์โดยใช้ตัวกลางที่อัตราส่วน

2: 3: 1: 1

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสี่พ่นรถยนต์ความเข้มข้นขาเข้า 400 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้ตัวกลางปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ชั่งข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย ที่อัตราส่วนตัวกลางเท่ากับ 2: 3: 1: 1 ค่าที่รายงานเป็นผลจากค่าเฉลี่ยรายวันจากการทดลอง 3 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าเมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นแรกเวลากักพัก 60 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $90.9 \pm 2.0\%$ เมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นที่ 2 เวลากักพัก 120 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $93.5 \pm 1.2\%$ และเมื่อไอระเหยผ่านตัวกรองชั้นที่ 3 เวลากักพัก 180 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด $96.4 \pm 0.3\%$ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์เมื่อผ่านตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 3: 1: 1

Day	Total VOCs Inlet (ppm)	Total VOCs Outlet (ppm)					
		เวลากักพัก			ประสิทธิภาพการบำบัด (%)		
		60 วินาที	120 วินาที	180 วินาที	60 วินาที	120 วินาที	180 วินาที
1	405.1 ± 2.2	160.3 ± 1.1	148.4 ± 3.6	143.3 ± 3.2	60.4 ± 0.1	63.4 ± 0.9	64.6 ± 0.8
2	403.9 ± 2.0	113.3 ± 7.1	103.4 ± 9.0	95.6 ± 4.7	72.0 ± 1.8	74.4 ± 2.3	76.3 ± 1.2
3	405.1 ± 1.7	64.1 ± 5.0	51.6 ± 6.3	43.6 ± 7.6	84.2 ± 1.2	87.3 ± 1.5	89.2 ± 1.8
4	405.4 ± 1.7	47.0 ± 5.2	35.5 ± 1.7	24.2 ± 1.7	88.4 ± 1.3	91.2 ± 0.4	94.0 ± 0.4
5	404.1 ± 2.0	36.6 ± 8.0	26.2 ± 4.8	14.6 ± 1.1	90.9 ± 2.0	93.5 ± 1.2	96.4 ± 0.3

การหลุดตัวของตัวกลางและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างเดินระบบโดยใช้ตัวกลางที่อัตราส่วน 2: 3: 1: 1 พบว่าเมื่อเริ่มทดลองการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ ตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรองชีวภาพที่เวลากักพัก 60 120 และ 180 วินาทีค่าความดันลดของตัวกลางเริ่มต้นที่ 4.3 ± 0.1 , 4.2 ± 0.1 และ 4.1 ± 0.0 นิ้วน้ำ ตามลำดับ หลังจากเดินระบบ 5 วัน ตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพหลุดตัว ทำให้ช่องว่างในตัวกลางน้อยลง ส่งผลให้ความดันลดของตัวกลางต่ำสุดมีค่า 3.3 ± 0.0 , 3.1 ± 0.1 และ 2.9 ± 0.1 นิ้วน้ำ ตามลำดับ

การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์โดยใช้ตัวกลางที่ปราศจากจุลินทรีย์

เพื่อยืนยันว่าการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ จึงได้ทดลองนำตัวกลางแต่ละอัตราส่วนไปฆ่าเชื้อและทดลองบำบัดไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์ พบว่าไม่สามารถบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์ได้ ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายขาวออกมีค่าสูงกว่าขาเข้า เนื่องจากไม่มีจุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการบำบัดส่งผลให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีฟ่นรยนต์เกิดการสะสมภายในชั้นตัวกลางเพิ่มขึ้นและไม่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในระบบ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายโดยใช้ตัวกลางที่ปราศจากจุลินทรีย์

อัตราส่วน ตัวกลาง	Total VOCs Inlet (ppm)	Total VOCs Outlet (ppm)		
		เวลากักพัก 60 วินาที	เวลากักพัก 120 วินาที	เวลากักพัก 150 วินาที
2: 1: 3: 1	405.9 ± 0.4	907.4 ± 155.3	1,224.7 ± 234.6	1,517.4 ± 351.5
2: 2: 2: 1	404.1 ± 0.6	931.8 ± 178.9	1,294.5 ± 280.7	1,589.3 ± 356.5
2: 3: 1: 1	406.7 ± 0.4	956.4 ± 164.0	1,348.1 ± 298.9	1,660.7 ± 389.6

