



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal

ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน 2567)

ISSN 3027-7140 (Online)



วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธัญรส คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ทองหนู่น้อย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ มะเห คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพร ธารางกูร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดคณิ่ง ณ ระนอง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกต แทนอมทอง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Professor Ir. Dr. Anuar Mat Safar

University Malaysia Perlis, Malaysia

Professor Mitsuhiko Sano

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Japan

Professor Qinghua Zhang

Chongqing University of Posts and Telecommunications, China

Professor Zhangyong Li

Chongqing University of Posts and Telecommunications, China

Professor Clarissa Yvonne Domingo

Central Luzon State University, Philippines

Professor Virginia Venturina

Central Luzon State University, Philippines

Professor Noraine Medina

Central Luzon State University, Philippines

Professor Ravelina Velasco

Central Luzon State University, Philippines

Professor Ronaldo Alberto

Central Luzon State University, Philippines

Professor Edilyn Lansangan

Central Luzon State University, Philippines

Professor Ariel Mactal

Central Luzon State University, Philippines

Associate Professor Dr. David Crookall

University of Nice Sophia Antipolis, France

Associate Professor Dr. Ir. Wan Arfiani Barus, M.P

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่น จันจุฬา

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
รองศาสตราจารย์ ญัฐวรัตน์ ปภากสิทธิ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ลักษมี วิทยา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิโรตม์ เกตุแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ ดร.เกษรา คูหา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ประพจน์ พรหมสมบูรณ์

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิยม กำลังดี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ แก้วบุญมา

คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหพงศ์ สมวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิกรม ฉันทรางกูร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.กิตติมา ดันดีหาชัย

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
นางสาวกุลิกา ธนะเสวตร

วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วัตถุประสงค์	เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (Research article) ของบุคลากร นักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย รวมทั้งบทความวิจัยของบุคคลภายนอก
ฝ่ายจัดทำ	นางสาวบุญบรรจง สายลาด สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นางสาวพนิดา ชูเวท สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เจ้าของลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ขอบเขต	เป็นวารสารวิชาการที่ครอบคลุมสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กำหนดการเผยแพร่	ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม
การเผยแพร่	Online
จัดทำโดย	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150 โทรศัพท์ 0 7520 4070 โทรสาร 0 7520 4071 E-mail: rdisv.journal@gmail.com Website: https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index
Online ISSN	3027-7140

สารบัญ

การศึกษาเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ด ขอนดำ	1 - 10
กิตติพงษ์ ตระกูลเจริญกิจ ธนัชชา โพขสาสิทธิ์ ดวงกมล หลิมปัญญา และ ณัฐวดี รุ่งจินดาภัย	
ผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิกในข้าว กล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก	11 - 23
จันทร์พร ทองเอกแก้ว และ เขาวนิ ปรีอุปรัก	
Potency of Natural Phage in <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Lysis	24 - 35
Nanthanit Jaruseranee, Ekachai Chukeatirote and Somboon Kamtaeja	
การแยกและคัดเลือกแบคทีเรียปฏิบัณช์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคในข้าว วาสนา เนียมแสวง	36 - 49
การวินิจฉัยโรคยอดบวมจากภาพรังสีทรวงอกโดยการเรียนรู้ของเครื่อง	50 - 66
โชคมงคล นาคี และ กฤษดา ยิ่งขันธ์	
การเปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และต้นทุนอาหารของการเลี้ยง ขุนปูทะเล <i>Scylla paramamosian</i> และ <i>S. olivacea</i>	67 - 76
ภัทรมัย สุวรรณกิจ ณสมนตร์ มีแก้ว วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม รุ่งทิวา คนสันทัด วาสนา อารรัตน์ อนุรักษ์ สุขดารา และ จิตมา สุวรรณมาลา	
การพัฒนาระบบป้องกันนกรบกวนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและคลื่นความถี่สูง	77 - 89
ปาณิสรา หาดขุนทด และ ธนากร แสงกุลเลาะ	
Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Trends: Bibliometric and Visualized Analysis	90 - 102
Nattapong Kaewboonma and Puriwat Lertkrai	
วัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย	103 - 115
วงจันทร์ นุ่นคง	

อิทธิพลของระยะปลูกและลักษณะท่อนพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์แควะ ประยูร ประเทศ ประภาวัฒน์ บุคดา นิธิภัทร บุญปก ชีระยุทธ จันทะนาม และ สุพุมารณ์ ศรีเผด็จ	116 - 126
การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการ แตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง โชคชัย เหมือนมาศ	127 - 148
การพัฒนาเครื่องค้นหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน เสรณี ศรีสุข	149 - 163
การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์/คิวปริกออกไซด์คอมโพสิตโดยวิธีไมโครเวฟเพื่อใช้สลาย โรดามีนบีด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ พงศ์เทพ จันทรสันติยะ อัจฉริยพร จันทรหงษ์ ชีรภัทร นพนรินทร์ และ เอมอร วันเอก	164 - 177
ผลของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ต่อการฟอกฆ่าเชื้อ และการชักนำยอดของต้นอ่อนกล้วย หอมทองในสภาพปลอดเชื้อ อภิรยา เทพสุคนธ์ ปรรธนา หมีคเสน และ บรรจง อุบแก้ว	178 - 188
ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของขยะพลาสติกบนหาดทราย 3 หาดในจังหวัดระยอง พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์ กชกร อมาตยกุล และ วริศรา สุรภักดิ์	189 - 210
การพัฒนาเว็บเชิงความหมายสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อสนับสนุนการวางแผนการ ท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้ออนโทโลยี และเทคนิค การกรองแบบอิงเนื้อหา ทัศนันทน์ ตรีนันทรรัตน์ ฐิณากัณฑ์ นิธิยุวิทย์ และ ยุภา คำตะพล	211 - 228
ขอรูปชั้นไอโซเทิร์มและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของขนมขบ เคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล สิริมา ชินสาร และ พิชญอร ไหมสุทธิสกุล	229 - 242
ผลของแป้งข้าวสังข์หยดและมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ สุธาสิณี ทองนอก	243 - 254

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของลัมบูกบนต้นตอพืชตระกูลส้ม 5 ชนิด	255 - 265
สุวรรณษา ชูเชิด นพ ศักดิเศรษฐ์ สกฤรัตน์ แสนประวงษ์ และ โสภา ชูเพ็ง	
การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทตู้เสื้อผ้าไม้ไฟโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค	266 - 282
วิศวกรรมคันเช	
สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ ธยา ภิรมย์ จุฬาลักษณ์ โจนานุกูล อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว่า และ ไพรพงษ์ พันธะศรี	

การศึกษาเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดขอนดำ

A Preliminary Study of Selecting Agricultural Waste for Cultivation of *Lentinus polychrous*

กิตติพงษ์ ตระกุลจรรณกิจ ธนัชชา โพขสาลี ดวงกมล หลิมปัญญา และ ณัฐวุฒิ รุ่งจินดามัย *

Kittipong Trakunjarunkit, Thanutcha Posalee, Duangkamol Limpanya and Nattawut Rungjindamai *

Received: 20 July 2022, Revised: 7 October 2022, Accepted: 17 October 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อแยกเชื้อเห็ดขอนดำให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ และทดสอบการสร้างเอนไซม์ เซลลูเลส (2) เพื่อทดสอบการเจริญของเห็ดขอนดำบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ potato dextrose agar, malt extract agar และ cornmeal agar และ (3) เพื่อศึกษาการเจริญของเห็ดขอนดำบนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ เปลือกข้าวโพด ฟางข้าว กากกะทิ กาบมะพร้าว และขาน้อย ผลการศึกษาพบว่า เห็ดขอนดำสามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ และสามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 3 ชนิดได้เป็นอย่างดี และเมื่อนำเห็ดขอนดำไปเพาะเลี้ยงด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในขวดโหลแก้ว และบ่มที่อุณหภูมิ 25°C นาน 6 สัปดาห์ พบว่า เห็ดขอนดำสามารถเจริญบนวัสดุได้ทุกชนิด โดยเห็ดขอนดำสามารถเจริญบนกากกะทิได้ดีที่สุด โดยสร้างเส้นใยอัดแน่นทั้งด้านบนและภายในวัสดุ จึงควรมีการส่งเสริมในการนำกากกะทิเพื่อใช้ผสมในการเพาะเลี้ยงเห็ดขอนดำต่อไป

คำสำคัญ: กากกะทิ, วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, เห็ดขอนดำ

ABSTRACT

The objectives of this research were (1) to isolate a pure culture of *Lentinus polychrous* and screen for its ability to utilize cellulose, (2) to study the growth of *L. polychrous* on three mycological media including potato dextrose agar, malt extract agar and cornmeal agar, and (3) to grow this mushroom on five types of agricultural waste including corn husk, rice straw, coconut meal, coconut coir, and sugarcane bagasse. The results showed that *L. polychrous* was able to produce cellulase enzyme and grew well in all three media. When this mushroom was cultivated on agricultural waste and the jars were incubated at 25°C for six weeks. It grew in all five substrates and grew best on coconut meal by producing dense and compact mycelium both inside and on the surface of the substrate. Therefore, coconut meal is a good alternative substrate for mushroom cultivation.

Key words: coconut meal, agricultural waste, *Lentinus polychrous*

บทนำ

เกษตรกรรมเป็นอุตสาหกรรมสำคัญและเป็นแหล่งรายได้หลักของประเทศไทย ส่งผลให้ในแต่ละปีมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนใหญ่มักถูกเผาทำลาย จึงก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ตามมา เช่น ปัญหาฝุ่นควันและหน้าดินถูกทำลาย แม้ว่ามีเกษตรกรบางส่วนนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปใช้ผลิตปุ๋ยหมัก แต่พบว่ามีกระบวนการที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน นอกจากนี้ ยังขาดการสนับสนุนด้านความรู้และงบประมาณ (Jaitae, 2021) และนอกจากนี้วัตถุดิบหลักที่นิยมใช้เพาะเลี้ยงเห็ด ได้แก่ จี๋เลื่อยจากไม้ยางพาราและจี๋เลื่อยจากไม้เบญจพรรณ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตไม้ แต่ในปัจจุบันเริ่มมีข้อจำกัดในอุตสาหกรรมนี้ เนื่องจากการลดการตัดต้นไม้และการอนุรักษ์ธรรมชาติ ในขณะเดียวกันการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น การนำไปหมักเป็นปุ๋ยชีวภาพ (Jaitae and Nummisri, 2022) และการเพาะเห็ด (Laead-on and Lomarak, 2020) เป็นต้น ดังนั้นจึงควร

มีการศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยการนำวัสดุกลุ่มนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ และยังเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับเกษตรกรผู้เพาะเห็ดเพื่อให้มีตัวเลือกมากขึ้นในการนำวัสดุชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ด วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาและคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดขอนดำ

ในกระบวนการเพาะเห็ด เกษตรกรจะนำวัสดุทางการเกษตรนำไปตากแดด หรืออบแห้งเพื่อลดความเสี่ยงจากเน่าเสีย หลังจากนั้นนำมาแปรรูปเบื้องต้นด้วยการบดและสับ แล้วนำวัสดุไปผสมกับแร่ธาตุและสารอาหารอื่น ๆ จากนั้นบรรจุใส่ถุง นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อหนึ่งไอน้ำ แล้วจึงเพาะเชื้อเห็ดลงไปในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวน 5 ชนิด เพื่อทดสอบถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เพื่อเพาะเลี้ยงเห็ดขอนดำ โดยเน้นการใช้วัสดุเหลือใช้ที่พบได้ทั่วไปในท้องถิ่น พบได้ตลอดทั้งปี และราคาถูก โดยประกอบด้วย เปลือกข้าวโพด (corn husk) ฟางข้าว (rice straw) กากกะทิ (coconut meal) กาบมะพร้าว (coconut coir) และขาน

อ้อย (sugarcane bagasse) ซึ่งวัสดุทั้ง 5 ชนิดถือเป็นวัสดุที่มักถูกนำไปทิ้งเป็นขยะสด และก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการนำวัสดุทั้ง 5 ชนิด มาใช้ประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ ซึ่งหากสามารถนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ได้ จะช่วยลดปริมาณขยะ ลดค่าใช้จ่ายสำหรับการกำจัดขยะ และยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เพาะเห็ดอีกด้วย

ในธรรมชาติมีการพบเห็ดขอนเจริญอยู่ตามขอนไม้ที่ผุพัง และส่วนใหญ่เห็ดชนิดนี้โตบนไม้เนื้อแข็งที่อยู่ในป่าเขตร้อน สมาชิกที่สำคัญในเห็ดสกุลนี้ได้แก่ เห็ดขอนขาวและเห็ดขอนดำ (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lentinus squarrosulus* และ *Lentinus polychrous*, ตามลำดับ) ทั้งเห็ดขอนขาวและเห็ดขอนดำมีลักษณะของดอกเห็ดคล้ายกับเห็ดนางรม โดยมีรูปร่างเป็นรูปร่ม แต่ดอกเห็ดขอนนั้นไม่มีก้านยาวกว่า ตรงกลางดอกเห็ดจะปุ่มลงเล็กน้อย คล้ายกับจานก้นลึก ผิวดอกมีขนขึ้นปกคลุมเป็นกระจุกคล้ายเกล็ด ก้านดอกเห็ดจะไม่อยู่กึ่งกลางหมวกเห็ดแต่จะค่อนข้างด้านใดด้านหนึ่ง (Hemawan 2021, Rattanamalee and Rattanamalee, 2012) เห็ดขอนขาวได้รับความนิยมในการเพาะปลูกในวงกว้าง เนื่องจากเพาะเลี้ยงได้ง่าย ได้ผลผลิตดี และจำหน่ายได้ในราคาสูง (Ngopok *et al.*, 2014) สำหรับเห็ดขอนดำ มีการเรียกชื่อสามัญของเห็ดชนิดนี้แตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น บางครั้งเรียกเห็ดลม (ภาคเหนือ) เห็ดบด (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) และเห็ดกระด้าง (ภาคใต้) (Tongakkaew, 2003) เห็ดขอนดำมีสารอาหารหลายชนิด มีสรรพคุณทางยา และมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลายอย่าง (Fangkrathok 2019) ในการวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งศึกษาวิจัยเฉพาะเห็ดขอนดำ เนื่องจากในปัจจุบันยังมียานวิจัยเกี่ยวกับเห็ดขอนดำไม่มากนัก ดังนั้นผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะช่วยเพิ่มองค์ความรู้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดชนิดนี้ ทำให้เพิ่มทางเลือกให้เกษตรกรในการเพาะเลี้ยงเห็ดให้หลากหลายมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การแยกเชื้อเห็ด

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้แยกเชื้อเห็ดขอนดำจากตัวอย่างหัวเชื้อในเมล็ดข้าวฟ่าง ซึ่งสั่งซื้อจากฟาร์มเห็ดโพธิ์ทอง จังหวัดนนทบุรี ทำการถ่ายเชื้อลงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25°C นาน 7 วัน เมื่อพบว่ามิโคโลนีเชื้อเห็ดเกิดขึ้น จึงถ่ายเชื้อลงบนอาหาร PDA จานใหม่ เมื่อแยกได้เชื้อเห็ดบริสุทธิ์ 1 ไอโซเลต (รหัส LSB2) ทำการเก็บรักษาในอาหาร PDA slant ที่อุณหภูมิ 4°C เมื่อต้องการนำมาใช้งานจึงนำมาถ่ายเชื้อลงในอาหาร PDA จานใหม่ และบ่มที่ 25°C นาน 7 วัน

2. การศึกษาการสร้างเอนไซม์เซลลูเลส

เพาะเลี้ยงเห็ดขอนดำ ไอโซเลต LSB2 บนอาหาร carboxymethylcellulose agar (CMC agar) ที่มีการเติม carboxyl methyl cellulose เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอน ถ่ายเชื้อด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร แล้ววางชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเห็ดบริเวณจุดศูนย์กลางของอาหาร CMC agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°C นาน 11 วัน หลังจากนั้นเทลิซอม 1% Congo red ลงบนหน้าอาหาร นาน 15 นาที หลังจากนั้นเทลิซอมทิ้ง แล้วล้างหน้าอาหาร CMC agar ด้วยสารละลายน้ำเกลือ (0.95% NaCl) ปริมาณ 20 มิลลิตร แล้วจึงเทน้ำเกลือทิ้งไป บันทึกผลด้วยการถ่ายภาพบริเวณที่ขาวของโคโลนีเชื้อเห็ด ในการทดลองนี้ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ (3 จานอาหารเลี้ยงเชื้อ) สำหรับชุดควบคุมใช้เป็นอาหาร CMC agar ที่ไม่ได้ลงเชื้อเห็ดใด ๆ

3. การเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

ทำการถ่ายเชื้อเห็ดด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร โดยเจาะบริเวณขอบของโคโลนีเชื้อเห็ดที่เจริญบนอาหาร PDA นำชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อเห็ดไปเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 3

ชนิด ได้แก่ potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MEA) และ cornmeal agar (CMA) โดยวางตรงจุดกึ่งกลางของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ นำจานอาหารที่ลงเชื้อเรียบร้อยแล้วไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°C นาน 7 วัน โดยวัดระยะของเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีให้ครบ 7 วัน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดแนวตั้งและแนวนอน ในอาหารแต่ละชนิด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (3 จานอาหารเลี้ยงเชื้อ) วิเคราะห์สถิติผลการเจริญด้วยวิธี ONE WAY ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

4. การเพาะเลี้ยงบนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในสภาวะห้องปฏิบัติการ

คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ (1) เปลือกข้าวโพด (2) ฟางข้าว (3) กากกะทิ (4) กาบมะพร้าว และ (5) ชานอ้อย นำวัสดุดังกล่าวไปตากแดดกลางแจ้งนาน 12 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น เมื่อตัวอย่างแห้ง จึงนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด ชั่งตัวอย่างวัตถุดิบ 20 กรัม ใส่ลงในโหลแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมอาหาร potato dextrose broth (PDB) ประมาณ 50 มิลลิลิตร ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา รอให้อุณหภูมิเย็นลง โดยทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง เพื่อลงเชื้อให้ครบในวันถัดไป การลงเชื้อทำด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ โดยลงเชื้อให้ครบตามจำนวนด้วยการใช้ใบมีดผ่าตัด ตัดเส้นใยของเห็ดบนอาหาร PDA ที่อายุ 7 วัน โดยตัดให้ได้ชิ้นวุ้นขนาด 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร ตัดตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น โดยถ่ายหัวเชื้อลงในโหล

แก้วที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ อยู่ นำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°C นาน 6 สัปดาห์ โดยบันทึกผลการเจริญของเส้นใยทุกสัปดาห์ และในสัปดาห์สุดท้าย ถ่ายรูปลักษณะของเส้นใยให้ครบด้านข้างและด้านในของโหลแก้ว

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การสร้างเอนไซม์เซลลูเลส

เมื่อนำเห็ดขอนดำไอโซเลท LSB2 มาทดสอบความสามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส ผลการศึกษาพบว่าเห็ดไอโซเลท LSB2 สามารถเจริญบนอาหาร CMC agar ได้เป็นอย่างดี และสามารถสร้างโคโลนีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 42.17 มิลลิเมตร (Figure 1) และเมื่อนำไปย้อมสี Congo red พบลักษณะของเส้นใยสีขาวที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าเห็ดชนิดนี้สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อใช้ในการย่อยสลายสารเซลลูโลสในอาหาร CMC agar ได้

เอนไซม์เซลลูเลส เป็นเอนไซม์พื้นฐานและมีความสำคัญในการใช้เพื่อคัดเลือกเห็ดในการนำมาเพาะเลี้ยงบนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เนื่องจากวัสดุกลุ่มนี้ได้จากพืชซึ่งมีสารกลุ่มเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเน้นศึกษาเอนไซม์ชนิดนี้ ซึ่งพบว่าเห็ดขอนดำสามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลสได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pukahuta *et al.* (2004) ซึ่งรายงานว่าเห็ดขอนดำ สามารถผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิด ได้แก่ เซลลูเลส แลคเคส และไพลานีส

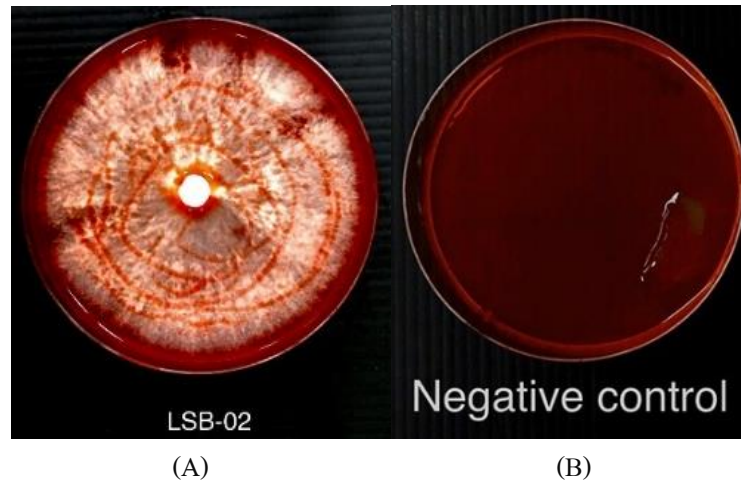


Figure 1 Determination of cellulase activity on CMC agar incubated at 25°C for 11 days and stained with Congo red solution. (A) *L. polychrous* LSB2 and (B) Negative control

2. การเปรียบเทียบการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

เมื่อทดสอบการเจริญของเห็ดขอนดำ ไอโซเลท LSB2 บนอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ PDA, MEA และ CMA พบว่าเห็ดขอนดำสามารถเจริญบนอาหารทั้ง 3 ชนิดได้ โดยมีลักษณะการเจริญคล้ายคลึงกัน โดยเห็ดขอนดำ ไอโซเลท LSB2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเท่ากับ 37.13, 36.20 และ 38.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Figure 2) โดยพบว่าโคโลนีของเห็ดขอนดำที่เจริญบนอาหาร MEA มีความสามารถในการเจริญช้ากว่าอาหาร PDA และ CMA เล็กน้อย โดยภาพรวมเมื่อครบ 7 วันของการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าอาหารทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อขนาดของโคโลนีไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้สถิติ ONEWAY ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 เมื่อพิจารณาของลักษณะเส้นใยและโคโลนีของเห็ดขอนดำ พบว่ามีลักษณะการสร้างเส้นใยที่คล้ายคลึงกัน โคโลนีมีขอบเรียบ สร้างเส้นใยสีขาวฟูคล้ายสาหร่าย

ทั้งนี้คุณสมบัติพื้นฐานของเห็ดเศรษฐกิจที่ดีเมื่อนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ ควรจะสามารถเจริญได้ง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากเกษตรกรผู้เพาะเห็ดต้องทำการเก็บ

รักษาเชื้อ และเตรียมหัวเชื้อเห็ดอยู่ตลอดทั้งปี ซึ่งเกษตรกรแต่ละคนอาจใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่แตกต่างกัน ดังนั้น เห็ดที่เหมาะสมต่อการเป็นเห็ดเศรษฐกิจจึงควรสามารถเจริญได้ในอาหารหลากหลายและไม่จำเพาะเจาะจงเกินไป เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานของเกษตรกร การศึกษาครั้งนี้พบว่าเห็ดขอนดำ สามารถปรับตัวและเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ทั้ง 3 ชนิด คือ PDA, MEA และ CMA

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kupradit *et al.* (2020) ซึ่งศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงเห็ดขอนขาวและเห็ดขอนดำ พบว่าเห็ดขอนทั้ง 2 ชนิดสามารถเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ 3 ชนิด ได้แก่ potato dextrose agar (PDA), sweet potato dextrose agar (SPDA) และ taro dextrose agar (TDA) เช่นเดียวกับ Subramonian *et al.* (2010) ที่ศึกษาผลของอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 ประเภท ได้แก่ อาหารจากแหล่งธรรมชาติ (natural media) อาหารสังเคราะห์ (synthetic media) และอาหารกึ่งสังเคราะห์ (semi-synthetic media) ที่มีต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดขอน เมื่อทดสอบเพาะเลี้ยงเห็ดขอนในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ รวม 10 ชนิด พบว่าเห็ดขอนสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารทุกชนิด

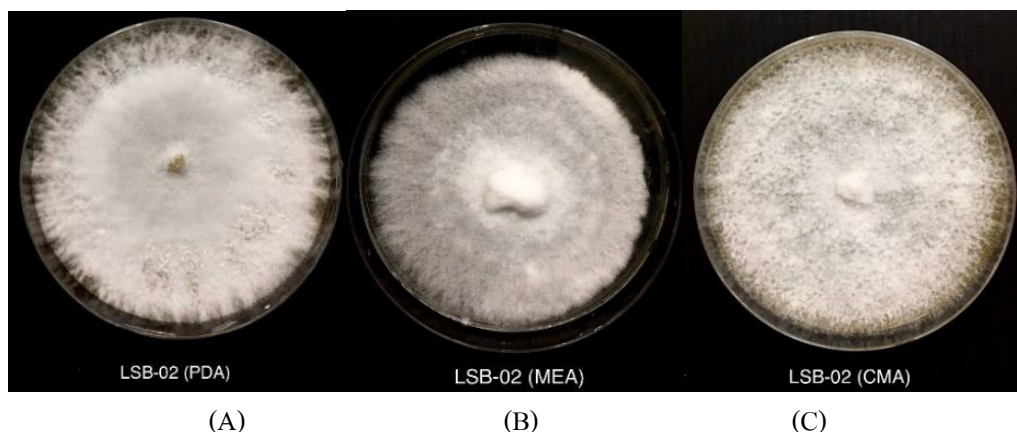


Figure 2 Mycelial growth of *L. polychrous* LSB2 on three different mycological agars incubated at 25°C for 7 days. (A) potato dextrose agar (PDA), (B) malt extract agar (MEA) and (C) cornmeal agar (CMA)

3. การเจริญของเห็ดขอนดำบนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เมื่อนำเห็ดขอนดำ ไอโซเลท LSB2 มาเพาะเลี้ยงในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเฉพาะเลี้ยงในขวดโหลแก้วในสภาวะห้องปฏิบัติการ เนื่องจากต้องการศึกษาเพื่อดูแนวโน้มในการพัฒนาเพื่อนำไปเพาะเห็ดในถุงระดับอุตสาหกรรม โดยรวมพบว่าเห็ดขอนดำสามารถเจริญบนวัสดุทั้งหมด 5 ชนิด (Table 1) โดยสามารถสร้างเส้นใยและเจริญบนวัสดุดังกล่าวได้เป็นอย่างดี โดยเห็ดขอนดำสามารถสร้างเส้นใยสีขาว และมีขอบสีดำ พบเส้นใยกระจายทั่วโหลแก้วทั้งด้านบนผิวหน้าของวัสดุและด้านข้างของขวด เมื่อพิจารณาโดยละเอียดสำหรับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในแต่ละชนิดพบว่าลักษณะการเจริญมีความแตกต่างกัน (Figure 4) เห็ดขอนดำสามารถเจริญบนกากกะทิได้ดีที่สุด โดยพบว่าการสร้างเส้นใยอัดแน่นทั้งบริเวณส่วนบนผิวหน้าและส่วนในของวัสดุ และมีเส้นใยอัดแน่นภายในระยะเวลาสั้น รองลงมาพบว่าเห็ดขอนดำเจริญได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงบนเปลือกข้าวโพดและชานอ้อย โดยที่เห็ดขอนดำสร้างเส้นใยได้ทั้งบนผิวหน้าและภายในวัสดุทั้งสองประเภท โดยที่เส้นใยมีความหนาแน่นน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดขอนดำที่เจริญบน

กากกะทิ สำหรับตัวอย่างวัสดุฟางข้าวและกากมะพร้าว พบว่าแม้ว่าเห็ดขอนดำยังสามารถเจริญและสร้างเส้นใยได้ แต่เส้นใยส่วนใหญ่เจริญอยู่บนผิวหน้าวัสดุ และเห็ดขอนดำยังสร้างเส้นใยภายในวัสดุได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Samthima *et al.* (2009) พบว่าเห็ดขอนเป็นเห็ดที่มีความสามารถในการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อย่างกว้างขวาง เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ฟางข้าว เปลือกกล้วย รำข้าว และแกลบ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษารั้งนี้ที่พบว่า เห็ดขอนดำ LSB02 ก็สามารถใช้วัสดุทางการเกษตรทั้งห้าชนิดที่นำมาศึกษา

เมื่อพิจารณาถึงวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาศึกษาพบว่ากากกะทิสามารถส่งเสริมการเจริญของเห็ดขอนดำได้ดีที่สุด โดยทำให้เห็ดเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Preecha *et al.* (2016) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการใช้กากกะทิกับรำข้าวเพื่อเพาะเลี้ยงเห็ดแครง (*Schizophyllum commune*) เมื่อนำวัสดุทั้งสองชนิดไปใช้เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงในรูปแบบถุงและนำไปบ่มไว้ในเรือนเพาะชำ พบว่าการเพาะเห็ดโดยใช้กากกะทิล้วนให้ปริมาณน้ำหนักของดอกเห็ด (กรัม/ถุง) มากกว่าการใช้รำข้าวล้วน เนื่องจากกากกะทิมิปริมาณของใยอาหารสูง

ถึงร้อยละ 19 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12-22 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดอะมิโนสำคัญหลายชนิด เช่น ไลซีนและฮิสทีดิน เป็นต้น (Sripanban, 2020)

แสดงให้เห็นว่า กากกะตือเป็นวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรอีกชนิดหนึ่งที่สารอาหารสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำมาเพาะเลี้ยงเห็ด

Table 1 Mycelial density of *Lentinus polychrous* when it was cultivated in five types of agricultural waste

Mushroom	Agricultural waste				
	corn husk	rice straw	coconut meal	coconut coir	sugarcane bagasse
<i>L. polychrous</i> LSB2	+++	++	++++	++	+++

Note + = Mycelium growth of the mushroom

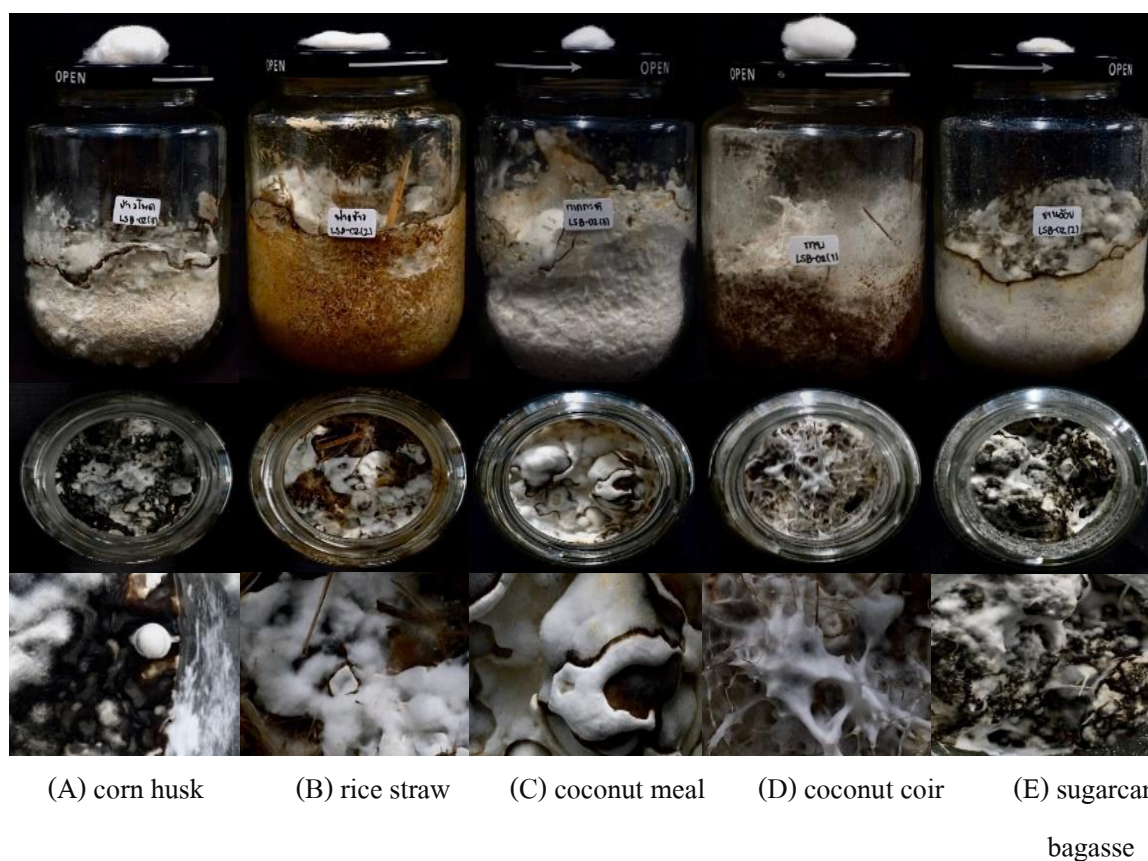


Figure 3 Mycelial growth of *L. polychrous* LSB2 when it was cultivated in five types of agricultural waste in a jars experiment in laboratory condition at 25°C for 6 weeks. Top, middle, and bottom rows show the side view, top view, and close-up top view respectively of the mycelial growths on each substrate

เปลือกข้าวโพดและชานอ้อยก็ถือเป็นวัสดุที่คุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ดขอนดำ เพราะช่วยให้เห็ดเจริญได้อย่างรวดเร็วและสร้างเส้นใยได้จำนวนมาก โดยเห็ดขอนดำสร้างเส้นใยได้อย่างหนาแน่น เนื่องจากการสร้างเส้นใยได้มากและเร็วถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเห็ด เนื่องจากมีแนวโน้มว่าเห็ดจะสามารถผลิตดอกได้ในปริมาณมาก และรอบการผลิตเร็วขึ้น (Baktemur *et al.*, 2022) ผลการศึกษารั้วนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srisuthum *et al.* (2014) ซึ่งรายงานถึงการใช้เปลือกข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารในการเพาะเลี้ยงเห็ดขอนขาว ที่พบว่าเมื่อนำเปลือกข้าวโพดไปเป็นส่วนผสมและเลี้ยงในอาหารเหลว สามารถช่วยกระตุ้นให้เห็ดขอนขาวสร้างเอนไซม์เซลลูลาเนสได้เป็นจำนวนมาก และงานวิจัยของ Rossi *et al.* (2003) ซึ่งศึกษาการใช้ชานอ้อยผสมกับรำข้าวและกากน้ำตาล เพื่อใช้เพาะเห็ดหอม (*Lentinus edodes*) ซึ่งเป็นเห็ดสกุลเดียวกับเห็ดขอนดำ พบว่าชานอ้อยช่วยส่งเสริมและเพิ่มผลผลิตของดอกเห็ดได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าสามารถเก็บผลผลิตได้หลายรอบและดอกเห็ดที่ได้มีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก

ผลการศึกษารั้วนี้แสดงให้เห็นว่าเห็ดขอนดำมีความสามารถในการเจริญในอาหารได้หลากหลายชนิด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเห็ดเศรษฐกิจ เนื่องจากเห็ดเศรษฐกิจที่ดีควรมีความสามารถในการเจริญบนวัสดุที่หลากหลาย ไม่จำเพาะเจาะจงกับวัสดุแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากเมื่อนำเห็ดไปเพาะเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรม เกษตรกรในแต่ละพื้นที่อาจเลือกได้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับพืชที่ปลูกในท้องถิ่นนั้น ๆ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าเห็ดขอนดำ สามารถเจริญบนวัสดุทั้ง 5 ชนิดที่นำมาทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าเห็ดชนิดนี้มีความสามารถในการปรับตัวและใช้สารอาหารได้เป็นอย่างดี

สรุป

เห็ดขอนดำถือเป็นทางเลือกใหม่ที่เหมาะสมในการพัฒนาเพื่อเป็นเห็ดเศรษฐกิจ เนื่องจากเห็ดชนิดนี้สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย สามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้หลากหลาย จากวัสดุทั้ง 5 ชนิดที่ศึกษา พบว่ากากกะทิสามารถกระตุ้นการเจริญของเส้นใยเห็ดขอนดำได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่เปลือกข้าวโพดและชานอ้อย ดังนั้นควรมีการส่งเสริมให้เกษตรกรนำวัสดุเหลือใช้ทั้ง 3 ชนิดไปใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดขอนดำในระดับโรงเรือน โดยใช้เพื่อผสมหรือนำไปใช้ทดแทนการใช้ขุยมะพร้าวและจี้เลื่อย เพื่อช่วยเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตเห็ดและเพิ่มผลผลิต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (รหัสโครงการ 2567-02-05-004)

เอกสารอ้างอิง

- Baktemur, G., Kara, E., Yazar, M., Yilmaz, N., Agcam, E., Akyildiz, A. and Taskin, H. 2022. Yield, quality and enzyme activity of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) grown on different agricultural wastes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 50(1): 12553.
- Fangkrathok, N. 2019. Chemical constituents and pharmaceutical activities of *Lentinus polychrous* Lev. *Isan Journal of Pharmaceutical Sciences* 15(1): 49-57. (in Thai)

- Hermawan, R. 2021. Study of *Lentinus squarrosulus* from West Java on the basis of molecular and morphological data. **Jurnal Biota** 7(1): 1-9.
- Jaitae, S. 2021. Agricultural residues utilization among farmers in Keelek sub-district municipality Mae Rim District, Chiang Mai. **Journal of Agricultural Research and Extension** 38(2): 79-88. (in Thai)
- Jaitae, S. and Nummisri, S. 2022. Effects of planting material with agricultural residues and vermicomposting tea on growth of green oak (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.). **RMUTSV Research Journal** 14(1): 229-237. (in Thai)
- Kupradit, C., Ranok, A., Mangkalan, S., Khlongkla, C. and Musika, S. 2020. Effect of natural carbon sources and temperature on mycelium cultivations of *Lentinus squarrosulus* (Mont.), *Lentinus polychrous* Lev., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.ex Fr.) P. Kumm. and *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer. **Thai Journal of Science and Technology** 9(4): 539-553.
- Laead-on, K. and Lomarak, T. 2020. Utilization from agricultural waste material in local for straw mushroom cultivation material. **Journal of Agricultural Research and Extension** 38(2): 68-78. (in Thai)
- Ngopok, S., Banchongsiri, S. and Unphim, U. 2014. Marketing management of Khonkhao mushroom of the farmer in Ubon Ratchathani province. **Rajabhat Agriculture** 13(2): 71-79. (in Thai)
- Preecha, C., Wisutthiphaet, W., Seephueak, P. and Thongliumnak, S. 2016. Bag cultivation of split gill mushroom (*Schizophyllum commune*) by application of coconut meal substitute rice bran. **International Journal of Agricultural Technology** 12(7.2): 2073-2077.
- Pukahuta, C., Suwanarit, P., Shianagawa, E., Hoshida, H. and Nishizawa, Y. 2004. Combination of laccase, xylanase and cellulase in lignocellulose degradation by white rot fungi, *Lentinus polychrous* Lev. and *L. squarrosulus* Mont. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 38: 65-73.
- Rattanmalee, S. and Rattanmalee, C. 2012. The biology of *Lentinus polychrous* Lev. in Nakorn Phanom Province, Thailand and Kwang Kham Muan, Laos. **International Journal of Environmental and Rural Development** 3(2): 121-126.
- Rossi, I.H., Monteiro, A.C. Machado, J.O. Andrioli, J. L. And Barbosa, J.C. 2003. Shiitake *Lentinus edodes* production on a sterilized bagasse substrate enriched with rice bran and sugarcane molasses. **Brazilian Journal of Microbiology** 34: 66-71.
- Sarnthima, R., Khammuang S. and Svasti, J. 2009. Extracellular ligninolytic enzymes by *Lentinus polychrous* Lev. under solid-state fermentation of potential agro-industrial wastes and their effectiveness in decolorization of synthetic dyes. **Biotechnology and Bioprocess Engineering** 14: 513-522.
- Sripaban, P. 2020. Effect of using mustard and kitchen dry copra meal substituted for soybean meal in finishing pig feed. **Institute of Vocational Education Southern Region 1 Journal** 5(1): 118-124. (in Thai)

- Srisuthum, J., Jindaprasert, A., Pukahuta, C. and Krusong, W. 2014. Growth of *Lentinus squarrosulus* Mont LS-MA in submerged cultivation for xylanase production from dried baby corn husk, pp. 106-114. *In Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Science, Natural Resources and Environment*. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Subramonian, K., Subha, S.L. and Ganthi, A.S. 2010. Effect of different media on the mycelial growth of *Lentinus squarrosulus* Mont. **International Journal of Plant Sciences** 5(1):78-80.
- Tongakkaew, J. 2003. **Research Report on Nutritive value of Hed Kradang (*Lentinus polychrous* Lev')**. Ubon Ratchathani University. (in Thai)

ผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิก ในข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก

Effect of Biological Process on γ -aminobutyric Acid and Phenolic Compounds Content of Tubtim Chumpare and Sinlek Brown Rice

จันทพร ทองเอกแก้ว* และ เชาวณี ปรีอปรัก

Jantaporn Thongekkaew* and Chowwanee Pruepruk

Received: 19 April 2022, Revised: 24 November 2022, Accepted: 13 December 2022

บทคัดย่อ

จากคุณประโยชน์ของสารแกมมา อะมิโนบิวทิริก (สารกาบา) ที่ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งที่สำคัญในระบบประสาทของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารแกมมา อะมิโนบิวทิเรต และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็ก โดยการนำข้าวมาผ่านการทำให้งอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีปริมาณสารกาบาสูงที่สุด เท่ากับ 2.866 ± 0.324 มิลลิกรัมต่อกรัม ในสถานะที่ข้าวกล้องผ่านกระบวนการงอก โดยมีปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก (0.723 ± 0.174 มิลลิกรัมต่อกรัม) ประมาณ 4 เท่า ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบการผลิตสารกาบาในข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็กที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. และไม่ผ่านทั้งการงอกและการหมัก พบว่า ปริมาณสารกาบาในข้าวที่ผ่านการงอกและการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นประมาณ 23 เท่า (0.254 ± 0.053 เป็น 5.880 ± 0.207 มิลลิกรัมต่อกรัม) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีปริมาณสูงสุดในสถานะข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก เท่ากับ 28.313 ± 0.506 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม ส่วนพันธุ์สินเหล็ก พบปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 5.624 ± 0.603 เป็น 8.212 ± 0.458 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม ในสถานะที่ข้าวกล้องผ่านการงอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระบวนการทางชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณสารกาบาได้ในข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์ และเพิ่มสารประกอบฟีนอลิกในข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็กได้ จึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในข้าว อันจะสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวกล้อง, สารกาบา, สารฟีนอลิก, แลคโตบาซิลลัส

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon-Ratchathani University, Warinchumrap, Ubon-Ratchathani 34190, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): jantaporn.t@ubu.ac.th

ABSTRACT

Gamma-aminobutyric acid (GABA) serves as a major inhibitory neurotransmitter in mammalian nervous systems and phenolic compounds act as antioxidants. Hence, the purpose of this research was to study the effect of biological process on γ -aminobutyric acid and phenolic compounds content of Tubtim Chumpare and Sinlek brown rice by allowing both rice species on germination and following *Lactobacillus* sp. fermentation. The highest GABA content in Tubtim Chumpare of 2.866 ± 0.324 mg. g^{-1} was found at the conditions under germinated rice which was 4-fold higher than that of brown rice without germination (0.723 ± 0.174 mg. g^{-1}) while comparison of Sinlek brown rice with and without germination and following *Lactobacillus* sp. fermentation, GABA production of brown rice with germination and following 12 h of fermentation increased more than 23-fold (0.254 ± 0.053 to 5.880 ± 0.207 mg. g^{-1}). For the total phenolic compounds content analysis, the result showed that Tubtim Chumpare brown rice gave the highest amount at the conditions of brown rice without germinated process (28.313 ± 0.506 mg gallic acid equivalent. g^{-1}) whereas Sinlek brown rice increased from 5.624 ± 0.603 to 8.212 ± 0.458 mg gallic acid equivalent. g^{-1} after germination and following 24 h of fermentation. These results indicate that biological processes can enhance GABA production in both brown rice and increase total phenolic compounds content in Sinlek brown rice which could improve the nutritional value for nutraceutical product development in the future.