ผลการวิเคราะห์ชนิดของจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในตัวกลางผสมทั้งก่อนและหลังการบำบัดได้แก่ จุลินทรีย์สายพันธุ์ *Bacillus* เป็นแบคทีเรียรูปร่างแท่ง (rod shape) ย้อมติดสีแกรมบวก (Gram positive bacteria) อยู่ในวงศ์ *Bacillaceae* เจริญได้ดีทั้งในสภาพมีอากาศและไม่มีอากาศ ทนความร้อน ความแห้งแล้ง สารเคมี และสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ ได้ดีส่วนมากพบได้ในดิน และยีสต์ในวงศ์ *Candida* ซึ่งเป็นเชื้อรา (fungi) ลักษณะเซลล์มีรูปทรงกลมหรือรูปไข่ ผิวด้านหน้าโคโลนีเรียบหรือขรุขระ มีความสามารถในการก่อโรค ตารางที่ 8 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในตัวกลางก่อนใช้และหลังใช้ทดลอง

ตารางที่ 8 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในตัวกลางก่อนใช้และหลังใช้ทดลอง

อัตราส่วน ตัวกลางผสม	อาหารที่ใช้ ในการเพาะเชื้อ	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ที่พบในตัวกลางก่อนการทดลอง (CFU/g ตัวอย่างดิน)	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ที่พบในตัวกลางหลังการทดลอง (CFU/g ตัวอย่างดิน)
2: 1: 3: 1	Nutrient Agar	1.77×10^9	1.19×10^9
	Lactobacillus MRS Agar	1.37×10^8	1.01×10^8
	Blood Agar Base	1.32×10^6	1.00×10^6
2: 2: 2: 1	Nutrient Agar	3.00×10^9	7.85×10^8
	Lactobacillus MRS Agar	2.85×10^9	5.65×10^8
	Blood Agar Base	1.54×10^8	3.65×10^7
2: 3: 1: 1	Nutrient Agar	2.26×10^7	2.85×10^7
	Lactobacillus MRS Agar	2.56×10^7	6.70×10^6
	Blood Agar Base	1.64×10^9	8.00×10^8

สรุป

การศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 26 - 29 องศาเซลเซียส) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ศึกษาอัตราส่วนขอตัวกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพและวิเคราะห์ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดโดยใช้ตัวกลางได้แก่ ปุ๋ยคอก ดินผสมใบก้ามปู ช้างข้าวโพด และตะกอนน้ำเสีย ในอัตราส่วน 2: 1: 3: 1, 2: 2: 2: 1 และ 2: 3: 1: 1 โดยปริมาตร ตามลำดับ ผลการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพโดยใช้ความเข้มข้นขาเข้า 400 ส่วนในล้านส่วน ใช้เวลากักพัก 60 120 และ 180 วินาที พบว่าอัตราส่วนตัวกลาง 2: 3: 1: 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดมากกว่า 95% ดังตารางที่ 5 และเป็นอัตราส่วนที่มีความดันลดของตัวกลางน้อยที่สุด จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตและเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเทียบกับอีก 2 ชุดการทดลอง ส่งผลให้ชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในอีก 2 ชุดการทดลอง นอกจากนี้เมื่อเทียบกับมาตรฐานของ Office of Environmental Health and Safety พบว่าค่า TLV ของโทลูอีนมีค่าไม่เกิน 20 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนตัวกลาง 2: 3: 1: 1 มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ที่บำบัดไม่หมดและผ่านจากระบบระบายสู่ภายนอก 14.4 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 180 วินาที ซึ่งต่ำกว่าค่า TLV ดังนั้นการใช้ระบบกรองชีวภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศสามารถลดผลกระทบต่อผู้อาศัยโดยรอบสถานประกอบการได้ ส่วนในเรื่องกลิ่นเนื่องจากค่า Odor Threshold Value ของโทลูอีนมีค่าต่ำมากคือ 0.2 ส่วนในล้านส่วน ถึงแม้ความเข้มข้นจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในแง่สุขภาพ แต่อาจยังคงได้กลิ่นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในไอระเหยของตัวทำละลายสีพ่นรถยนต์บ้างในวันที่สภาพบรรยากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการแพร่กระจายของมลพิษ (Office of Environmental Health and Safety, 2012)

เอกสารอ้างอิง

- Disaster Prevention and Management Research and Development Center. (2008). **Volatile Organic Compounds**. Retrieved from <http://www.dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/92> [2021, 19 Mar.]
- Erika, P., Rasa, V., Dagnija, B., & Kaspars, I. (2017). Experimental study of droplet biofilter packed with green sphagnum to clean air from volatile organic compounds. **Energy Procedia**, **128**, 373-378.
- Gabriel, M. A., & Paulo, E. C. (2016). Customized Computer Vision and Sensor System for Colony Recognition and Live Bacteria Counting in Agriculture. **Sensors and Transducers**. **201**(6), 65-77.
- Gurjar, B. R., Butler, T., Lawrence, M. G., & Lelieveld, J. (2008). Evaluation of emissions and air quality in megacities. **Journal of Atmospheric Environment**, **42**(7), 1593-1606.

-



ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานในลักษณะบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) และบทความปริทัศน์ (Review Article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่นักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

► ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตีพิมพ์บทความด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

► การพิจารณาบทความ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน โดยผู้แต่งและผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review)

► ประเภทของบทความที่รับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Article)

เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ การดำเนินการวิจัย

2. บทความวิชาการ (Academic Article)

งานเขียน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ไขปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือ วารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ตประกอบการวิเคราะห์วิจารณ์ เสนอแนวทางแก้ไข

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ (State of the art) เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้า มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทั้งทางกว้าง และทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อพิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้ม ที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป

➤ หลักเกณฑ์ในการส่งบทความ

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ
2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)
3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความของ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น
5. กรณีขอเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

➤ คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2003 ขึ้นไป โดยใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt. ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ กำหนดตั้งค่าหน้ากระดาษ บน 1.5 นิ้ว ซ้าย 1.5 นิ้ว ล่าง 1.0 นิ้ว ขวา 1.0 นิ้ว โดยความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. บทความวิจัย (Research article) | ประมาณ 12 หน้า ต่อบทความ |
| 2. บทความทางวิชาการ (Academic article) | ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ |
| 3. บทความปริทัศน์ (Review article) | ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ |

โดยมีส่วนประกอบดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)	บทความวิชาการ (Academic Article)	บทความปริทัศน์ (Review Article)
1. บทนำ (Introduction)	1. บทนำ (Introduction)	1. บทนำ (Introduction)
2. วิธีการ (Methods)	2. เนื้อหา (Context)	2. เนื้อหา (Context)
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and Discussions)	3. สรุป (Conclusions)	3. สรุป (Conclusions)
4. สรุป (Conclusions)	4. เอกสารอ้างอิง (References)	4. เอกสารอ้างอิง (References)
5. เอกสารอ้างอิง (References)		

ชื่อเรื่อง	ควรมีความกระชับและชัดเจน ไม่ยาวจนเกินไป บทความภาษาไทยต้องมีชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด
ชื่อผู้แต่ง	ระบุชื่อเต็มและนามสกุลเต็มของผู้แต่งทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยไม่ใส่ยศหรือตำแหน่งสำหรับผู้แต่งหลักต้องใส่ E-mail address ที่ติดต่อได้และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับ
บทคัดย่อ	บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ
คำสำคัญ	ให้มีคำสำคัญ 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
รูปภาพ	แยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFF, หรือ JPEG ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับเพื่อคุณภาพในการพิมพ์ หมายเลขรูปภาพและกราฟให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านล่างของรูปภาพ ปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale
เนื้อหา	ใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 พอยท์ จัดเนื้อหาตามรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) หรือบทความปริทัศน์ (Review Article) หน่วยที่ใช้ให้เป็นไปตามรูปแบบสากล ศัพท์ภาษาอังกฤษในวงเล็บให้ใช้ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ หากมีสมการให้ใช้ Equation Editor โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งกลางหน้ากระดาษ พร้อมระบุหมายเลขสมการ
ตาราง	หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านบนของตาราง
เอกสารอ้างอิง	เป็นรายชื่อเอกสารที่ใช้อ้างถึงในบทความ โดยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และจัดรูปแบบอ้างอิงตามระบบ APA 6 th edition

รูปแบบการอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)

กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งก่อนข้อความ	ชื่อผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์).....
ตัวอย่าง	Kelly (2004) แสดงให้เห็นว่า..... Saikaew & Kaewsarn (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ..... Lui et al. (2000) พบว่า..... Saikaew & Kaewsarn (2009) และ Lui et al. (2000) พบว่า.....
กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งท้ายข้อความ	 (ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
ตัวอย่าง	 (Kelly, 2004) (Saikaew & Kaewsarn, 2009) (Lui et al., 2000) (Saikaew & Kaewsarn, 2009; Lui et al., 2000)

2. การอ้างอิงในส่วนท้ายบทความ (References)

2.1 อ้างอิงจากหนังสือ (Books)

รูปแบบ	ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ . (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง	Crawley, R. B., Dockery, L. M., Branson, T. S., Carmichael, L. E., Carson, J. C., Findlay, A. F., & Smith, D. M. (2015). Manor houses of the early 1900s . London, England: Taylor & Francis.