Key words: brown rice, GABA, phenolic compounds, *Lactobacillus* sp.

บทนำ

ข้าวจัดเป็นอาหารหลักของคนไทย โดยการนำมาหุง ต้ม นึ่งโดยตรง ปัจจุบันการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก กำลังได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการงอกชักนำให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิก (metabolic) ในเมล็ดข้าว มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแป้ง และโปรตีน รวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายในเอนโดสเปิร์ม (Palmiano and Juliano, 1972) การเปลี่ยนแปลงนี้มีผลให้ในข้าวกล้องงอกพบสารที่มีบทบาททางชีวภาพสูงกว่าข้าวกล้อง เช่น กรดแกมมา-อะมิโนบิวทิริก หรือกาบา ที่สังเคราะห์ขึ้นจากกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยมี

เอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase, GAD) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้ง (inhibitory neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง อีกทั้งในทางการแพทย์ได้มีการนำมาใช้รักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทต่าง ๆ หลายโรค เช่น โรคนอนไม่หลับ โรควิตกกังวล และโรคซึมเศร้า มีผลช่วยลดความดันโลหิตลด LDL (Low density lipoprotein) ลดอาการอัลไซเมอร์ และยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (Thongekkaew, 2015) นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อเมล็ดข้าวงอกจะเกิดการย่อยสารอาหารที่เก็บไว้ในเมล็ดข้าวตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง และน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนโปรตีนในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์

รวมทั้งยังพบสารเคมีสำคัญต่าง ๆ มากมาย เช่น แกมมา-ออริซานอล (gamma-oryzanol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรีโนล (tocotrienol) สารประกอบฟีนอลิกที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดความดันโลหิต ป้องกันการเกิดฝ้า ลดริ้วรอยเหี่ยวย่นของผิว ชะลอความแก่ เป็นต้น (Pamsakhorn and Lungapin, 2013)

จากรายงานวิจัยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการผลิตข้าวกล้องงอกให้มีสารกาบาสูง ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาในการแช่ เวลาการเพาะงอก อุณหภูมิ และพีเอชที่เหมาะสม โดยปริมาณสารกาบาจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้าวแต่ละสายพันธุ์ (Kinnersley and Turano, 2000; Komatsuzaki *et al.*, 2007; Khwanchai *et al.*, 2014) นอกจากการนำข้าวกล้องมาทำให้เกิดการงอกซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวภาพทางหนึ่งส่งผลให้ปริมาณสารกาบาในข้าวเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีรายงานวิจัยพบว่าการหมักด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus* sp. สามารถเพิ่มปริมาณเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส ซึ่งจะส่งผลให้มีการสังเคราะห์สารกาบาได้ (Dat *et al.*, 2017; Wongwai *et al.*, 2018) รวมทั้งการหมักด้วยจุลินทรีย์ยังสามารถทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้นได้เช่นกัน (Le *et al.*, 2019)

ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์จากรังสี ทรงต้นเตี้ย (Semi-dwarf KDML105) ที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคไหม้ไม่ไวต่อช่วงแสงกับข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยด จากรายงานวิจัยการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ข้าวกล้องสีแดง เมล็ดยาว คุณภาพการสีดี มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และวิตามินอี โดยเฉพาะ α -Tocopherol และ γ -Oryzanols สูง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาก (ค่า IC_{50} เท่ากับ 2.68 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และมี

ความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กสูง (3.89 มิลลิโมลาร์ต่อกรัมของตัวอย่าง) (Department of Agriculture, 2017) สำหรับข้าวพันธุ์สินเหล็กได้จากผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวสีชาวมียกกลิ่นหอม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ตลอดทั้งปี มีความต้านทานต่อโรคไหม้ มีดัชนีน้ำตาล ต่ำ-ปานกลาง เมื่อนำมาทดลองบริโภคในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวาน พบว่า การบริโภคข้าวกล้องสินเหล็ก ช่วยแก้ปัญหาเบาหวานได้ ทำให้สถานะคือต่อ insulin ลดลงและการทำงานของตับอ่อนดีขึ้น รวมทั้งทำให้ค่าเฉลี่ยของ triglyceride ลดลง นอกจากนี้ ข้าวพันธุ์สินเหล็กยังมีธาตุเหล็กในเมล็ดสูง ผ่านการประเมินคุณสมบัติความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในมนุษย์ โดยพบว่าการส่งเสริมการบริโภคข้าวพันธุ์สินเหล็กในเด็กนักเรียนที่มีภาวะพร่องธาตุเหล็กทำให้ระดับ hemoglobin มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Rice Science Center, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, 2019)

จากลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ และพันธุ์สินเหล็กที่มีคุณค่าทางโภชนาการในเบื้องต้น และคุณสมบัติของสารกาบา และสารประกอบฟีนอลิกที่มีต่อร่างกาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารแกมมา อะมิโนบิวทิเรต และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก โดยการนำข้าวมาผ่านการทำให้งอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. เพื่อเพิ่มปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิเรต และสารประกอบฟีนอลิก เพื่อนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มในข้าว โดยสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมข้าวผ่านกระบวนการงอก

นำข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพจากแหล่งเพาะปลูก จังหวัดเชียงราย และพันธุ์สินเหล็กจากแหล่งเพาะปลูก จังหวัดพิษณุโลก มาล้างให้สะอาด 1-2 ครั้ง คัดสิ่งเจือปนและเมล็ดข้าวที่หักออกด้วยตะแกรงร่อน จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการงอก โดยเริ่มจากแช่ข้าวในถังให้น้ำเหนือข้าวประมาณ 10 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (เปลี่ยนน้ำแช่ทุก ๆ 4-6 ชั่วโมง) จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการแช่ไว้ในถังกระสอบ บ่มไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง (ล้างข้าวในถังโดยนำไปผ่านน้ำทุก ๆ 8 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้ข้าวงอกและไม่ให้เกิดการหมักจากความร้อน) เมื่อข้าวกล้องเกิดการงอกแล้ว นำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด จากนั้นนำไปอบด้วยถ้วยตุ๋นลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้น จะได้ข้าวกล้องงอกสำหรับนำไปใช้ทดสอบขั้นต่อไป

2. การแยกเชื้อ *Lactobacillus* sp.

นำปลาต้มจำนวน 25 กรัม มาเคี้ยวสลาย NaCl เข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 225 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเจือจาง แบบ serial dilution ที่ระดับความเจือจาง 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} ตามลำดับ นำระดับความเจือจางที่ 10^{-4} และ 10^{-5} มาคัดแยกและตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก ด้วยเทคนิคการเกลี่ย (spread plate) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar ที่เติมสาร monosodium glutamate เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และสาร CaCO_3 เข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์ ระดับความเจือจางละ 3 ซ้ำ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Kim (2012) และ Vangpikul and Itsaranuwat (2021) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะโคโลนีที่มีบริเวณใส (clear zone) ทำการคัดแยกโคโลนีมาทำให้บริสุทธิ์ จากนั้นนำเชื้อบริสุทธิ์มาจัดจำแนกเชื้อ *Lactobacillus* sp โดย

วิธีทดสอบทางชีวเคมีและตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโคโลนีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ นำเชื้อที่คัดแยกได้ใช้ในขั้นตอนต่อไป

3. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์และข้าวผ่านกระบวนการหมัก

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปรับความเข้มข้นเท่ากับ McFarland standard No. 0.5 ซึ่งมีจำนวนเชื้อประมาณ 1.5×10^8 CFU/มิลลิลิตร จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมนลงในตัวอย่างข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก ที่ผ่านกระบวนการงอกและอบแห้ง ตัวอย่างละ 30 กรัม ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 0, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง (Marin *et al.*, 2012) เมื่อครบกำหนดเวลาในการบ่มแต่ละช่วงเวลา นำตัวอย่างที่ผ่านการหมักไปอบให้แห้งด้วยถ้วยตุ๋นลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านการอบนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) เก็บในโถดูดความชื้น (desiccator) ก่อนนำไปสกัดเพื่อวิเคราะห์สารที่สำคัญต่อไป

4. การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก และข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมักในแต่ละเวลาของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) ซึ่งตัวอย่างแต่ละชนิด ประมาณ 5 กรัม ลงในขวดแก้วสีชา เติมนีโอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไประเหย ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บสารสกัดในขวดสีชาที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

5. การวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา โดยดัดแปลงจากวิธีของ Karladee and Suriyong (2012) โดยปีเปตสารตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน GABA ที่ความเข้มข้น 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย 0.2 M Borate buffer (pH 9) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และสารละลาย Phenol reagent เข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติม Sodium hypochlorite reagent เข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำมาแช่ในอ่างน้ำเย็น 5 นาที จากนั้นนำไปต้มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเป็น blank และคำนวณปริมาณสารกาบา โดยเทียบกับกราฟของสารมาตรฐาน GABA

6. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยดัดแปลงจากวิธีของ Moongngarm and Saetung (2010) โดยปีเปตสารสกัดตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.10, 0.30, 0.50, 0.70 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 980 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin Ciocalteu phenol reagent เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน

และเติม Na_2CO_3 เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานกรดแกลลิก

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดสอบปริมาณสารกาบา และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ($n=3$) นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การงอกของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและข้าวพันธุ์สินเหล็ก

เมื่อนำข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ และข้าวพันธุ์สินเหล็ก ที่ผ่านการล้างให้สะอาด คัดสิ่งเจือปน เมล็ดข้าวที่หักออก มาผ่านการแช่น้ำนานเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ข้าวมีการขยายตัวจากการอมน้ำ และจมูกข้าวมีการพองตัวขึ้น จากนั้นเมื่อนำข้าวที่แช่น้ำไว้ในถุงกระสอบ บ่มไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้ข้าวงอก พบว่า ข้าวกล้องมีการงอกเกิดขึ้น โดยความยาวของรากจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม ลักษณะเดียวกันทั้งสองพันธุ์ ดังภาพที่ 1

ระยะเวลาการบ่ม (ชั่วโมง)

0 4 10 12 14 16 18 20 22 24

(ก)

(ข)



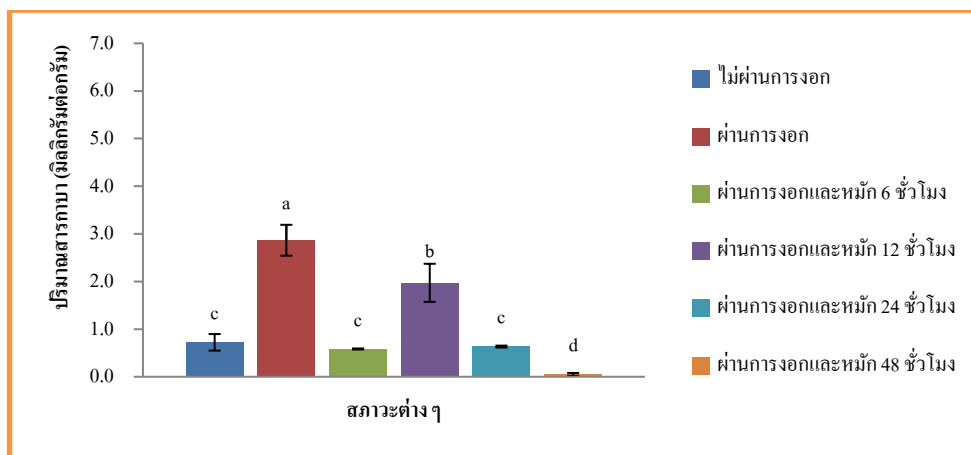
ภาพที่ 1 การงอกของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก (ก) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (ข) พันธุ์สินเหล็ก

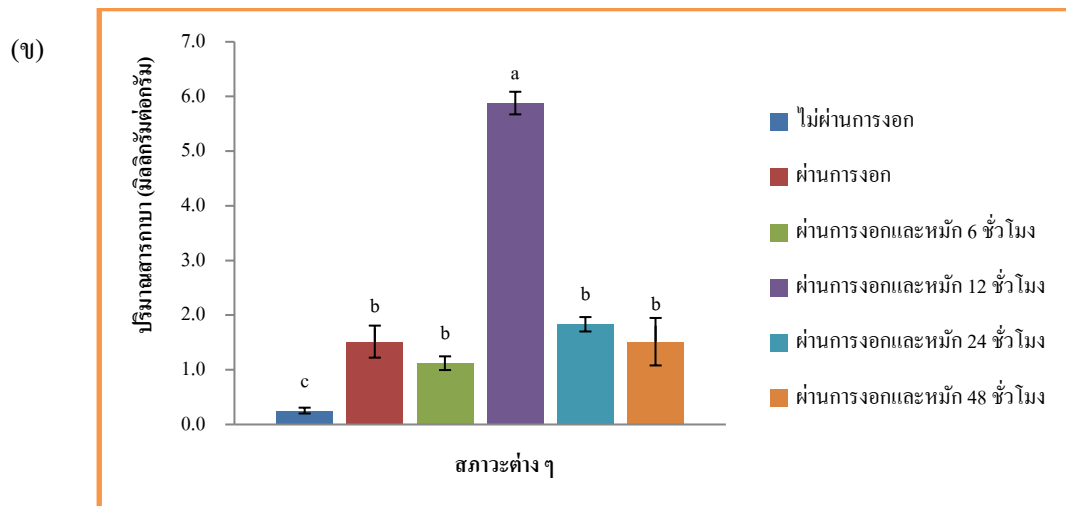
2. ปริมาณสารกาบาของข้าวที่สภาวะต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาจากข้าวกล้องข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ ที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก ผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารกาบามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.050-2.866 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสภาวะที่พบปริมาณสารกาบาสูงที่สุด คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก (2.866 ± 0.324 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (1.972 ± 0.400 มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบปริมาณสารกาบา

น้อยที่สุด (0.050 ± 0.030 มิลลิกรัมต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก มีปริมาณ 0.723 ± 0.174 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารกาบาในข้าวพันธุ์สินเหล็ก พบว่า ปริมาณสารกาบามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.254-5.880 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสภาวะที่พบปริมาณสารกาบาสูงที่สุด คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (5.880 ± 0.207 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1.833 ± 0.132 มิลลิกรัมต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก ให้ปริมาณสารกาบาต่ำที่สุด (0.254 ± 0.053 มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังภาพที่ 2

(ก)





ภาพที่ 2 ปริมาณสารกาบาในแต่ละสถานะของข้าวกล้อง (ก) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (ข) ข้าวพันธุ์สินเหล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

จากผลการศึกษาปริมาณสารกาบาของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยการนำข้าวมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการหมักด้วย *Lactobacillus* sp. พบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์ให้ปริมาณสารกาบาแตกต่างกันในแต่ละสถานะ โดยข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพที่สถานะการผ่านกระบวนการงอก พบปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ประมาณ 4 เท่า (0.723 ± 0.174 เป็น 2.866 ± 0.324 มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกและหมักด้วย *Lactobacillus* sp. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ประมาณ 2.7 เท่า (0.723 ± 0.174 เป็น 1.972 ± 0.400 มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนข้าวพันธุ์สินเหล็กที่ผ่านกระบวนการงอก พบปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ประมาณ 6 เท่า (0.254 ± 0.053 เป็น 1.516 ± 0.293 มิลลิกรัมต่อกรัม) และข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกและหมัก เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก

ประมาณ 23 เท่า (0.254 ± 0.053 เป็น 5.880 ± 0.207 มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า กระบวนการงอกของข้าวส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ โดยที่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารกาบาในข้าวแต่ละพันธุ์จะต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบของสารกาบาเริ่มต้น รวมทั้งสารตั้งต้นในการนำไปผลิตเป็นสารกาบา เช่น กรดกลูตามิก ในเมล็ดข้าวที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Saikusa *et al.* (1994); Roohinejad *et al.* (2009); Kamara *et al.* (2010) พบว่า ปริมาณสารกาบาเริ่มต้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว มีปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความแตกต่างด้านพันธุกรรมของสายพันธุ์ข้าว สถานะการปลูก และปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kinnersley and Turano (2000); Komatsuzaki *et al.* (2007); Khwanchai *et al.* (2014) ที่พบว่า กระบวนการงอก เช่น ระยะเวลาการแช่น้ำ และการบ่มให้ข้าวออก มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวทุกสายพันธุ์ รวมทั้งในพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี (Nagaoka, 2005) และข้าวโอ๊ต (Xu *et al.*, 2010) เป็นต้น นอกจากนี้

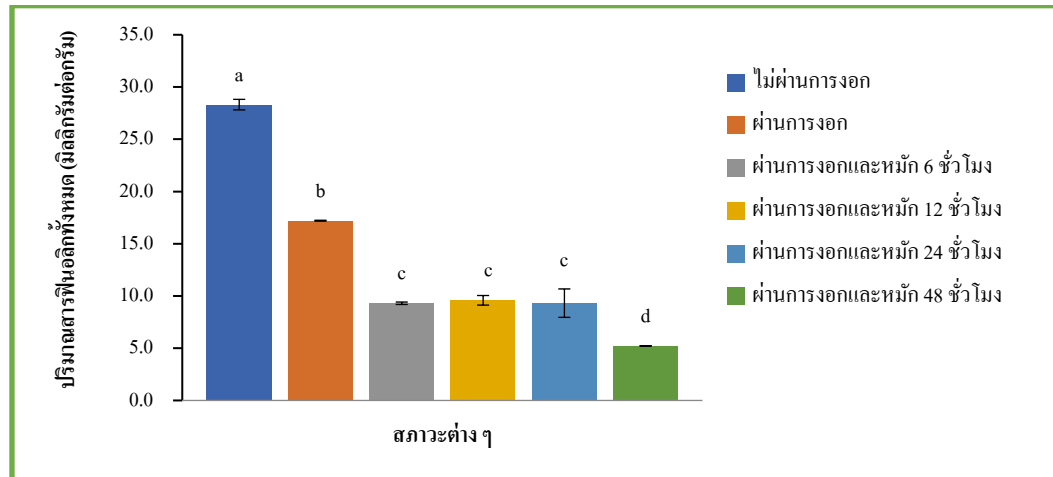
ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารกาบาแล้ว ผลการทดลองยังพบว่า การหมักด้วย *Lactobacillus* sp. สามารถเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวพันธุ์สินเหล็กได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dat *et al.* (2017) ที่พบว่า เมื่อทำการหมักสารสกัดจากรำข้าวที่มีการคังไขมันออกด้วยเชื้อ *Lactobacillus brevis* VTCC – B – 454 สามารถผลิตสารกาบาได้ 2952 ppm จากการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kantachote *et al.* (2016) ที่มีการผลิตแทนนิน โดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์บริสุทธิ์ *L. namurensis* สามารถผลิตกาบาได้เท่ากับ 396.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และงานวิจัยของ Meengoenlad *et al.* (2021) ศึกษาความสามารถของการใช้แบคทีเรียกรดแลคติก *L. plantarum* L10-11 ในการผลิตกาบาในกระบวนการหมักแทนนิน พบว่า สามารถผลิตแทนนินที่มีปริมาณกาบาสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ประมาณ 72 เท่า

3. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวที่สถานะต่าง ๆ

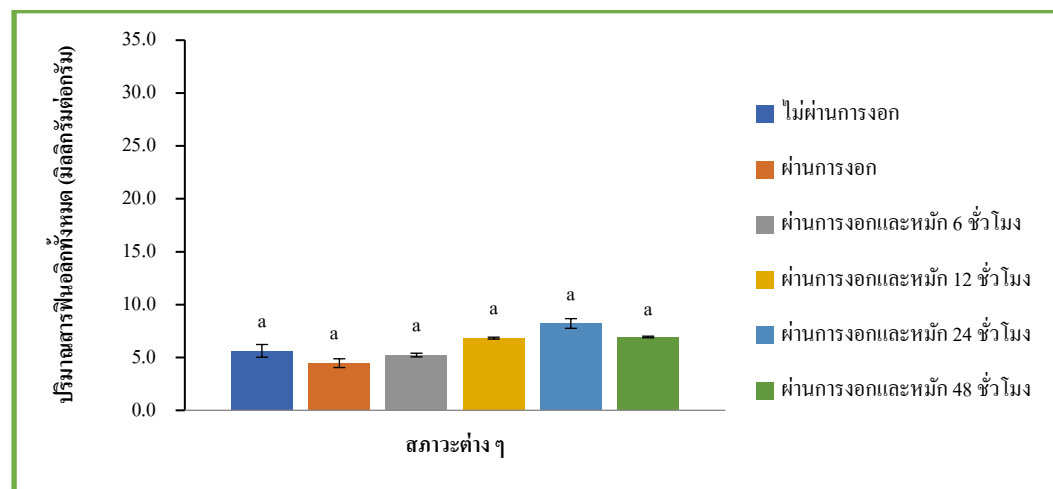
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก ผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) คือมีปริมาณอยู่ในช่วง 5.223–28.313 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม โดยสถานะที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือสถานะข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก (28.313 ± 0.506 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก (17.207 ± 0.042 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารฟีนอลิกต่ำที่สุด (5.223 ± 0.009 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวพันธุ์สินเหล็ก พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีปริมาณอยู่ในช่วง 4.460–8.212 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม โดยสถานะที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (8.212 ± 0.458 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (6.936 ± 0.079 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 5.624 ± 0.603 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม ดังภาพที่ 3

(ก)



(ข)



ภาพที่ 3 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในแต่ละสถานะของข้าวกล้อง (ก) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (ข) พันธุ์สินเหล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

จากผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ โดยการนำข้าวมาผ่านกระบวนการทำให้งอกและการหมักด้วย *Lactobacillus* sp. พบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณสูงที่สถานะแตกต่างกัน โดยที่ข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดในข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก (28.313 ± 0.506 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) และจะลดลงเมื่อข้าวผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีสารแอนโทไซยานินที่เป็น

สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งเป็นสารประกอบไกลโคไซด์หรือเอซิลไกลโคไซด์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก (Lee *et al.*, 2007; Shen *et al.*, 2009) ที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ เมทานอล และอะซิโตน เป็นต้น (Oki *et al.*, 2002; Finocchiaro *et al.*, 2010) สูญเสียปริมาณสารแอนโทไซยานินมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีในข้าวลดลงอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratthanatham *et al.* (2013) พบว่า เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมนิล และข้าวไรซ์

เบอรี่ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อผ่านกระบวนการรอกนาน 72 ชั่วโมง ซึ่งจะแตกต่างจากข้าวพันธุ์สินเหล็กที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวผ่านกระบวนการรอกและหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. โดยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวที่ผ่านกระบวนการรอกและการหมัก 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งการกระบวนการรอกและการหมัก ประมาณ 1.2, 1.5 และ 1.23 เท่า (5.624 ± 0.603 เป็น 6.828 ± 0.088 , 5.624 ± 0.603 เป็น 8.212 ± 0.458 และ 5.624 ± 0.603 เป็น 6.936 ± 0.079 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) ตามลำดับ เนื่องจากข้าวพันธุ์สินเหล็กไม่มีสารแอนโทไซยานิน แต่จะมีการสร้างสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. หลังกระบวนการรอก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการเพิ่มกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระจากการหมักข้าวด้วยเชื้อ lactic acid bacteria ที่แยกได้จากอาหารหมัก จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus plantarum* MJM60383, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* MJM60392, *Lactobacillus fermentum* MJM60393 และ *Lactobacillus paracasei* MJM60396 พบว่า การหมักข้าวด้วยเชื้อ *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* MJM60392 ให้ปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด (Le et al., 2019) และจากการศึกษาการหมักผลฮอว์ธอร์นด้วย *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus casei* สามารถเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิอิสระได้ 34.4 เปอร์เซ็นต์ (Huang et al., 2019)

สรุป

จากผลการศึกษาปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็กที่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ โดยการนำข้าวทั้งสองสายพันธุ์มาผ่าน

กระบวนการทางชีวภาพโดยการทำให้งอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. พบว่า กระบวนการทางชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณสารกาบาได้ในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ ในขณะที่กระบวนการทางชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ในข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็ก จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการต่อยอดทางด้านการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวทั้งสองสายพันธุ์เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้นอกจากนี้ ยังสามารถนำข้อมูลจากผลการทดลองนี้ใช้ในการตัดสินใจเลือกบริโภคข้าวสำหรับผู้ป่วยหรือผู้ที่ดูแลสุขภาพได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ในการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กลุ่ม Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2564 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Dat, L.Q., Ngan, T.T.K. and Nu, N.T.X. 2017. Gamma-amino butyric acid (GABA) synthesis of *Lactobacillus* in fermentation of defatted rice bran extract, p. 1878. In **AIP Conference Proceedings**. American Institute of Physics (AIP) Publishing, USA.
- Department of Agriculture. 2017. **Tabtim Chumpare Rice**. Available Source: <https://www.doa.go>.

- th/pvp/wpcontent/uploads/2019/11/Anno DOAPublic111. pdf., March 20, 2019. (in Thai)
- Finocchiaro, F., Ferrari, B. and Gianinetti, A. 2010. A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black grained genotype. **Cereal Science** 51: 28-34.
- Huang, Y., Wang, H. and Zhu, C. 2019. Effect of lactic acid bacteria fermentation on antioxidation and bioactivity of Hawthorn Pulp, pp. 1-7. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 3rd International Workshop on Renewable Energy and Development (IWRED 2019)*. IOP Publishing, Guangzhou, China.
- Kamara, J.S., Konishi, S., Sasanuma, T. and Abe, T. 2010. Variation in free amino acid profile among some rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Breeding Science** 60: 46-54.
- Kantachote, D., Ratanaburee, A. and Sukhoom, A. 2016. Use of γ -aminobutyric acid producing lactic acid bacteria as starters to reduce biogenic amines and cholesterol in Thai fermented pork sausage (Nham) and their distribution during fermentation. **LWT-Food Science and Technology** 70: 171-177. (in Thai)
- Karladee, D. and Suriyong, S. 2012. γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. **ScienceAsia** 38: 13-17.
- Khwanchai, P., Chinprahast, N., Pichyangkura, R. and Chaiwanichsiri, S. 2014. Gamma-Aminobutyric acid and glutamic acid contents, and the GAD activity in germinated brown rice (*Oryza sativa* L.): Effect of rice cultivars. **Food Science and Biotechnology** 23(2): 373-379.
- Kim, M.J. and Kim, K.S. 2012. Isolation and identification of gamma-aminobutyric acid (GABA)-producing lactic acid bacteria from kimchi. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry** 55: 777-785.
- Kinnersley, A.M. and Turano, FJ. 2000. γ -Aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. **Critical Reviews and Plant Sciences** 19: 479-509.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in GBR. **Journal of Food Engineering** 78: 556-560.
- Le, B., Anh, P.T.N., Kim, J.E., Cheng, J. and Yang, S.H. 2019. Rice bran fermentation by lactic acid bacteria to enhance antioxidant activities and increase the ferulic acid, p -coumaric acid, and γ -oryzanol content. **Journal of Applied Biological Chemistry** 62(3): 257-264.
- Lee, Y.R., Woo, K.S., Kim, K.J., Son, J.R. and Jeong, H.S. 2007. Antioxidant activities of ethanol extracts from germinated specialty rough

- rice. **Food Science and Biotechnology** 16: 765-770.
- Marin, J., Kerdchoechuen, O. and Laohakunjit, N. 2012. Composition changes of fermented brown rice. **Agricultural Science Journal** 43(2) (Suppl.): 557-560. (in Thai)
- Meengoenlad, P., Soemphol, W., Oonmettaaree, J. and Tanamool, V. 2021. Increasing of Gamma-aminobutyric acid (GABA) content in fermented mushroom (Nham-Hed) by using high potential lactic acid bacteria as a starter. **Burapha Science Journal** 26(1):168-179. (in Thai)
- Moongngarm, A. and Saetung, N. 2010. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. **Food Chemistry** 122: 782-788.
- Nagaoka, H. 2005. Treatment of germinated wheat to increase levels of GABA and IP6 catalyzed by endogenous enzymes. **Biotechnology Progress** 21: 405-410.
- Oki, T., Masuda, M., Kobayash, M., Nishiba, Y., Furuta, S., Suda, I. and Sato, T. 2002. Polymeric procyanidinsas radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50: 7524-7529.
- Palmiano, E.P. and Juliano, B.O. 1972. Biochemical changes in the rice grain during germination. **Plant Physiology** 49: 751-756.
- Parnsakhorn, S. and Lungapin, J. 2013. Germinated rice benefits, p. 10. *In* Institute of research and development, RUMTT, eds. **The easy to make germinated brown rice and its benefit** (1sted). Triple Group Co, Ltd., Pathum Thani. (in Thai)
- Ratthanatham, P., Laohakunjit, N. and Kerdchoechuen, O. 2013. Phenolic compound, anthocyanin and antioxidant activity of germinated colored rice. **Agricultural Science Journal** 44(2) (Suppl.): 441-444.
- Rice Science Center, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. 2019. **Sinlek Rice**. Available Source: <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/research-develop/rice-breeding-lab/sinlek-rice-variety>, March 27, 2019. (in Thai)
- Roohinejad, S., Mirhosseini, H., Saari, N., Mustafa, S., Alias, I. and MeorHussin, A.S. 2009. Evaluation of GABA, crude protein and amino acid composition from different varieties of Malaysian's brown rice. **Australian Journal of crop Science** 3(4): 184-190.
- Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y. 1994. Accumulation of gamma-aminobutyric acid (GABA) in rice germ during water soaking. **Bioscience Biotechnology, and Biochemistry** 58 : 2291-2292.
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, Y. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. **Cereal Science** 49: 106-111.
- Thongekkaew, J. 2015. A Greatly Useful of GABA for Health. **KKU Science Journal** 43(2): 205-211. (in Thai)
- Vangpikul, S. and Itsaranuwat, P. 2021. Isolation and selection of lactic acid bacteria with potential probiotics from traditional Thai

local pickle products. **RMUTSB Academic Journal** 9(2): 150-163. (in Thai)

Wongwai, A., Prasertbumrung, S., Seetha, D. and Meepriruk, M. 2018. GABA and antioxidant activity of germinated brown rice Pathumthani 1 with four kinds of water, pp. 437-442. *In 4th Pibulsongkram research academic conference.* Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok. (in Thai)

Xu, J.G., Hu, Q.P., Duan, J.L. and Tian, C.R. 2010. Dynamic changes in γ -aminobutyric acid and GAD activity in oats (*Avena nuda* L.) during steeping and germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 58: 9759-9763

เฟจจากธรรมชาติที่สามารถกำจัด *Pseudomonas aeruginosa* Potency of Natural Phage in *Pseudomonas aeruginosa* Lysis

นันทนิจ จารุเสรี^{1,2*}, เอกชัย ชูเกียรติโรจน์¹ และ สมบูรณ์ คำเตจา³

Nanthanit Jaruseranee^{1,2*}, Ekachai Chukeatirote¹ and Somboon Kamtaeja³

Received: 25 May 2022, Revised: 8 November 2022, Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

เฟจ หรือ แบคทีริโอเฟจเป็นศัตรูในธรรมชาติของแบคทีเรีย เฟจสามารถดำรงชีวิตได้โดยอาศัยแบคทีเรียเพื่อเพิ่มจำนวน ปัจจุบันแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิดเกิดภาวะดื้อยาปฏิชีวนะ ทำให้เฟจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้กำจัดแบคทีเรียที่ดื้อยาปฏิชีวนะ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีรายงานการดื้อยาเนื่องจากสามารถสร้างไบโอฟิล์มซึ่งมีส่วนช่วยเสริมให้มีการดื้อยาได้มากกว่าแบคทีเรียชนิดอื่น งานวิจัยนี้ศึกษาการคัดแยกเฟจจากธรรมชาติที่สามารถทำลาย *P. aeruginosa* จากการศึกษารูปร่างของเฟจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าเฟจ PAMFUP2 จัดอยู่ในแฟมิลี *Myoviridae* มีวงจรชีวิตแบบ lytic สามารถทำลาย *P. aeruginosa* โดยทำให้เกิดวงใส (clear zone lysis) และมีความจำเพาะกับ *P. aeruginosa* TISTR 1287 สามารถทำลาย *P. aeruginosa* TISTR 357 แต่ไม่สามารถทำลายแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นที่ใช้ในการทดสอบ โดยเฟจ PAPMFU2 น้อยกว่า 20% สามารถทำลาย *P. aeruginosa* TISTR 1287 เมื่อบ่มในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 70°C โดยความสามารถในการเข้าทำลายเมื่อสารละลายมีค่า pH อยู่ในช่วง 3-12 การเติมเฟจเพียงครั้งเดียวสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้นาน 7 ชั่วโมง อีกทั้งเฟจ PAPMFU2 ยังสามารถยับยั้งการเกิดไบโอฟิล์มของ *P. aeruginosa* TISTR 1287 ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) จากคุณสมบัติข้างต้นจึงสามารถนำเฟจจากธรรมชาติ PAMFUP2 มาใช้ในการกำจัด *P. aeruginosa* ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เฟจ, ไบโอฟิล์ม, *Pseudomonas aeruginosa*

¹ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

¹ School of Science, Mae Fah Luang University, Muang, Chiang Rai 57100, Thailand.

² กลุ่มวิจัยผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

² Microbial Products and Innovation Research Group, Mae Fah Luang University, Muang, Chiang Rai 57100, Thailand.

³ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

³ Faculty of Education, Chiangrai Rajabhat University, Muang, Chiang Rai 57100, Thailand.

*Corresponding author, e-mail: Nanthanit.jar@mfu.ac.th Tel: 0 5391 678

ABSTRACT

A phage, also known as a bacteriophage, is a bacteria's natural predator. Phages can sustain themselves by relying on bacteria to increase their numbers. Many pathogenic bacteria are now resistant to antibiotics. Therefore, phages can be used as an alternative method to kill antibiotic-resistant bacteria. *Pseudomonas aeruginosa* is an antibiotic-resistant bacterium because it can produce biofilm, which contributes to more resistance than other bacterial species. In this study, a natural phage capable to destroy *P. aeruginosa* was isolated. It was found that the shape of the PAMFUP2 lytic phage under a transmission electron microscope belonged to the *Myoviridae* family. It had a lytic life cycle that was able to destroy *P. aeruginosa* by causing a clear zone lysis. The phage PAMFUP2 was specific to *P. aeruginosa* TISTR 1287 strain in a specificity test. It was also able to inhibit *P. aeruginosa* TISTR 357, but not the other bacterial strains. The phage PAPMFU2 less than 20% could destroy *P. aeruginosa* TISTR 1287 when incubated in a solution with a pH value of 3 and a temperature of at 70°C. The stability of destructive capacity was maintained when the pH solution was in the range of 3-12. Additionally, a single PAMFUP2 phage could inhibit bacteria growth for up to 7 hours. Phage PAPMFU2 significantly ($P < 0.01$) inhibited biofilm formation of *P. aeruginosa* TISTR 1287. Based on the above characteristics, natural phage PAMFUP2 could be used to destroy *P. aeruginosa* in the future.

Key words: Phage, Biofilm, *Pseudomonas aeruginosa*

INTRODUCTION

The gram-negative bacterium *Pseudomonas aeruginosa* is commonly found in plants, soil, and water (Wu and Li, 2015). In hospitals, *P. aeruginosa* antibiotic resistance is recognized as a serious problem (Livermore, 2002) because it adapts to its surroundings (Hirsch and Tam, 2010). Consequently, using antibiotics to treat infections is problematic. Discovering an effective method to treat *P. aeruginosa* infection is critical for hospital care. *P. aeruginosa* multidrug resistance (MDR) is caused by a combination of mechanisms, including lactamases, aminoglycoside-modifying enzymes, target site modifications, and multi-drug efflux pumps (Santajit *et al.*, 2011). Antibiotic classes that cause MDR include aminoglycosides, antipseudomonal penicillin, cephalosporins, carbapenems, and fluoroquinolones (Hirsch and Tam, 2010).

Bacteriophage or phage is a virus that infects bacterial cells (Ofir and Sorek, 2018). It can be found in almost any environment (Casto *et al.*, 2016). Bacteriophages were first discovered in 1915 by William Twort (Clokier *et al.*, 2011). In 1917, Felix d'Herelle realized that bacteriophage is specific and

have potentiality to lyse bacterial cells (Clokier *et al.*, 2011). The lytic cycle of a bacteriophage begins with infection when the phage attaches to the host's surface and inserts phage nucleic acid into the host cell. The phage genes will then be expressed, replicated, and packed to form phage particles in bacterial cells. At the end of the lytic cycle, the bacteria cell is lysed, and a new phage is released (Ofir and Sorek, 2018). It has been reported that MDR bacteria can be killed by phages (Lindberg, 1973). Phages have numerous advantages, including the ability to infect only specific bacterial cells (Loc-Carrillo and Abedon, 2011). Phage numbers are self-controlling as they can multiply when the target host bacterial strains are present and increase their numbers only at the infection site until the target bacteria are eliminated (Dufour *et al.*, 2015). Therefore, bacteriophage therapy is a treatment option that has the potential to be a viable solution for antibiotic resistance (Rohde *et al.*, 2018).

Phage has the potential to be a natural alternative method for lowering the number of *P. aeruginosa* infections in food (Hemalata *et al.*, 2020). In 2013, Hungaro *et al.* reported

that phage has been shown to be more effective to reduce *Salmonella enterica* infection in chicken skin than chemical agents. They suggested that phage could be used as an alternative treatment agent instead of traditional synthetic preservatives in the food industry. According to Reyneke *et al.* (2020), they reported that bacteriophage isolated from rainwater can be used as a biocontrol as it can destroy and effectively regulate the reproduction of *P. aeruginosa* infection. Forti *et al.* (2018) successfully recovered 23 lytic phages from sewage samples on inhibition of 40 strains of *P. aeruginosa* from cystic fibrosis patients hosts. Similarly, Adnan *et al.* (2020) successfully isolated phage MA1 from Pakistan water resources. In this work, the basic features of the *P. aeruginosa* TISTR 1287 lytic phage isolated from natural sources were examined.

MATERIALS AND METHODS

1. Bacteriophage isolation

P. aeruginosa TISTR 1287 was obtained from Thailand Institute of Scientific and Technology Research (TISTR). It was grown on Luria Broth (LB) media (Himedia[®], India) for 16-20 hours at 37°C. It was used to employ as a host strain for phage isolation from soil sample collected from reforestation area at Mae Fah Luang University, Thailand (DMS Latitude: 20°02'81.0"N and DMS Longitude: 99°53'46.0"E). A total 50 grams of soil sample was suspended and properly mixed in 50 ml of water. The sample was centrifuged at 4500 rpm for 5 minutes at 4°C. The supernatant of phage was collected and filtered with a pore size of 0.22 µm membrane filter (Nest[®], Korea). An 8.6 ml of supernatant was added to 100 µl of the host strain's overnight cell culture and 1 ml of 10x LB media (Himedia[®], India). The supernatant was shaken at 180-200 rpm for 24 hours at 37°C. Supernatant was centrifuged at 4500 rpm for 5 minutes at 4°C and filtered through a 0.22 µm membrane filter before being kept at 4°C. The cell lysis zone of isolated phage was assessed using a spot test.