2.2 อ้างอิงจากบทความวารสาร (Journal articles)

- รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ปีที่(ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
- ตัวอย่าง Yingsanga, P., & Mathurasa, L. (2009). Yellowing development of Chinese Kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). **Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology**, 14(1), 76-90. (In Thai)
- Morrisa, G.A., Fosterb, T.J., & Hardinga, S.E. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. **Food Hydrocolloids**, 14(3), 227-235.

2.3 อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)

- รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์. (ระดับวิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัย, เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
- ตัวอย่าง Caprette, C.L. (2005). **Conquering the cold shudder: The origin and evolution of snake eyes**. (Doctoral dissertation). Ohio State University, Columbus, OH.

2.4 อ้างอิงจากรายงานการวิจัย/รายงานทางวิชาการ (Technical/Research reports)

- รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (ประเภทของเอกสาร). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
- ตัวอย่าง Tayama, T. (2006). **Velocity influence on detection and prediction of changes in color and motion direction** (Report No. 38). Sapporo, Japan: Psychology Department, Hokkaido University.

2.5 บทความ/บทในหนังสือการประชุม (Proceedings of meeting and symposium)

- รูปแบบ ชื่อผู้แต่งในบท. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง. ใน ชื่อบรรณาธิการ, (บรรณาธิการ), ชื่อการประชุม (หน้าแรก-หน้าสุดท้าย). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
- ตัวอย่าง Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1991). **A motivational approach to self: Integration in personality**. In R. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on motivation: Vol. 38 Perspectives on motivation* (237-288). Lincoln, NM: University of Nebraska Press.

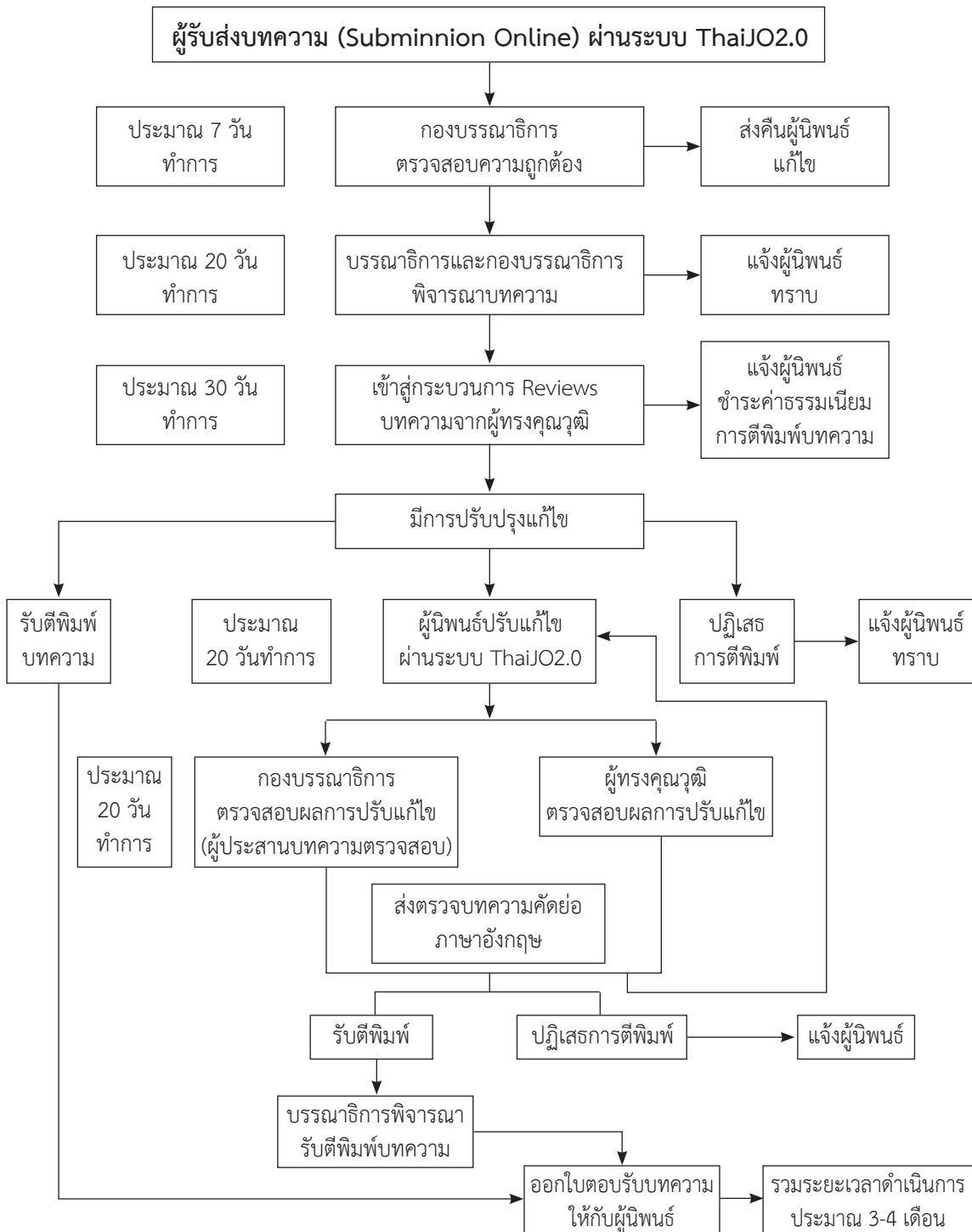
2.6 อ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

- รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง. Retrieved from <http://.....>[ใส่วันที่สืบค้น].
- ตัวอย่าง Centers for Disease Control and Prevention. (2003). **Take charge of your diabetes**. Retrieved from <http://www.cdc.gov/diabetes/pubs/paf/ted.pdf> [2015, 25 Oct.]

2.7 อ้างอิงอื่น ๆ

- รูปแบบ ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์. (ปีที่ให้สัมภาษณ์, วัน เดือน). สัมภาษณ์. ตำแหน่งผู้ให้สัมภาษณ์. หน่วยงาน.
- ตัวอย่าง Phae-ngam, W. (2016, 10 Jan.). **How to write a good research article**. Assistant Professor. Faculty of Science and Technology. Phranakhon Rajabhat University.

ขั้นตอนการพิจารณาบทความ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



หมายเหตุ: ทางวารสารขอสงวนสิทธิ์ที่จะเรียบเรียงและอาจปรับปรุงการนำเสนอบทความตามความเหมาะสม

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK ขนาด 16pt. ตัวหนา)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ^{1*} ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ² (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

¹ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

²ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

Author ^{1*}, Author ² (TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Received: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

Published: xx-xx-xx

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อในกรณีเป็นบทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ยกเว้น
บทวิจารณ์หนังสือ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียว ไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ
ผลลัพธ์หรือ สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ

(TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

คำสำคัญ: คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3 คำสำคัญ4 คำสำคัญ5 (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

บทนำ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

วิธีการ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

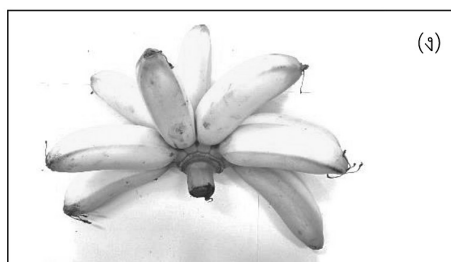
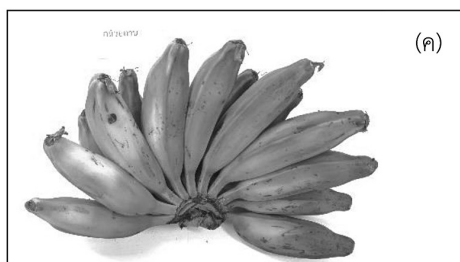
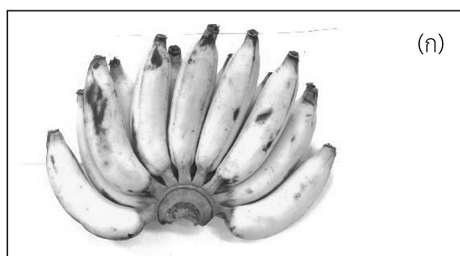
เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

ผลการทดลองและวิจารณ์ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....