Plaque assay (Dong *et al.*, 2018) was used to evaluate phage titer in test tubes by combining 5 ml of soft agar pre-incubated at 50 °C, phage filtrate, and bacterial culture (OD = 1.0 at 600 nm.). The phage-bacteria combination was placed on LB agar plates and allowed to dry for a while. The phage was purified by choosing a single clear plaque after 16 hours of incubation period at 37°C.

2. Phage amplification, purification, and stabilization

Phage was multiplied and precipitated with 2.5M NaCl and 20% PEG8000 (Bio Basic, Canada). A single phage plaque was combined with 4.8 mL of LB media containing 100 µl of overnight host culture. Then, it was incubated for 24 hours at 37°C with shaking at 180-200 rpm. Supernatant was centrifuged at 4500 rpm for 5 minutes at 4°C and filtered through a 0.22 µm Syringe Filter (Nest[®], Korea). The single plaque was picked and amplified for 3 rounds. Then, phage supernatant was mixed with 1 ml of 2.5 M NaCl in 20% (w/v) PEG8000 and chilled on ice for 30-60 minutes before being centrifuged at 9000 rpm for 30 minutes at 4°C. The supernatant was removed and centrifuged at 9000 rpm for 5 minutes at 4°C. All remaining supernatant was discarded. A 200 µl of 1X Phosphate Buffered Saline (PBS) was used to resuspend the precipitated phage. The spot test technique was used to identify plaque forming units in the purified stock, and then the appropriate dilutions were plated. The stock was stored at -20°C in 20% glycerol.

The stability of the phage PAMFUP2 at different temperatures and pH levels was studied. A phage solution at 10⁶ PFU/mL was incubated at 4, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 100°C for 1 hour to determine their thermal stability. Using the double-layer overlay approach (Dong *et al.*, 2018), the phage titers were then calculated. The ratio of phage titers at different temperatures to those held at 4°C was used to calculate the relative titer. Three separated experiments were carried out. The stability of the phage PAMFUP2 at various pH levels was investigated.

A phage solution (10^6 PFU/mL) was incubated with Tryptic soy broth (TSB) media (Himedia[®], India) with pH 1.0 to 14.0. Using the double-layer overlay approach, the number of phages was counted after incubation. The relative titer was calculated by comparing phage titers at various pH to TSB medium without changing the pH. Three separated experiments were carried out in the study.

3. Transmission Electron Microscope (TEM) study

The phage suspension was applied to the formal carbon film surface with 200 mesh copper grids. In a negative staining procedure, phage was stained with 2% (w/v) uranyl acetate on a carbon covered grid. The grids were examined using a Hitachi transmission electron microscope (Model HT7700, Japan) and operated at 80 kV. The morphology of phages PAMFUP2 was observed using Transmission Electron Microscopy. The sizes of each phage's 10 viral particles were measured and averaged.

4. Analysis of the Host Range

Pure culture of 14 bacterial strains used to evaluated for phage PAMFUP2 specificity. There were five strains of *P. aeruginosa* (TISTR 1287, DMST 37186, TISTR 357, TISTR 781 and TISTR 1101), three strains of *Escherichia coli* (TG1, TISTR 527 and TISTR 780), two strains of *Bacillus cereus* (ATCC 11778 and TISTR 687), two strains of *Salmonella typhimurium* (TISTR 1470 and TISTR 2519), *Enterobacter aerogenes* TISTR 1540 and *Staphylococcus aureus* TISTR 746. Briefly, 1 μ l of 10^6 PFU/mL phage suspensions was spotted onto bacterial lawns and incubated overnight at 37°C. The spot morphology was evaluated and classified as "+", a clear lysis zone; "T", a turbid lysis zone; and "-" no lysis. Three biological replicates were subjected to host range analysis utilizing the spot testing method.

5. Killing assay of bacteriophage

To evaluate lytic kinetics (Guo *et al.*, 2019), phages with variable multiplicity of infection (MOI) 0.1, 1 and 10 were cultured with mid-log-phase of host strain

P. aeruginosa TISTR 1287 culture (OD₆₀₀ = 0.5) on 96-well culture plates at 37°C and 180 rpm. As a control assay, 100 μ l of LB broth and 100 μ l of *P. aeruginosa* TISTR 1287 (OD₆₀₀ = 0.5) were employed in a 96 well culture plate. After incubation, the kinetic data were acquired by utilizing a microplate reader (SPECTROstar[®] Nano, U.S.A) to track the change in absorbance at 600 nm for 7.5 hours at 30-minute intervals.

6. Biofilm prevention assay

The ability of phage to inhibit biofilm formation was tested by mixing phage suspensions of 10^8 PFU/well with 150 μ l aliquots of diluted *P. aeruginosa* 1287 culture in flat-bottomed polystyrene microtiter plate. The biofilms prevention test was performed with minimal modifications (Guo *et al.*, 2019). Briefly, an overnight culture of *P. aeruginosa* 1287 was diluted 1:100 with fresh TSB medium and incubated at 37°C for 4, 8, and 24 hours. TSB without phage was used as a control. The formation of biofilms was then assessed using crystal violet-stained biomass. For crystal violet (CV) staining, the plates were rinsed three times with 0.9 % NaCl solution. The biofilms were dyed with 220 μ l of 0.1 % CV solution for 10 minutes. They were washed three times with 0.9 % NaCl solution to remove the excessive CV, and dried in the air. To dissolve the bound CV, 220 μ l of 30% acetic acid was applied. The eluted stain was transferred to a new microtiter plate and the absorbance at 590 nm was measured. Three separate experiments were carried out. The T-test was employed to differentiate between significant differences.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Plaque of bacteriophages with *P. aeruginosa* TISTR 1287 as a host

The plaque characteristics of bacteriophages isolated from soil sample are shown in Figure 1. Single plaques had a round shape with a diameter of 3.51 ± 0.77 mm. (n = 17). Spot testing revealed a distinct cell lysis zone on the plaque, indicating the presence of an isolation phage specific to *P. aeruginosa* TISTR 1287 as the host. The

number of amplified phage using enrichment method increased the phage yield to 7.00×10^3 PFU/mL (data not shown). After 3 rounds of amplification and purification, isolated phage was named PAMFUP2. Bacteriophage can be found in almost any environment. A number of lytic phages against clinical *P. aeruginosa* ATCC PAO strain were isolated from sewage at Ilam University of Medical Sciences (Azizian *et al.*, 2015). Phee *et al.* (2013) identified 80 phages from *P. aeruginosa* environmental and clinical sources. There are 2 phages named JBD4 and JBD44a

isolated from *P. aeruginosa* ATCC15524 and *P. aeruginosa* ENV110BP, respectively. According to our findings, there is a reforestation area in which lytic phages could be isolated. The phage PAMFUP2 was successfully isolated from soil samples collected from reforestation area at Mae Fah Luang University's in Thailand using the enrichment method. This is the first time a *P. aeruginosa* TISTR 1287 lytic phage isolated from an uncontaminated environment has been reported.



Figure 1 Single clear plaques of isolated phage PAMFUP2 after amplification.

2. Stability of phage PAMFUP2 under various temperature and pH

Thermal stability study shows that phage PAMFUP2 could survive at various temperatures (Figure 2). Phage PAMFUP2 showed high stability at 4 to 60°C temperatures. A few phage PAMFUP2 particles could survive at 70°C. However, no survival phage was observed when phages were incubated at 80 and 100°C temperatures. The phage PAMFUP2 has the same temperature tolerance range as other members of the same family. It can survive at temperatures ranging from 4 to 60°C, with fewer than 20% surviving at 70°C. In comparison, phage vB PaeM SCUT-S1 has a greater proportion of survivors at 70°C (Guo *et al.*, 2019).

Infectivity of the phage PAMFUP2 maintained at pH 3.0 to 12.0 is shown in Figure 3. The phage PAMFUP2 had a poor infectivity when it was incubated at pH 3.0. Only about a quarter of the phages survive. From pH 5.0 to 11.0, it is fairly stable. There is a relative survival of more than 70%. There were no plaques found at pH 1.0, 2.0, 13.0 and 14.0, indicating that they were completely inactive. Phage PAMFUP2 is acid sensitive when compared to phage MA1 (Adnan *et al.*, 2020), which can live at pH 3.0. This phage PAMFUP2 is basic and able to withstand pH = 12.0, whereas other phages, such as vB PaeM SCUT-S1 and vB PaeM SCUT-S2, demonstrated lower resistance to basic solution. They can withstand a maximum pH of 11.0 (Guo *et al.*, 2019).

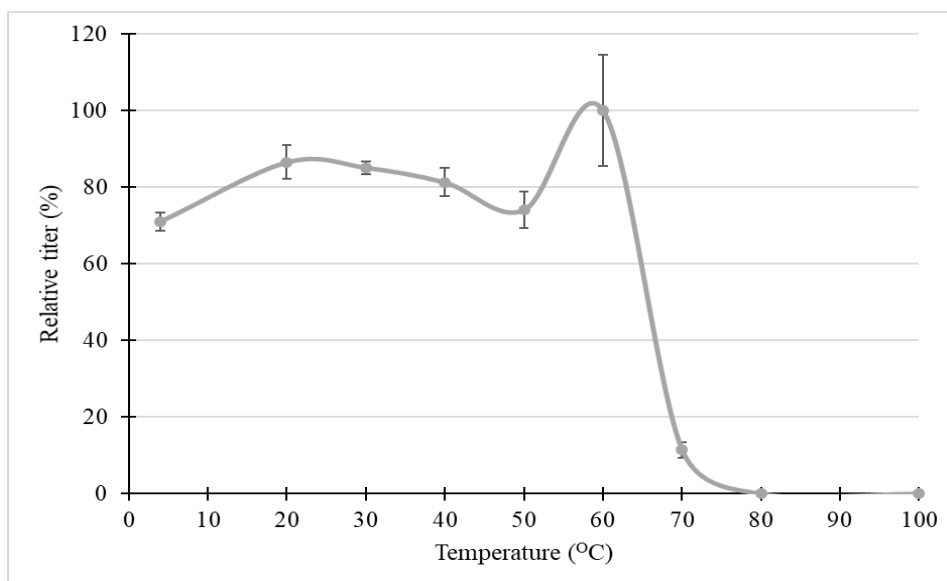


Figure 2 The relative number of infectious PAMFUP2 phage particles after incubating at 4, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100°C temperatures for 1 hour.

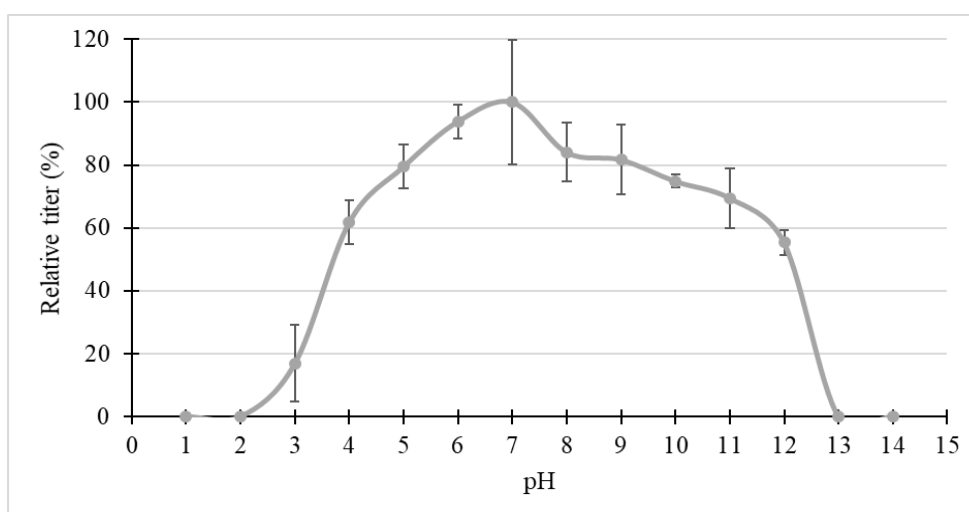


Figure 3 The relative number of infectious PAMFUP2 phage particles after incubating at various pH values (1.0 to 14.0) for 1 hour.

3. Morphology of phage

According to electron microscopic imaging in Figure 4, phages PAMFUP2 particle exhibited icosahedral heads and contractile tails, indicating that it belonged to the order *Caudovirales* and the *Myoviridae* family. Phage PAMFUP2 particle consisted of 57.75 ± 3.66 nm in width and 60.51 ± 2.74 nm in height of icosahedral head with a contractile tail of 124.00 ± 5.50 nm in length and 17.64 ± 1.60 nm in width, respectively. Our report resembles that of Guo *et al.* (2019) using *P. aeruginosa* PA01 as a host,

and 12 virulent phages were recovered from a water sample in Guangzhou, China. There are only 2 different phages named vB_PaeM_SCUT-S1 and vB_PaeM_SCUT-S2. These phage structure revealed from TEM photograph with icosahedral head with contractile tail. They are belong to *Myoviridae* family (Guo *et al.*, 2019).

Olszak *et al.* (2015) reported 28 found phages using 18 strains of *P. aeruginosa* as hosts and there are 2 strongest lytic activities named PA5OCT and KT28. Phage PA5OCT morphological features studied revealed that

it belongs to order *Caudovirales* and the *Myoviridae* family. In addition, Forti *et al.* (2018) reported all 23 isolated phages belong to the order *Caudovirales* that can lyse *P. aeruginosa*. Adnan *et al.* (2020) isolated phage MA-1 from wastewater using *P. aeruginosa* 2949 as a host. Phage MA-1 structure belongs to *Myoviridae* family. This lytic phage produced clear plaques against susceptible bacteria having well defined boundaries. These plaques were ranging in diameter from 1.5 to 3.0

mm. The size of the clear cell lysis plaques generated by phage PAMFUP2 is comparable to that of MA-1. The phage PAMFUP2's morphology was found to be very distinct from that of other isolated phages. Phage PAMFUP2 has a smaller icosahedral head and a shorter tail size than phages PA5OCT (Olszak *et al.*, 2015), E215, E217 (Forti *et al.*, 2018), MA-1 (Adnan *et al.*, 2020), vB PaeM SCUT-S1 and vB PaeM SCUT-S2 (Guo *et al.*, 2019), which are all members of the *Myoviridae* family and Order *Caudovirales*.

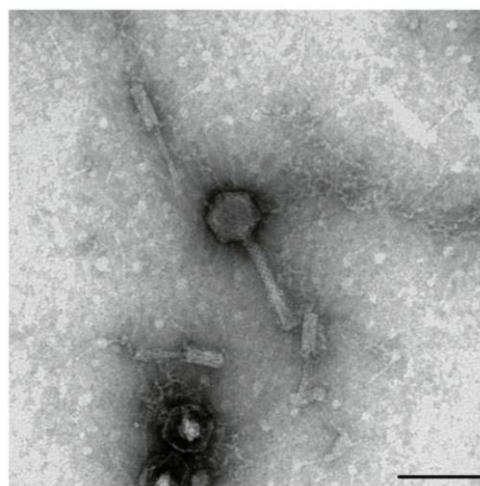


Figure 4 Image of negative stained phage PAMFUP2 particle using 2% (w/v) uranyl acetate. Phage particle was visualized under a Transmission Electron Microscopy operating at a voltage of 80 kV (scale bar = 100 nm).

4. The specificity of phage PAMFUP2

Phage PAMFUP2 only caused selective lysis on *P. aeruginosa* TISTR 1287 and *P. aeruginosa* TISTR 357 (Table 1). However, it could marginally lyse two strains of *P. aeruginosa* TISTR 37186 and *P. aeruginosa* TISTR 1101, whereas there was no activity observed against the other strains used in this study. According to these data, phage PAMFUP2 had a high-specific phage based on its host range. It has been reported that the other specificity of phages vB PaeM SCUT-S1 and vB PaeM SCUT-S2 showed selective lysis on *P. aeruginosa* strains ATCC 15442, ATCC 27853, PAO1, PALWL1.001, PALWL1.002 and PALWL1.003. Both phages did not display a distinct lysis zone with *Stenotrophomonas maltophilia* ATCC 51331 (Guo *et al.*, 2019). Bacteriophage vB

PaeM LS1 could infect all *P. aeruginosa* strains 0212, 0205, 1-1, 5-1-1, 5-2-1, DLB1 and DLG isolated from mink and *P. aeruginosa* strains PA01, DY-1, DY-2, DY-5, DY-6, DY-9, DY-10, DY-11, DY-12, DY-13, DY-14 and DY-15 isolated from human (Yuan *et al.*, 2019). Adnan *et al.* (2020) reported that the MA-1 phage has a moderate *P. aeruginosa* host range (6/20), which makes it comparable to this result.

Table 1 Host range analysis of bacteriophage PAMFUP2 against different *P. aeruginosa* strains and other bacterial strain

Bacterial species	Strains	Specificity of Phage PAMFUP2
<i>P. aeruginosa</i>	TISTR 1287	+
	DMST 37186	T
	TISTR 357	+
	TISTR 781	-
	TISTR 1101	T
<i>Escherichia coli</i>	TG1	-
	TISTR 527	-
	TISTR 780	-
<i>Bacillus cereus</i>	ATCC 11778	-
	TISTR 687	-
<i>Enterobacter aerogenes</i>	TISTR 1540	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	TISTR 746	-
<i>Salmonella typhimurium</i>	TISTR 1470	-
	TISTR 2519	-

Remark: "+" a clear lysis zone; "T" a turbid lysis zone; "-" no lysis.

5. Lysis kinetics

The growth curves of *P. aeruginosa* TISTR 1287 infected with various MOI phages PAMFUP2 are shown in Figure 5. The result showed that phage PAMFUP2 could control the number of *P. aeruginosa* TISTR 1287 in 60 minutes and continued to limit the growth of *P. aeruginosa* TISTR 1287 up to 450 minutes. Only single time phage addition could control *P. aeruginosa* TISTR 1287 up to 7 hours. The

phage PAMFUP2 takes shorter time to suppress and reduce the number of bacterial host *P. aeruginosa* TISTR 1287 as compared to the phage vB PaeM SCUT-S1 and vB PaeM SCUT-S2 (Guo *et al.*, 2019). They reported that these 2 phages inhibited bacterial host *P. aeruginosa* PA01 growth after 3.5 hours of incubation. Therefore, the host cell lysis becomes inefficient after 12 hours of culture.

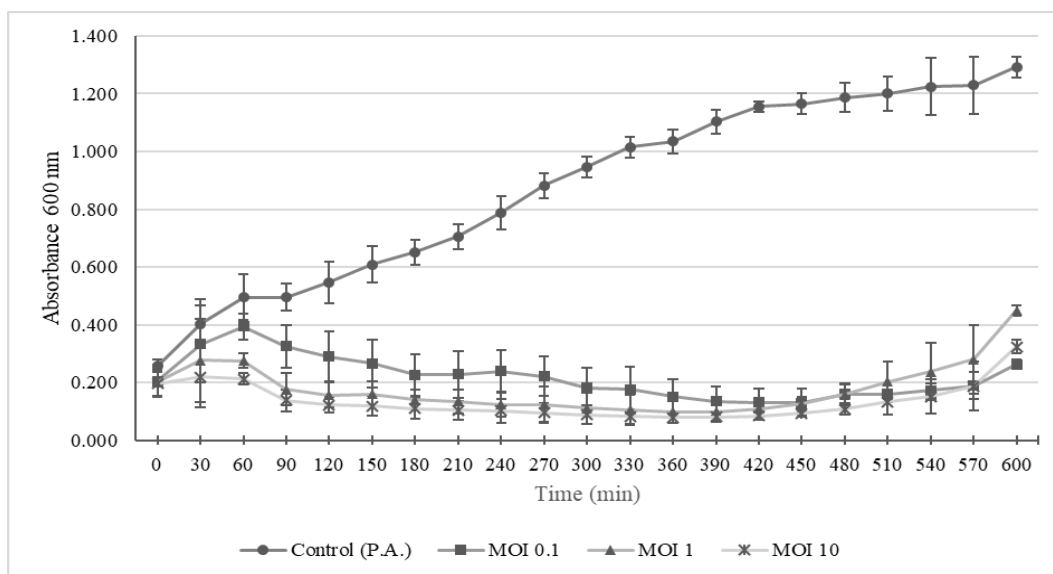


Figure 5 Lysis kinetic of phage PAMFUP2 against the growth of *P. aeruginosa* TISTR 1287. Bacterial growth was monitored at different multiplicity of infection (MOI) of 0.1, 1 and 10 for 10 hours. (P.A. is *P. aeruginosa* TISTR 1287)

6. Biofilm inhibition assay

Figure 6 shows the ability of phage PAMFUP2 to inhibit biofilm formation of *P. aeruginosa* TISTR 1287. Phage PAMFUP2 demonstrated significant limited biofilm formation at 8 ($P < 0.01$) and 24 hours ($P < 0.001$) incubation, whereas biofilm biomass was not significant at 4 hours incubation. Phage PAMFUP2 not only inhibited *P. aeruginosa* TISTR 1287 growth (Figure 5), but also inhibited biofilm formation. These finding results were similar to those of phages MA-1 (Adnan *et al.*, 2020), vB PAeM LS1 (Yuan *et al.*, 2019), JBD4, and JBD44a (Phee *et al.*, 2013). In our results, the lysis kinetics discovered that the phage PAMFUP2 could kill *P. aeruginosa* TISTR 1287 for up to 7 hours without adding new phage particles (Figure 5). The phage PAMFUP2 had effectively suppressed planktonic cell growth for 7 hours of treatment and exhibited good results in preventing biofilm development (Figure 6 and 7).

Other in vitro tests reported that virulent phage vB PAeM LS1 which was isolated from local hospital sewage had significantly reduced biofilm formation of lung-infected *P. aeruginosa* DGL strain after 8 hours of treatment (Yuan *et al.*, 2019). Moreover, phages JBD4 and JBD44a showed in vitro biofilm inhibition on *P. aeruginosa* strain UCBPP-PA14 (PA14) after 24 and 96 hours of treatment (Phee *et al.*, 2013). Adnan *et al.* (2020) also reported that of phage MA-1 could inhibit *P. aeruginosa* 2949 growth and biofilm formation at 24, 48, and 74 hours. Similar to these finding, phage PAMFUP2 was able to inhibit biofilm formation after incubation of *P. aeruginosa* TISTR 1287 and phage PAMFUP2 for 24 hours (Figure 6). All of these characteristics suggest that phage PAMFUP2 could be an alternative treatment for eliminating *P. aeruginosa* TISTR 1287.

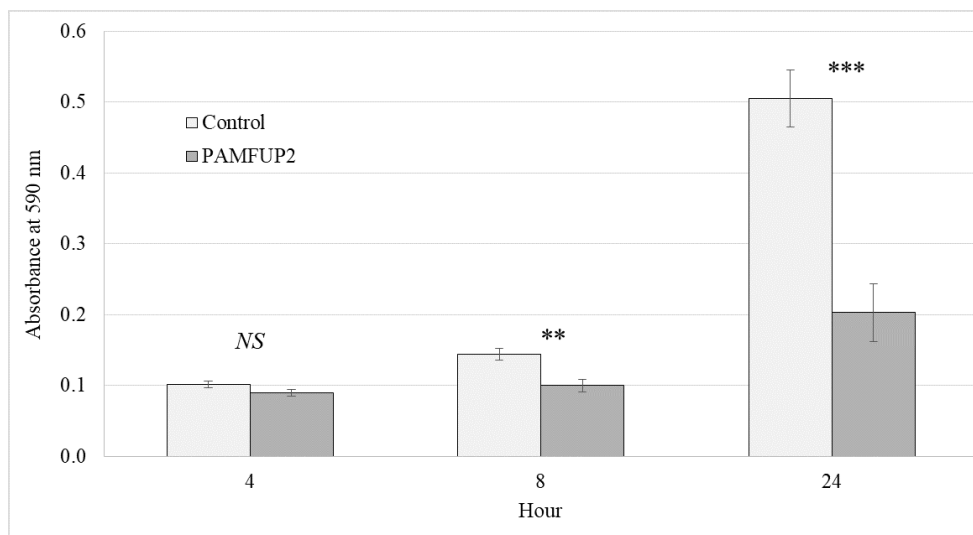


Figure 6 Effect of phage treatment on biofilms formation over 24 hours. Crystal violet staining is used to assess biomass. Lighter bars indicated *P. aeruginosa* TISTR 1287 (control) and dark bars showed co-culture of *P. aeruginosa* TISTR 1287 with 10^9 PFU/mL phage PAMFUP2. (NS = Non-significant difference, ** = Significant difference ($P < 0.01$), and *** = Significant difference ($P < 0.001$).



Figure 7 As a surrogate for biofilm growth, the absorbance (optical density) of dissolved crystal violet was measured at 590 nm. *P. aeruginosa* TISTR 1287 was compared to *P. aeruginosa* TISTR 1287 incubated with phage PAMFUP2 for 24 hours.

CONCLUSION

Phage PAMFUP2 had ability to inhibit biofilm formation of *P. aeruginosa* TISTR 1287 growth in vitro. The infectivity property could be maintained at pH 3 to 12 and 4 to 70 °C temperatures.

SUGGESTIONS

The lysis kinetic will be prolonged for a longer period. The phage cocktail should be investigated further to broaden the scope of phage treatment applications. In the hereafter, the capacity of the phage to kill additional clinical strains of *P. aeruginosa* will be studied. Furthermore, the genome of a phage that has been isolated will be studied.

ACKNOWLEDGEMENT

Mae Fah Luang University provided funding for this research (Grant No. 631B01016). The *P. aeruginosa* TISTR1287, *Escherichia coli* TISTR527, TISTR780, *Bacillus cereus* ATCC11778, TISTR687, *Enterobacter aerogenes* TISTR1540, *Staphylococcus aureus* TISTR746, *Salmonella typhimurium* TISTR1470, and TISTR2519 were kindly provided by Mae Fah Luang University's Scientific & Technological Instruments Center. Molecular Biotechnology Laboratory" (MY Lab) at Suranaree University of Technology, Thailand generously assisted with the specificity against *Escherichia coli* TG1, *P. aeruginosa* TISTR 1287, DMST 37186, TISTR 357, TISTR 781 and TISTR 1101

REFERENCES

- Adnan, M., Ali Shah, M.R., Jamal, M., Jalil, F., Andleeb, S., Nawaz, M.A., Pervez, S., Hussain, T., Shah, I., Imran, M. and Kamil, A. 2020. Isolation and characterization of bacteriophage to control multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* planktonic cells and biofilm. **Biologicals** 63: 89-96.
- Azizian, R., Nasser, A., Askari, H., Taheri Kalani, M., Sadeghifard, N., Pakzad, I., Amini, R., Mozaffari Nejad, A.S. and Azizi Jalilian, F. 2015. Sewage as a rich source of phage study against *Pseudomonas aeruginosa* PAO. **Biologicals** 43(4): 238-241.
- Casto, A., Hurwitz, A., Kou, K., Casto, A., Hurwitz, A., Kou, K., Mansour, G., Mayzel, A., Policke, R., Schmidt, A., Shartel, R., Smith, O., Snyder, A. and Woolf, A. 2016. Bacteriophages: The Answer to Antibiotic Resistance? **James Madison Undergraduate Research Journal** 3(1): 36-41.
- Clokier, M.R.J., Millard, A.D., Letarov, A.V. and Heaphy, S. 2011. Phages in nature. **Bacteriophage** 1(1): 31-45.
- Dong, Z., Xing, S., Liu, J., Tang, X., Ruan, L., Sun, M., Tong, Y. and Peng, D. 2018. Isolation and characterization of a novel phage Xoo-sp2 that infects *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. **Journal of General Virology** 99(10): 1453-1462.
- Dufour, N., Debarbieux, L., Fromentin, M. and Ricard, J.D. 2015. Treatment of Highly Virulent Extraintestinal Pathogenic *Escherichia coli* Pneumonia with Bacteriophages. **Critical Care Medicine** 43(6): e190-e198.
- Forti, F., Roach, D.R., Cafora, M., Pasini, M.E., Horner, D.S., Fiscarelli, E.V., Rossitto, M., Cariani, L., Briani, F., Debarbieux, L. and Ghisotti, D. 2018. Design of a broad-range bacteriophage cocktail that reduces *Pseudomonas aeruginosa* biofilms and treats acute infections in two animal models. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy** 62(6): 1-13.
- Guo, Y., Chen, P., Lin, Z. and Wang, T. 2019. Characterization of two *Pseudomonas aeruginosa* viruses vB_PaeM_SCUT-S1 and vB_PaeM_SCUT-S2. **Viruses** 11(4): 1-19.
- Hemalata, V.B., Oli, A.K. and Virupakshaiah, D.B.M. 2020. Evaluating of phage as bio-control agent in enumeration of food borne pathogenic *Pseudomonas aeruginosa*. **Journal of Pure and Applied Microbiology** 14(3): 2115-2128.
- Hirsch, E.B. and Tam, V.H. 2010. Impact of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* infection on patient outcomes. **Expert Review of Pharmacoeconomics and Outcomes Research** 10(4): 441-451.
- Hungaro, H.M., Mendonça, R.C.S., Gouvêa, D.M., Vanetti, M.C.D. and Pinto, C.L. de O. 2013. Use of bacteriophages to reduce *Salmonella* in chicken skin in comparison with chemical agents. **Food Research International** 52(1): 75-81.
- Lindberg, A.A. 1973. Bacteriophage Receptors. **Annual Review of Microbiology** 27(1): 205-241.
- Livermore, D.M. 2002. Multiple mechanisms of antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: Our worst nightmare? **Clinical Infectious Diseases** 34(5): 634-640.
- Loc-Carrillo, C. and Abedon, S.T. 2011. Pros and cons of phage therapy. **Bacteriophage** 1(2): 111-114.
- Ofir, G. and Sorek, R. 2018. Contemporary Phage Biology: From Classic Models to New Insights. **Cell** 172(6): 1260-1270.
- Olszak, T., Zarnowiec, P., Kaca, W., Danis-Wlodarczyk, K., Augustyniak, D., Drevinek, P., de Soyza, A., McClean, S. and Drulis-Kawa, Z. 2015. In vitro and in vivo antibacterial activity of environmental bacteriophages against *Pseudomonas aeruginosa* strains from cystic fibrosis patients. **Applied Microbiology and Biotechnology** 99(14): 6021-6033.
- Phee, A., Bondy-Denomy, J., Kishen, A., Basrani, B., Azarpazhooh, A. and Maxwell,

- K. 2013. Efficacy of bacteriophage treatment on *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. **Journal of Endodontics** 39(3): 364-369.
- Reyneke, B., Khan, S., Fernández-Ibáñez, P. and Khan, W. 2020. *Podoviridae* bacteriophage for the biocontrol of *Pseudomonas aeruginosa* in rainwater. Environmental Science: **Water Research & Technology** 6(1): 87-102.
- Rohde, C., Resch, G., Pirnay, J.P., Blasdel, B.G., Debarbieux, L., Gelman, D., Górski, A., Hazan, R., Huys, I., Kakabadze, E., Łobocka, M., Maestri, A., Almeida, G.M.D.F., Makalatia, K., Malik, D.J., Mašláňová, I., Merabishvili, M., Pantucek, R., Rose, T. and Chanishvili, N. 2018. Expert opinion on three phage therapy related topics: Bacterial phage resistance, phage training and prophages in bacterial production strains. **Viruses** 10(4): 1-15.
- Santajit, S., Indrawattana, N., Bale, J.S., Van Lenteren, J.C., Bigler, F., Ofir, G., Sorek, R., Гришин, А.В., Карягина, А.С., Hungaro, H.M., Mendonça, R.C.S., Gouvêa, D.M., Vanetti, M.C.D., Pinto, C.L.de.O., Livermore, D.M., Loc-Carrillo, C., Abedon, S.T., Hirsch, E.B., Tam, V.H. and Heaphy, S. 2011. Treatment of highly virulent extraintestinal pathogenic *Escherichia coli* pneumonia with bacteriophages. **Bacteriophage** 1(1): 761-776.
- Wu, M. and Li, X. 2015. *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa*, pp.1547-1564. In J.S. Tang, Y-W., Sussman, M., Liu, D., Poxton, I., and Schwartzman, J. eds. **Molecular Medical Microbiology: Second Edition**. Academic Press, New York.
- Yuan, Y., Qu, K., Tan, D., Li, X., Wang, L., Cong, C., Xiu, Z. and Xu, Y. 2019. Isolation and characterization of a bacteriophage and its potential to disrupt multi-drug resistant *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. **Microbial Pathogenesis** 128: 329-336.

การแยกและคัดเลือแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคในข้าว

Isolation and Screening of Antagonistic Bacteria for Inhibition of Pathogenic Fungi in Rice

วาสนา เนียมแสง *

Wasana Naiumsawang *

Received: 8 November 2021, Revised: 10 October 2022, Accepted: 25 October 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและคัดเลือกแบคทีเรียจากดินในนาข้าวที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้สูงสุดและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้ง โดยเก็บตัวอย่างดิน 10 แหล่ง ในพื้นที่อำเภอบางเลน ได้แก่ ตำบลลำพญา บางไทรป่า นิลเพชร ไทรงาม และบัวปากท่า มาทำการ cross streak บนอาหาร Tryptic soy agar (TSA) พบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียได้ 112 ไอโซเลท นำมาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราที่ก่อโรคในข้าวเบื้องต้นโดยวิธี dual culture บนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน พบว่ามี 3 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท N5-5 G4-1 และ G5-5 ที่ยับยั้ง *Rhizoctonia solani* ได้ และมี 4 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท N1-1 N5-5 G4-1 และ G5-5 ที่ยับยั้ง *Bipolaris oryzae* ได้ ส่วน *Pyricularia grisea* ไม่มีไอโซเลทใดที่ยับยั้งได้ การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้สูงสุดโดยเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร Nutrient broth (NB) นาน 18 ชั่วโมง ปรับความขุ่นเซลล์ที่ OD 600 nm เท่ากับ 0.5 (10^8 cell/ml) เติมห่วงเชื้อ 1% ในอาหาร NB บ่มอุณหภูมิห้อง (25-30°C) อัตราเขย่า 200 rpm นาน 48 ชั่วโมง ปั่นแยกเซลล์ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง 12,000 rpm ที่ 4°C เป็นเวลา 2 นาที นำส่วนใสผสมในอาหาร PDA ที่อัตราส่วน 2:18 เมื่ออาหารแข็งตัวจึงนำไปทดสอบ พบว่า ไอโซเลท G4-1 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *R. solani* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 54.29% อยู่ในระดับปานกลาง และไอโซเลท N5-5 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *B. oryzae* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 55.55% อยู่ในระดับปานกลาง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งโดยเลี้ยงในอาหาร NB ที่มี pH 3 5 7 และ 9 อุณหภูมิ 25 30 35 และ 40°C อัตราเขย่า 200 rpm นาน 48 ชั่วโมง ปั่นแยกเซลล์ออกแล้วนำส่วนใสไปทดสอบ พบว่า ไอโซเลท G5-5 เลี้ยงในอาหาร NB ค่า pH 5 อุณหภูมิ 25°C นาน 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *R. solani* และ *B. oryzae* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 85.33 และ 66.94% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก และเมื่อนำไอโซเลท G5-5 มาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างแท่ง มีการจัดเรียงตัวของเซลล์เดี่ยวและต่อกันเป็นสาย มีการสร้างเอนโดสปอร์ จึงคาดว่าเป็นแบคทีเรียสกุล *Bacillus*

สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

Microbiology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Mueang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): wasana@webmail.npru.ac.th Tel: 08 1701 8292

คำสำคัญ: แบคทีเรียปฏิปักษ์, เชื้อรา *Rhizoctonia solani*, เชื้อรา *Bipolaris oryzae*, เชื้อรา *Pyricularia grisea*

ABSTRACT

This study aims to isolate soil bacteria from rice fields and to determine antifungal activity of the isolates. Ten soil samples were collected in Bang Len district areas: Lam Pa Ya, Bang Sai Pa, Nil Phet, Sai Ngam and Bua Pak Tha subdistricts, and were cross streaked on Tryptic soy agar (TSA) medium. A total of 112 bacteria was isolated. Dual-culture antagonistic tests were conducted for all bacterial isolates against rice pathogenic fungi on PDA medium at 28°C for 5 days. The findings showed that only 3 isolates, namely N5-5, G4-1 and G5-5, had antifungal activities against *Rhizoctonia solani*, and only 4 isolates, namely N1-1, N5-5, G4-1 and G5-5, had antifungal activities against *Bipolaris oryzae*. However, all isolates had no antifungal activity against *Pyricularia grisea*. Selected bacteria were cultured in nutrient broth medium for 18 hours, and cell turbidity was adjusted OD 600 nm to 0.5 (10^8 cell/ml), added 1% inoculum in NB medium and incubated at room temperature (25-30°C) at 200 rpm shaking rate for 48 hours. The cells were centrifuged at 12000 rpm at 4°C for 2 min. The supernatant was added to the PDA medium at a ratio of 2:18. The antifungal activities were measured as the mean colony diameter for growth inhibition. One of the isolates (G4-1) had a moderate level of antifungal activity against *R. solani* at 54.29%, whereas the isolated N5-5 had the moderate level of antifungal activity against *B. oryzae* at 55.55%. Next, the optimization of antifungal production was studied in an NB medium at pH 3, 5, 7 and 9, respectively, and shaken at 200 rpm at 25, 30, 35 and 40°C for 48 hours. Results demonstrated that the isolated G5-5 cultured at pH 5 and 25°C had a very high level of antifungal activity against *R. solani* at 85.33% and *B. oryzae* at 66.94%. The morphological study of antagonistic bacteria G5-5 showed that it was a gram-positive rod with single and linear cell arrangement and endospore development. Therefore, we suggest that the antagonistic bacterium belongs to the genus *Bacillus*.

Key words: antagonistic bacteria, *Rhizoctonia solani*, *Bipolaris oryzae*, *Pyricularia grisea*

บทนำ

ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ไทย พบว่า การส่งออกข้าวในเดือนกันยายน 2564 มีการส่งออกข้าวขาวปริมาณ 313,446 ตัน เพิ่มขึ้น 14.2% เมื่อเทียบกับเดือนก่อน โดยส่วนใหญ่ส่งไปยังตลาดจีน อีรัก มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ สาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก โมซัมบิก แองโกล่า เป็นต้น ข้อมูลของกรมศุลกากรรายงานการส่งออก

ข้าวในช่วงเดือนมกราคมถึงกันยายน 2564 มีปริมาณ 3,817,284 ตัน มูลค่า 69,552 ล้านบาท (2,235.9 ล้านบาท หรือสหรัฐฯ) โดยปริมาณส่งออกลดลง 6.6% และมูลค่าลดลง 18.3% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2563 ที่มีการส่งออกปริมาณ 4,087,004 ตัน มูลค่า 85,153 ล้านบาท (2,724.2 ล้านบาท หรือสหรัฐฯ) (Thai rice exporters association, 2021) พื้นที่จังหวัดนครปฐมที่มีการทำนาปลูกข้าวมากที่สุด คือ อำเภอบางแพ

บางเลนมีพื้นที่ทำนาปลูกข้าวทั้งหมด 357,589 ไร่ ความเป็นพื้นที่ที่มีปัจจัยด้านการผลิตขั้นพื้นฐานที่สมบูรณ์สามารถทำนาได้ตลอดปี จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้เกษตรกรมีการทำนาปลูกข้าวโดยเน้นด้านปริมาณผลผลิตเป็นสำคัญ จึงมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิต เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และสารเคมีชนิดต่าง ๆ เป็นต้น (Bunpiak *et al.*, 2019) การป้องกันกำจัดโรคข้าวยังคงใช้สารเคมีอยู่เนื่องมาเป็นพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่จึงเป็นวิธีที่สะดวกต่อการควบคุมโรคแต่การใช้สารเคมีที่ไม่ถูกวิธี ได้แก่ การใช้สารที่ไม่เหมาะสมต่อสกุล (genus) ของเชื้อโรค และ การใช้สารแบบดูดซึมที่มีสารออกฤทธิ์ (active ingredient) เพียงชนิดเดียวต่อเนื่องเป็นเวลานานจะทำให้เชื้อเกิดการดื้อยา สาเหตุเหล่านี้ทำให้ไม่สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้ (Wongcharoen, 2013) และเพื่อมุ่งเน้นด้านปริมาณผลผลิตเป็นสำคัญอีกประการหนึ่งคือ เกษตรกรมักปลูกข้าวเป็นแบบนาหว่าน ทำให้ต้นข้าวอยู่ชิดติดกัน เบียดกันแน่น ส่งผลให้เชื้อราฉวยโอกาสเจริญได้ดี และทำให้เกิดโรคในข้าวขึ้นได้ เช่น โรคใบไหม้ (Rice Blast Disease) มีสาเหตุจาก *Pyricularia grisea* โรคกาบใบแห้ง (Sheath blight Disease) มีสาเหตุจาก *Rhizoctonia solani* และโรคใบจุดสีน้ำตาล (Brown Spot Disease) มีสาเหตุจาก *Bipolaris oryzae* ที่ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพของข้าวที่ได้ลดต่ำลง

ปัจจุบันการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี เป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการโรคพืชแบบผสมผสาน เนื่องจากเป็นวิธีที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้จุลินทรีย์เพื่อควบคุมศัตรูพืชไม่ให้เพิ่มปริมาณมากจนถึงระดับที่พืชเสียหาย และให้มีอยู่ในแปลงในปริมาณจะสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของศัตรูพืชในการควบคุมปริมาณศัตรูพืชไม่ให้ระบาด ซึ่งการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธีมีหลากหลายชนิด ได้แก่ การใช้แบคทีเรีย

ปฏิบัณในการควบคุมเชื้อรา *R. solani* ที่ก่อโรคกาบใบไหม้ในข้าวโพด (Pattanawipas *et al.*, 2011) การใช้แบคทีเรียปฏิบัณ *Bacillus megaterium* สายพันธุ์ No.16 ควบคุมโรคกาบใบแห้งในข้าวพันธุ์ กข 6 สาเหตุจากเชื้อรา *R. solani* (Thapanaphongworakul and Saimongkol, 2015) ดังนั้น การควบคุมโรคพืชโดยการใช้จุลินทรีย์ปฏิบัณ จึงเป็นวิธีการที่น่าผลจากการปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งตามปกติจะมีการควบคุมปริมาณของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ด้วยกันเองอยู่แล้ว (Nochai and Srichuwong, 2007) ซึ่งวิธีการนี้ถือว่าเป็นที่ยอมรับและเป็นวิธีที่มีโอกาสสูงเพื่อนำไปเป็นกลยุทธ์ในการป้องกันกำจัดโรคจุลินทรีย์ปฏิบัณที่นำมาใช้ในการควบคุมโรคพืชด้วยวิธีชีวภาพนี้มีกลไกการควบคุมหรือยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคใน 4 ลักษณะ คือ การแข่งขัน การทำลายชีวิตหรือปฏิชีวนะ การเป็นปรสิต และการชักนำให้เกิดความต้านทานโรค โดยเฉพาะกลไกการทำลายชีวิตหรือปฏิชีวนะเป็นกลไกที่เชื้อปฏิบัณสามารถผลิตสารปฏิชีวนะที่มีคุณสมบัติยับยั้งหรือทำลายเชื้อโรคได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการคัดแยกแบคทีเรียจากดินที่มีคุณสมบัติในการสร้างสารยับยั้งเชื้อราที่ก่อโรคในนาข้าว และแบคทีเรียคัดแยกได้นี้จัดเป็นจุลินทรีย์ท้องถิ่นบนพื้นที่การปลูกข้าวของเกษตรกรในพื้นที่ของจังหวัดนครปฐม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในนาข้าวจากแปลงเกษตรกรที่ไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช จำนวน 10 แหล่ง (ตารางที่ 1) โดยการเก็บตัวอย่างดินบริเวณผิวดินที่มีความลึกประมาณ 1-2 เซนติเมตร ตักตัวอย่างดินลงในถุงพลาสติก นำดิน 10 กรัม มาทำการเจือจางในสารละลาย 0.85% NaCl เลือกระดับความเจือจางที่เหมาะสมมาเกลี่ยลงบนอาหาร Tryptic

soy agar (TSA) บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25-30°C) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเลือกโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกันมา cross streak ให้บริสุทธิ์ (Petsuriyawong *et al.*, 2012) จากนั้นนำเชื้อที่คัดแยกได้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แบคทีเรียในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อโรคในนาข้าวเบื้องต้น โดยวิธี Dual culture

2.1 การเตรียมเชื้อราที่ก่อโรคในนาข้าว ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร โดยเลี้ยงเชื้อรา *P. grisea*, *R. solani* และ *B. oryzae* บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25 - 30°C) ให้มีอายุ 5 วัน หรือจนกระทั่งเชื้อเจริญเต็มจานเพาะเลี้ยงเชื้อ

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา โดยใช้ Loop และแบคทีเรียที่มีอายุ 18 - 24 ชั่วโมง จัดเป็นเส้นตรง ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ขนานกันกับเชื้อราที่ก่อโรคในนาข้าวที่เตรียมไว้โดยใช้ cork borer เบอร์ 2 ตัดเส้นใยเชื้อรารอบโคโลนี วางบนอาหาร PDA โดยมีระยะห่างประมาณ 2.5 เซนติเมตร บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน สำหรับวิธีเปรียบเทียบ (control) ใช้ Loop และน้ำกลั่นปลอดเชื้อแทนแบคทีเรียที่ทดสอบ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตรวจสอบผลโดยวัด inhibition zone แล้วคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย (Percent Inhibition of Radial Growth : PIRG) (Thaisuchart and Boonkon, 2014) ดังนี้

$$\text{PIRG} = \frac{(R1-R2) \times 100}{R1}$$

R1

R1 คือ รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารชุดควบคุม

R2 คือ รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารชุดทดสอบ

โดยประเมินประสิทธิภาพการยับยั้งจากค่า PIRG ดังนี้

> 75 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูงมาก

> 61-75 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูง

> 51-60 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับปานกลาง

< 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับต่ำ

จากนั้นคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. การทดสอบของสารเมตาบอไลต์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้นในการยับยั้งเชื้อราที่ก่อโรคในข้าว

ศึกษากิจกรรมของสารยับยั้งเชื้อราที่แบคทีเรียผลิตขึ้น โดยนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้จากการทดลองที่ 2 มาเลี้ยงในอาหาร NB เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปรึความขุ่นเซลล์ OD 600 nm เท่ากับ 0.5 (10^8 cell/ml) เดิมหัวเชื้อ 1% ในอาหาร NB บ่มที่

อุณหภูมิห้อง (25 - 30°C) อัตราเขย่า 200 rpm เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปั่นแยกเซลล์ออกจากเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 นาที นำส่วนใส (supernatant) โดยผสมส่วนใสในอาหาร PDA ในอัตราส่วน 2:18 มิลลิลิตร รอให้อาหารแข็งตัว (Tayuan *et al.*, 2016) และนำไปทดสอบการเจริญของเชื้อรา ซึ่งเตรียมได้โดยเลี้ยงเชื้อ

รบนอาหาร PDA เป็นเวลา 4 วัน ใช้ cork borer เบอร์ 2 ตัดเส้นใยเชื้อรารอบโคโลนี นำไปวางลงกึ่งกลางจานเพาะเชื้อ และใช้อาหาร PDA ที่ไม่มีส่วนผสมของสารยับยั้งเป็นตัวควบคุม บ่มที่อุณหภูมิ 28°C เป็นเวลา 5 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง จากนั้นคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้สูงสุดไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งของเชื้อแบคทีเรีย

เลี้ยงแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ในอาหาร NB บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25 - 30°C) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปรับความขุ่นเซลล์ OD 600 nm เท่ากับ 0.5 (10^8 cell/ml) เติมห้วเชื้อ 1% ในอาหาร NB ที่ปรับค่า pH 3 5 7 และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 40°C อัตราเขย่า 200 rpm เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปั่นแยกเซลล์ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 นาที นำส่วนใสมากรองด้วย Syringe Filters 0.22 μ m และทดสอบความสามารถในการผลิตสารยับยั้ง โดยผสมส่วนใสในอาหาร PDA ในอัตราส่วน 2:18 มิลลิลิตร รอให้อาหารแข็งตัว และนำไปทดสอบการเจริญของเชื้อรา ด้วยเทคนิค point inoculation เป็นเวลา 5 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นเลือกอุณหภูมิ และ pH ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งมากที่สุดจากเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราได้สูงสุด

5. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นของแบคทีเรียปฏิบัณ

นำแบคทีเรียปฏิบัณที่ยับยั้งเชื้อราก่อโรคได้สูงที่สุดมาทำการย้อมสีแบบแกรม และตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 1000 เท่า เพื่อศึกษารูปร่างและลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) พร้อมทั้งคำนวณค่าความถี่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 23

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเก็บตัวอย่างดิน และการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียในดิน

เก็บตัวอย่างดินในนาข้าว จำนวน 10 แหล่ง มาเจือจางในสารละลาย 0.85% NaCl เลือกระดับความเจือจางที่เหมาะสมมาเกลี่ยลงบนอาหาร TSA บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25-30°C) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเลือกโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกันมา cross streak ให้บริสุทธิ์ พบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียได้ 112 ไอโซเลท ดังตารางที่ 1 ซึ่งจุลินทรีย์สามารถพบได้โดยทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน น้ำและบริเวณรอบรากพืช โดยเฉพาะดินที่ทำการเกษตรในระบบเกษตรอินทรีย์ที่ไม่มีการปนเปื้อนจากปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืช น่าจะมีความหลากหลายของสายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ และทำให้ระบบนิเวศมีความสมดุลสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ดินบริเวณรากพืช โดยเฉพาะปัจจัยทางด้าน pH เนื้อดิน และปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งตัวอย่างดินที่นำมาคัดแยกเชื้อมีค่า pH ในช่วง 7.00-8.00 ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Pimsirikul *et al.* (2016) ที่ได้ศึกษาการตรวจหาจุลินทรีย์ในดินปลูกผัก ระบบเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ดินจากแปลงผักอินทรีย์ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีค่า pH เป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง

และตรวจพบปริมาณแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 7.381-7.695

2. ผลการทดสอบการเป็นแบคทีเรียปฏิปักษ์เบื้องต้น

เลี้ยงเชื้อรา *R. solani* บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 28°C เป็นเวลา 5 วัน หรือจนกระทั่งเชื้อราเจริญเต็มจานเพาะเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรค โดยวิธี dual culture พบว่า จากแบคทีเรียทั้งหมด 112 ไอโซเลท แต่มี 3 ไอโซเลท ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคได้ คือ ไอโซเลท N5-5 G4-1 และ G5-5 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 12.50, 40.00 และ 36.67% ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพการยับยั้งอยู่ในระดับต่ำ ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Thapanaphongworakul and Saimongkol (2015) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus megaterium* สายพันธุ์ No.16 ในการควบคุมโรคกาบใบแห้งของข้าวพันธุ์ กข6. นำราหลายไอโซเลทและแบคทีเรียปฏิปักษ์มาทดสอบบนอาหาร PDA โดยวิธี dual culture เป็นเวลา 4 วัน พบว่า แบคทีเรียปฏิปักษ์สามารถยับยั้งการเจริญของ

เชื้อรา *R. solani* แต่ละไอโซเลทได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา ไอโซเลท RSLPN-1, RSLPN-2, RSLPN-3 และ RLSPN-4 เท่ากับ 41.65, 26.78, 26.08 และ 42.35% ตามลำดับ และสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Montealegre *et al.* (2003) ที่ได้ทำการคัดเลือกแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อรา *R. solani* 618 (AG 4) ที่ก่อโรคในมะเขือเทศ พบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียในดินได้จำนวน 20 ไอโซเลท แต่มีเพียง 3 ไอโซเลท ที่แสดงคุณสมบัติการเป็นแบคทีเรียปฏิปักษ์ ได้แก่ ไอโซเลท 639 629 และ 640 โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง เท่ากับ 31.50 34.50 และ 34.67% ตามลำดับ และรายงานเป็นแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. ซึ่งการที่แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* sp. สามารถยับยั้งราก่อโรคเหล่านี้ได้เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. สามารถสร้างเอนไซม์ chitinase, glucanase และ cellulase ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้สามารถย่อยสลายสารที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยราจึงทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของราได้นั่นเอง (Tipsing *et al.*, 2019)

ตารางที่ 1 รหัสและจำนวนไอโซเลทของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากแหล่งดินต่าง ๆ ในพื้นที่อำเภอบางเลน

แหล่งที่มาของดิน	รหัสไอโซเลท	จำนวน (ไอโซเลท)
ลำพญา 1 (13°56'34.1"N 100°12'08.1"E)	L1-1, L1-2, L2-1, L2-2, L2-3, L2-4, L2-5, L2-6, L2-7, L2-8, L2-9, L2-10, L3-1	13
ลำพญา 2 (13°57'29.9"N 100°12'04.9"E)	L4-1, L4-2, L5-1, L5-2, L5-3, L5-4, L5-5, L5-6, L5-7, L6-1	10
บางไทรป่า 1 (14°02'56.9"N 100°11'37.9"E)	B1-1, B1-2, B1-3, B2-1, B2-2, B2-3, B2-4, B2-5, B2-6, B2-7, B2-8, B2-9, B2-10, B3-1, B3-2	15
บางไทรป่า 2 (14°03'12.7"N 100°11'45.2"E)	B4-1, B4-2, B5-1, B5-2, B5-3, B5-4, B5-5, B5-6, B5-7, B6-1	10
นิลเพชร 1 (14°07'23.1"N 100°13'59.6"E)	N1-1, N1-2, N1-3, N1-4, N2-1, N2-2, N2-3, N2-4, N2-5, N2-6, N2-7, N2-8, N2-9, N2-10, N3-1, N3-2	16

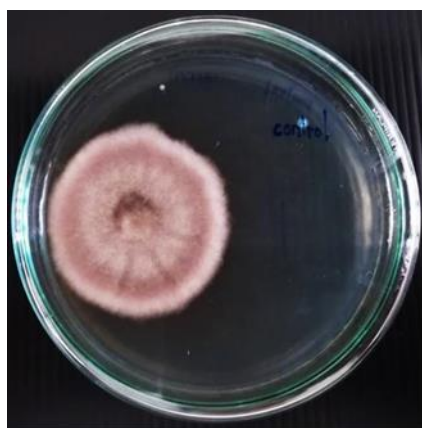
ตารางที่ 1 (ต่อ)

แหล่งที่มาของดิน	รหัสไอโซเลต	จำนวน (ไอโซเลต)
นิลเพชร 2 (14°07'43.2"N 100°14'31.3"E)	N4-1, N4-2, N4-3, N4-4, N4-5, N4-6, N5-1, N5-2, N5-3, N5-4, N5-5, N5-6, N5-7, N5-8, N5-9, N5-10, N5-11, N5-12, N5-13, N5-14, N6-1, N6-2, N6-3	23
ไทรงาม 1 (14°04'23.2"N 100°10'25.7"E)	G1-1, G1-2, G2-1, G2-2, G3-1	5
ไทรงาม 2 (14°05'00.9"N 100°12'05.3"E)	G4-1, G4-2, G5-1, G5-2, G5-3, G5-4, G5-5, G6-1	8
บัวปากท่า 1 (14°09'13.0"N 100°12'53.7"E)	P1-1, P1-2, P2-1, P2-2, P2-3, P2-4, P3-1	7
บัวปากท่า 2 (14°09'02.0"N 100°12'40.9"E)	P4-1, P4-2, P5-1, P5-2, P6-1	5
รวม		112

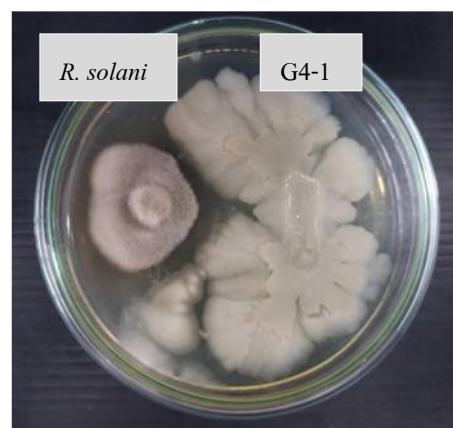
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *R. solani* บนอาหาร PDA บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน

รหัสไอโซเลต	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งโคโลนีของเชื้อ (%)	ประสิทธิภาพในการยับยั้ง
N5-5	12.50±0.02 ^a	ระดับต่ำ
G4-1	40.00±0.01 ^c	ระดับต่ำ
G5-5	36.67±0.02 ^b	ระดับต่ำ

หมายเหตุ ตัวอักษร a - c ที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) $n=3$



(a)



(b)

ภาพที่ 1 การยับยั้งเชื้อรา *R. solani* โดยไอโซเลต G4-1 บนอาหาร PDA บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน

(a) จานควบคุม (b) จานทดสอบ

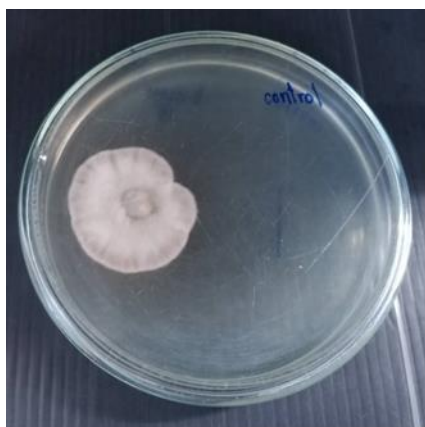
เลี้ยงเชื้อรา *B. oryzae* บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 28°C เป็นเวลา 5 วัน หรือจนกระทั่งเชื้อราเจริญเต็มจานเพาะเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรค โดยวิธี dual culture พบว่า จากแบคทีเรียทั้งหมด 112 ไอโซเลท แต่มี 4 ไอโซเลท ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคได้ คือ ไอโซเลท N1-1 N5-5 G4-1 และ G5-5 ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Rajasekar *et al.* (2019) ที่ได้ศึกษาคุณสมบัติการเป็น

แบคทีเรียปฏิปักษ์บริเวณผิวพืชที่อยู่เหนือดินกับเชื้อราโรคข้าว *B. oryzae* พบว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียได้ 20 ไอโซเลท ในจำนวนนี้ถูกระบุเป็น *B. subtilis* และ *P. fluorescence* โดยไอโซเลท PI (Bs) 5 มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราได้ดีที่สุดเท่ากับ 52.96% รองลงมาเป็น PI (Pf) 1, PI (Pf) 2 และ PI (Bs) 8 มีค่าเท่ากับ 52.59 52.22 และ 49.26% ตามลำดับ ส่วน PI (Bs) 9 และ PI (Pf) 17 มีประสิทธิภาพการยับยั้งต่ำสุด เท่ากับ 19.26 และ 19.63% ตามลำดับ

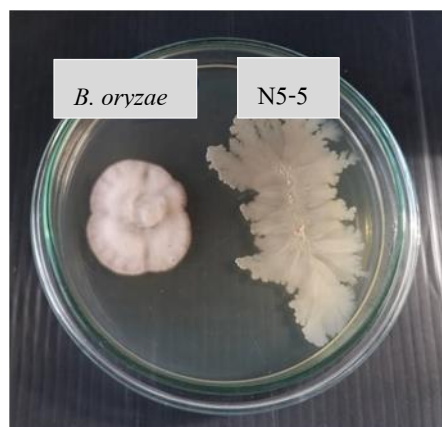
ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *B. oryzae* บนอาหาร PDA บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน

รหัสไอโซเลท	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งโคโลนีของเชื้อ (%)	ระดับการยับยั้ง
N1-1	3.00±0.01 ^a	ต่ำ
N5-5	48.67±0.03 ^d	ต่ำ
G4-1	32.46±0.03 ^b	ต่ำ
G5-5	46.60±0.01 ^c	ต่ำ

หมายเหตุ ตัวอักษร a - d ที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) n=3



(a)



(b)

ภาพที่ 2 การยับยั้งเชื้อรา *B. oryzae* โดยไอโซเลท N5-5 บนอาหาร PDA บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน

(a) จานควบคุม (b) จานทดสอบ

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *P. grisea* พบว่า แบคทีเรียทั้งหมดจำนวน 112 ไอโซเลท พบว่าไม่มีไอโซเลทใดเลยที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. grisea* ได้

3. ผลการทดสอบของสารเมตาบอไลต์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้นในการยับยั้งเชื้อราที่ก่อโรคในข้าว

เลี้ยงแบคทีเรียปฏิบัฏ์ในอาหาร NB บ่มอุณหภูมิห้อง (25-30°C) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปรับความขุ่นเซลล์ OD 600 nm เท่ากับ 0.5 เติมห้วเชื้อ 1% ในอาหาร NB บ่มอุณหภูมิห้อง (25-30°C) อัตราเขย่า 200 rpm เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปั่นแยกเซลล์ออกจากด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 rpm อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 นาที นำส่วนใสผสมอาหาร PDA พบว่า แบคทีเรียไอโซเลท G4-1 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. solani* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 54.29% อยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาเป็นแบคทีเรียไอโซเลท N5-5 และ G5-5 มีค่าเท่ากับ 48.57 และ 42.86% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Donmez *et al.* (2015) ที่ได้คัดแยกแบคทีเรียจากดินบริเวณใต้ต้นชาในเขตทะเลดำของ

ประเทศตุรกีเพื่อควบคุมเชื้อรา *R. solani* พบว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียได้ทั้งหมด 73 ไอโซเลท ในจำนวนนี้เป็นแบคทีเรียปฏิบัฏ์ 15 ไอโซเลท โดยมีโซนการยับยั้งเชื้อราตั้งแต่ 0.20 - 2.30 cm และมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง การเจริญของเส้นใยเชื้อราในช่วง 12-83% และเมื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* พบว่าแบคทีเรียไอโซเลท N5-5 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 55.55% อยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาเป็นแบคทีเรียไอโซเลท G4-1 และ G5-5 มีค่าเท่ากับ 44.44% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราอยู่ในระดับต่ำ ดังตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Ramachandra *et al.* (2016) ที่ได้ทำการคัดแยกแบคทีเรียเอนโดไฟต์ในการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* พบว่า สามารถคัดแยกได้จำนวน 39 ไอโซเลท ในจำนวนนี้จำแนกเป็น *Bacillus* spp. 23 ไอโซเลท และ *Pseudomonas* spp. 16 ไอโซเลท โดย *Bacillus* (BA2) และ *Pseudomonas* (PS1) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้สูงสุด เท่ากับ 52.22 และ 53.33% ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพของสารเมตาบอไลต์ของแบคทีเรียปฏิบัฏ์ที่สร้างขึ้นในการยับยั้งเชื้อราบนอาหาร PDA บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน

รหัสไอโซเลท	เชื้อรา <i>R. solani</i>		เชื้อรา <i>B. oryzae</i>	
	รัศมีโคโลนี (cm)	การยับยั้ง (%)	รัศมีโคโลนี (cm)	การยับยั้ง (%)
N5-5	1.80±0.05	48.57±1.43 ^b	0.80±0.01	55.55±0.55 ^b
G4-1	1.60±0.06	54.29±1.74 ^c	1.00±0.04	44.44±2.22 ^a
G5-5	2.00±0.05	42.86±1.43 ^a	1.00±0.08	44.44±4.31 ^a
control	3.50±0.01	0	1.80±0.03	0

หมายเหตุ ตัวอักษร a - c ที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) $n=3$

4. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งของแบคทีเรียปฏิบัณช์

เลี้ยงแบคทีเรียปฏิบัณช์ในอาหาร NB บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25 - 30°C) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปรับความขุ่นเซลล์ OD 600 nm เท่ากับ 0.5 (10^8 cell/ml) เติมห้วเชื้อ 1% ในอาหาร NB ที่ปรับค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 5 7 และ 9 บ่มที่อุณหภูมิ 28 30 35 และ 40°C อัตราเขย่า 200 rpm เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บั่นแยกเซลล์ออกแล้วนำส่วนใสมาทดสอบ พบว่า แบคทีเรียไอโซเลท G5-5 ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีค่า pH 3 และ 5 บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. solani* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 85.33% ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Montealegre *et al.* (2003) ที่ได้คัดเลือกแบคทีเรียปฏิบัณช์มาใช้ควบคุมเชื้อรา *R. solani* ที่ก่อโรคในมะเขือเทศ พบว่า แบคทีเรียปฏิบัณช์มีการเจริญเติบโตที่ค่า pH และอุณหภูมิแตกต่างกัน โดย *B. subtilis* 639 มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ค่า pH 5.0 บ่มที่อุณหภูมิ 37°C และ *B. lentimorbus* 640 มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ค่า pH 5.0 บ่มที่อุณหภูมิ 28°C ส่วน *B.*

lentimorbus 629 มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ค่า pH 5.5 บ่มที่อุณหภูมิ 10°C และสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมเชื้อรา *B. oryzae* คือ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีค่า pH 3 5 และ 7 บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 66.94% ซึ่งอยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 3 - 4

5. ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นของแบคทีเรียปฏิบัณช์

เมื่อนำแบคทีเรียปฏิบัณช์ไอโซเลท G5-5 มา Cross streak บนอาหาร NA บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาข้อมสีแบบแกรม เพื่อตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 1000 เท่า ศึกษารูปร่าง และลักษณะเบื้องต้น พบว่าเป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างแท่ง มีการจัดเรียงตัวของเซลล์เดี่ยวและต่อกันเป็นสาย มีการสร้างเอนโดสปอร์ จัดเป็นแบคทีเรียสกุล *Bacillus* ดังภาพที่ 5 สอดคล้องกับการศึกษาของ Nicholson *et al.* (2000) *Bacillus* เป็นพวกแอโรบิกเฮเทอโรโทรฟ กลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก ที่สร้างสปอร์ และมีแหล่งอาศัยที่หลากหลาย

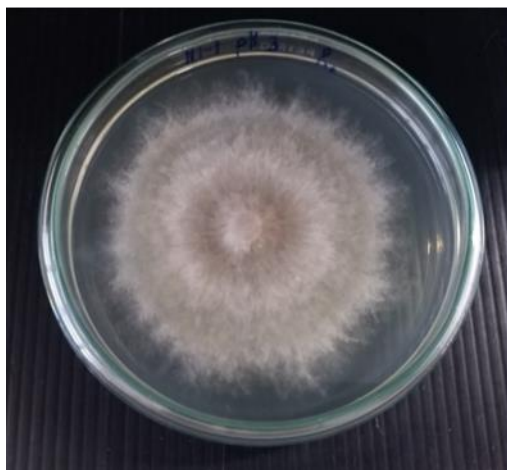
ตารางที่ 5 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของแบคทีเรียไอโซเลท G5-5 ในการผลิตสารยับยั้งเชื้อก่อโรค บนอาหาร PDA บ่มที่ 28°C เป็นเวลา 5 วัน

อุณหภูมิ (°C)	ค่า pH	เชื้อรา <i>R. solani</i>		เชื้อรา <i>B. oryzae</i>	
		รัศมีโคโลนี (cm)	การยับยั้ง (%)	รัศมีโคโลนี (cm)	การยับยั้ง (%)
25	3	0.66±0.03	85.33±0.67 ^c	0.80±0.02	66.94±0.44 ^b
	5	0.66±0.01	85.33±0.22 ^c	0.80±0.02	66.94±0.44 ^b
	7	0.99±0.06	78.00±1.33 ^b	0.80±0.01	66.94±0.22 ^b
	9	1.10±0.01	75.55±0.22 ^a	0.90±0.02	62.81±0.44 ^a
30	3	3.52±0.01	21.78±0.23 ^a	>2.42	0 ^a
	5	0.88±0.01	80.44±0.22 ^c	1.26±0.02	47.93±0.44 ^c
	7	1.23±0.05	72.67±1.11 ^b	2.16±0.03	26.00±0.67 ^b

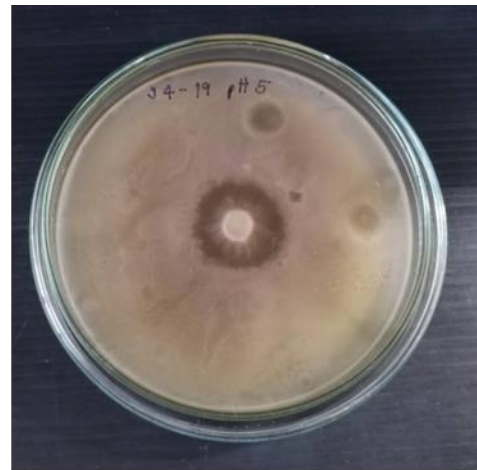
ตารางที่ 5 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ค่า pH	เชื้อรา <i>R. solani</i>		เชื้อรา <i>B. oryzae</i>	
		รัศมีโคโลนี (cm)	การยับยั้ง (%)	รัศมีโคโลนี (cm)	การยับยั้ง (%)
35	9	0.79±0.02	82.44±0.44 ^d	2.16±0.02	26.00±0.44 ^b
	3	0.74±0.07	83.56±1.55 ^c	1.50±0.01	38.02±0.23 ^b
	5	0.84±0.02	81.33±0.45 ^b	1.90±0.01	21.49±0.22 ^a
	7	0.95±0.02	78.89±0.44 ^a	1.90±0.05	21.49±1.14 ^a
40	9	0.84±0.01	81.33±0.22 ^b	1.30±0.03	46.28±0.67 ^c
	3	3.50±0.03	22.22±0.67 ^a	>2.42	0 ^a
	5	2.00±0.01	55.56±0.22 ^d	1.50±0.05	38.02±1.11 ^b
	7	2.30±0.01	48.89±0.22 ^c	1.30±0.04	46.28±0.89 ^c
	9	2.50±0.01	44.44±0.22 ^b	1.20±0.02	50.41±0.44 ^d

หมายเหตุ ตัวอักษร a - d ที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) $n=3$

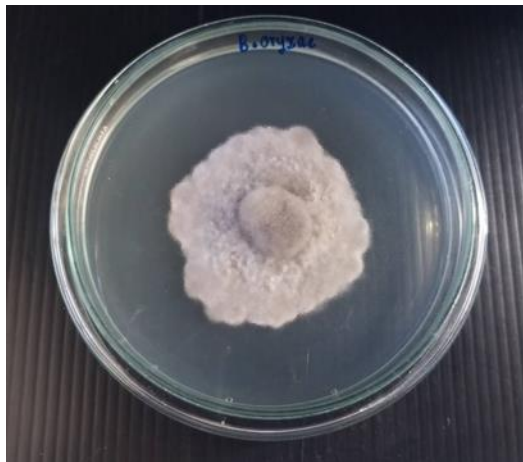


(a)

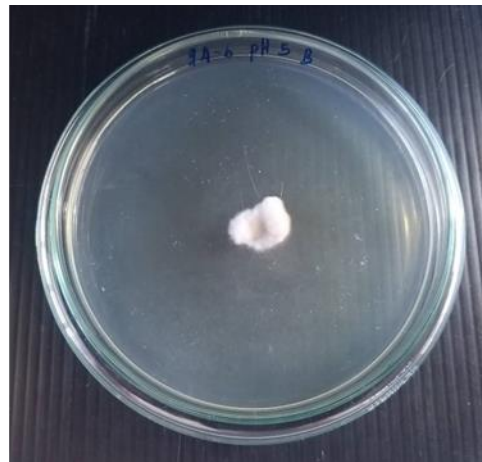


(b)

ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียโอโซเลท G5-5 ในยับยั้งการเจริญของเชื้อ *R. solani* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีค่า pH 5 บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (a) จานควบคุม (b) จานทดสอบ

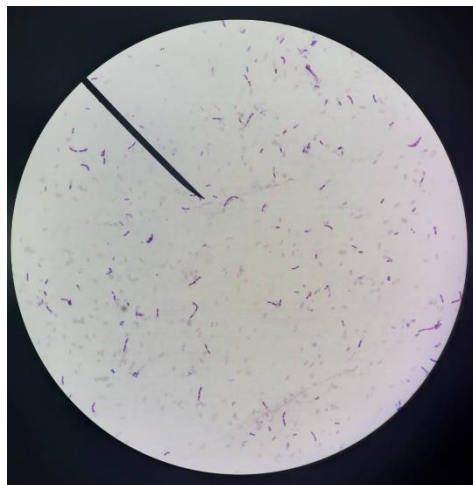


(a)

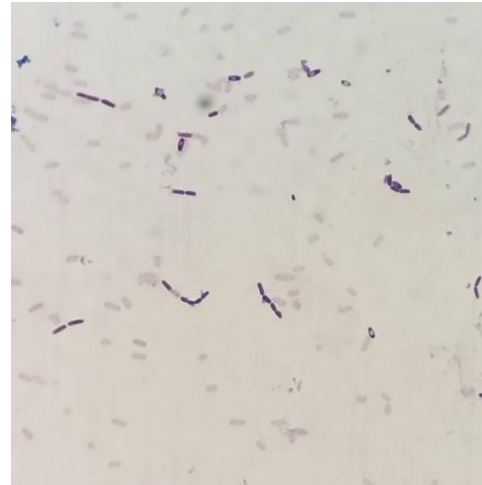


(b)

ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียไอโซเลต G5-5 ในยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. oryzae* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีค่า pH 5 บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (a) จานควบคุม (b) จานทดสอบ



(a)



(b)

ภาพที่ 5 รูปร่าง การจัดเรียงตัว และการติดสีแบบแกรมของแบคทีเรียปฏิปักษ์ไอโซเลต G5-5 (a) การติดสีแบบแกรม (b) รูปร่างและการจัดเรียงตัวของเซลล์

สรุป

การเก็บตัวอย่างดินในนาข้าว จากแปลงเกษตรกรที่ไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช จำนวน 10 แหล่ง ได้แก่ ดินจากตำบลลำพญา บางโทรป่า นิลเพชร ไทรงาม และบัวปากท่า จำนวน 10 แหล่ง มาทำการ cross streak บนอาหาร TSA พบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียในดินได้ทั้งหมดจำนวน 112 ไอโซเลต เมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเบื้องต้น พบว่า มี 3

ไอโซเลต ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *R. solani* ได้ คือ ไอโซเลต N5-5 G4-1 และ G5-5 และมี 4 ไอโซเลต ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *B. oryzae* ได้ คือ ไอโซเลต N1-1 N5-5 G4-1 และ G5-5 ส่วนการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *P. grisea* พบว่า ไม่มีไอโซเลตใดเลยที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้ การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้สูงสุด พบว่า แบคทีเรียไอโซเลต G4-1 มี

ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. solani* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 54.29% อยู่ในระดับปานกลาง และแบคทีเรียไอโซเลท N5-5 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 55.55% อยู่ในระดับปานกลาง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารยับยั้งของเชื้อแบคทีเรียพบว่า เมื่อนำแบคทีเรียไอโซเลท G5-5 มาเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีค่า pH 3 หรือ pH 5 บ่มที่อุณหภูมิ 25°C มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *R. solani* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 85.33% ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 66.94% ซึ่งอยู่ในระดับสูง และเมื่อนำแบคทีเรียไอโซเลท G5-5 มาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น พบว่าเป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างแท่ง มีการจัดเรียงตัวของเซลล์เดี่ยวและต่อกันเป็นสาย มีการสร้างเอนโดสปอร์ จัดเป็นแบคทีเรียสกุล *Bacillus* ซึ่งในอนาคตควรทำการศึกษาคัดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อโรคในนาข้าว ได้แก่ *R. solani* และ *B. oryzae* ในสภาพเรือนทดลองต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาจุลชีววิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินงานทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Bunpiak, S., Sudta, W., Issarachot, O. and Kitsanapun, A. 2019. Rice farmers' behavior in pesticides

spraying at Naraphirom subdistrict, Banglen district, Nakhon Pathom province. **Journal of Safety and Health** 12(3): 49-59. (in Thai)

Donmez, M.F., Uysal, B., Demirci, E., Ercisli, S. and Cakmakci, R. 2015. Biological control of root rot disease caused by *Rhizoctonia solani* Kühn on potato and bean using antagonist bacteria. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus** 14(5): 29-40.

Montealegre, J., Reyes, R., Pérez, L.M., Herrera, R., Silva, P. and Besoain, X. 2003. Selection of bio antagonistic bacteria to be used in biological control of *Rhizoctonia solani* in tomato. **Electronic Journal of Biotechnology** 6(2): 115-127.

Nicholson, W.L., Munakata, N., Homeck, G., Melosh, H.J. and Setlow, P. 2000. Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. **Microbiology and Molecular Biology Reviews** 64(3): 548-72.

Nochai, S. and Srichuwong, S. 2007. Efficacies of antagonistic fungi from rice seeds cv. KDML 105 for controlling bakanae disease in rice seedling. **Journal of Agriculture** 23(1): 59-65. (in Thai)

Pattanawipas, P., Thasakorn, T., Pasabutr, T., Lapbrunjoob, S. and Chanmuang, O. 2011. Select and test of biological control for *Rhizoctonia solani*, pp. 637-643. In The annual research report 2011, **The Office of Plant Protection Research**. Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

Petsuriyawong, B., Khunajakr, N. and Wongwicharn, A. 2012. Isolation and identification of

- antifungal bacteria from soil, pp. 124-131.
- In Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference.** Natural Resources and Environment, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Pimsirikul, P., Jindaprasert, K., Seesanong, S. and Phopan, A. 2016. Determination of microbial population in soil of organic vegetable farming systems. **King Mongkut's Agricultural Journal** 4(2): 77-84. (in Thai)
- Ramachandra, N.M., Akila, R. and Thiruvudainambi, S. 2016. Management approaches for brown spot of rice caused by *Bipolaris oryzae*. **Journal of Farm Science** 29(3): 370-376.
- Rajasekar, G., Ebenezer, E.G., Thiruvudainambi, S., Vanniarajan C. and Shanthi M. 2009. Antifungal activity of rice associated phyllosphere (RAP) communities against brown spot of rice (*Bipolaris oryzae*). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 8(6): 171-175.
- Tayuan, C., Rachaisawan, K. and Sriphadet, S. 2016. Control of *Pyricularia grisea* causing of rice blast disease. **Khon Kaen Agriculture Journal** 44(Suppl.I): 972-976. (in Thai)
- Thapanapongworakul, P. and Saimongkol, S. 2015. Efficiency of antagonistic bacterium *Bacillus megaterium* strain No.16 for controlling sheath blight disease of RD6 rice variety. **Agricultural Journal** 31(3): 301-310. (in Thai)
- Thai rice exporters association. 2021. **Daily news summary 27 October – 2 November 2021.** Available Source: http://www.thairiceexporters.or.th/mk_rpt/2021/news_3NOV2021XmDxIpoe.pdf, November 6, 2021. (in Thai)
- Thaisuchart, H. and Boonkon, P. 2014. *In vitro* control of fungal contamination in stored garlic by herbal extracts and microbial antagonists. **KKU Science Journal** 42(4): 771-780. (in Thai)
- Tipsing, S., Panvilai, S., Prajanban, J. and Meidong, R. 2019. Efficiency of *Bacillus* spp. from ant-hill soils against *Pestalotiopsis* sp. causing fruit rot disease in guava. **Veridian E-Journal** 6(2): 1-14. (in Thai)
- Wongcharoen, A. 2013. Effect of fungicides on the growth of rice pathogenic fungi. **Khon Kaen Agriculture Journal** 41(Suppl.I): 527-531. (in Thai)

การวินิจฉัยโรคปอดบวมจากภาพรังสีทรวงอกโดยการเรียนรู้ของเครื่อง

Diagnosis of Pneumonia on Chest Radiographs Using Machine Learning

โชคมงคล นาดิ และ กฤษดา ยิงขยัน *

Chokemongkol Nadee and Krisda Yingkayun *

Received: 29 January 2022, Revised: 14 October 2022, Accepted: 7 November 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการในการวินิจฉัยโรคปอดบวมจากภาพถ่ายรังสีทรวงอกโดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องหลายแบบวิธีเพื่อการวิเคราะห์โรคปอดบวม โดยโรคปอดบวมส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อทางเดินหายใจโดยเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสและโรคปอดบวมทำให้เกิดเชื้อหุ้มปอดอักเสบเป็นภาวะที่ของเหลวเดิมลงไปปอดทำให้หายใจลำบาก ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบวินิจฉัยโรคปอดบวมโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อวินิจฉัยโรคปอดบวมแบบอัตโนมัติโดยทำการออกแบบโดยออกแบบกลุ่มข้อมูลและใช้โมเดลของการเรียนรู้ของเครื่องแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (KNN) โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) Adaptive Boosting (AdaBoost) และการถดถอยโลจิสติกส์ โดยวิธีการดังกล่าวนี้ได้นำเทคนิคการผูกมวลน้ำหนักมาใช้จากค่าของน้ำหนักที่มอบหมายจากข้อมูลการเรียนรู้และได้ค่าคะแนน แนวทางการประเมินแบบเมตริกซ์ มาตรฐานความแม่นยำ การเรียกคืน คะแนน F1 และพื้นที่ใต้เส้นโค้งเพื่อนำมาสร้างเป็นเวกเตอร์น้ำหนักเพื่อหาแนวทางในการเรียนรู้ กลุ่มการเรียนรู้และผลการทดสอบโดยอาศัยชุดของข้อมูลภาพถ่ายรังสีทรวงอกมาใช้ในการทดสอบ โดยแบ่งภาพของปอดปกติจำนวน 1,340 ภาพ และภาพปอดไม่ปกติจำนวน 1,704 ภาพ ใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ และภาพที่ใช้ในการทดสอบอีกกลุ่มหนึ่งใช้เป็นชุดข้อมูลทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นภาพถ่ายปอดแบบปกติจำนวน 233 ภาพและภาพถ่ายปอดแบบผิดปกติจำนวน 390 ภาพ จากการวิจัยโปรแกรมที่พัฒนาสามารถวิเคราะห์ภาพทดสอบด้วยความรวดเร็วและผลที่ได้ให้ผลการแยกแยะความถูกต้องของข้อมูลที่อยู่ในการเรียนรู้และนอกฐานการเรียนรู้ที่ 94.38 % และ 84.9 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: การแยกแยะรูปภาพ, การเรียนรู้ของเครื่อง, โรคปอดบวม, ภาพถ่ายรังสีทรวงอก

ABSTRACT

This research proposes a method for diagnosing pneumonia on chest radiographs using a variety of machine learning methods for disease analysis. Most pneumonia is caused by a respiratory infection, such as bacteria or viruses, and pneumonia causes pleurisy, a condition in which fluid fills the lungs, making it difficult to breathe. The researchers developed a computer-aided pneumonia diagnosis system for the automatic diagnosis of pneumonia by designing a data group design and using a machine learning model: support vector machine (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), Artificial Neural Network (ANN), Adaptive Boosting (AdaBoost) and Logistic Regression. By this method, the weight-mass binding technique was adopted by using the values of the assigned weights from learning data, obtained scores, matrix assessment guidelines, precision standard, recall, F1 score, and area under the curve to be generated as weight vectors for learning guidance. Learning groups and test results were based on a series of chest radiographs of the dataset for experimental use. In this test, the 1,340 images of normal lungs and 1,704 images of abnormal lungs were divided into data sets for learning, and another group of images used as test data that consisted of 233 images of normal lungs and 390 images of abnormal lungs. Based on the research, the developed program was able to analyze the test images with speed and the discriminatory accuracy results yielded 94.38 percent and 84.9 percent of both base-learned