ภาพที่ 1 ชื่อภาพ....(ก)..... (ข)..... (ค)..... (ง).....

ตารางที่ 1 ชื่อตาราง

เวลาที่ใช้ (นาทีก)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

หมายเหตุ : (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

สรุป (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

กิตติกรรมประกาศ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา) (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

เอกสารอ้างอิง (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt.).....

.....

.....

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาอังกฤษ)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

Author 1*, Author 2 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Received: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

Published: xx-xx-xx

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

Introduction (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....

Methods (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....

Results and Discussions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....

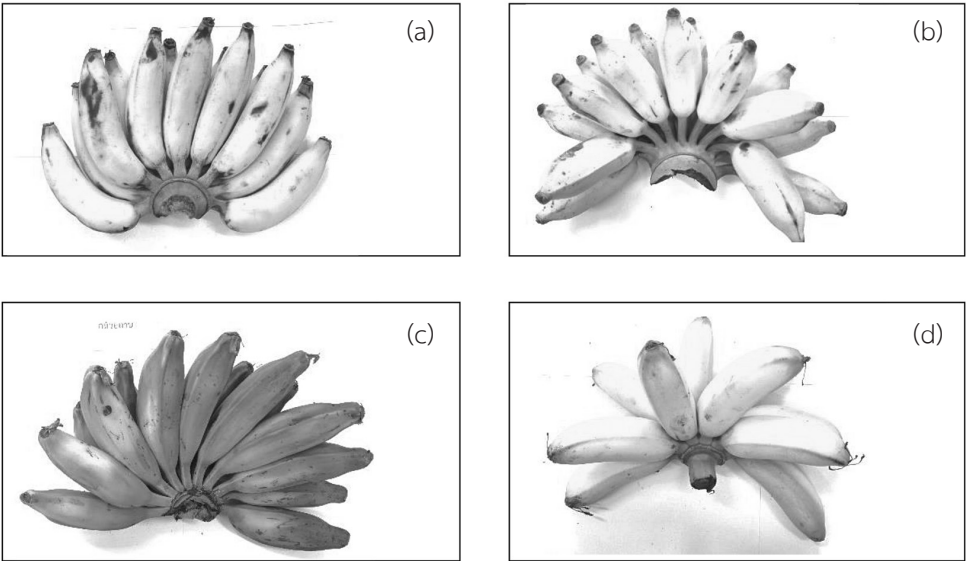


Figure 1(a)..... (b)..... (c)..... (d).....

Table 1 table name

Time (minuts)	Pressure (mbar)				Avg. Pressure (mbar)
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

Note: (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Conclusions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....
.....

Acknowledgement (TH SarabunPSK 14pt. bold) (optional)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....
.....

References (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt.).....
.....

จริยธรรมในการตีพิมพ์ Publication Ethics

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมาตรฐานทางจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ
ดังนี้

➤ จริยธรรมของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่ พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
2. บรรณาธิการมีหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความถูกต้องของบทความร่วมกับกองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่ง ผู้ประเมินบทความ และบุคคลอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง
4. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด
5. บรรณาธิการต้องรักษาความลับของผู้แต่ง
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

➤ จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่ง
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่นๆ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องประเมินและให้ข้อเสนอแนะตามหลักเกณฑ์ทางวิชาการโดยปราศจากอคติ
5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ
6. ผู้ทรงคุณวุฒิควรรักษาความลับของผู้แต่งบทความ

➤ จริยธรรมของผู้แต่งบทความ

1. บทความที่ส่งจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยมีการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และต้องไม่คัดลอกผลงาน
ผู้อื่นโดยขาดการอ้างอิง
2. หากบทความมีการทดลองเกี่ยวกับมนุษย์หรือสัตว์ ผู้แต่งต้องปฏิบัติตามหลักจริยธรรมในการวิจัยและข้อ
กฎหมายที่เกี่ยวข้อง
3. ผู้แต่งควรระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนการวิจัย
4. ผู้แต่งควรเคารพความคิดเห็นทางวิชาการของผู้อื่น และแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
5. ผู้แต่งจะต้องไม่นำส่วนใดส่วนหนึ่งของเนื้อหาในบทความไปตีพิมพ์เผยแพร่ยังแหล่งอื่นๆ
6. ชื่อผู้แต่งที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง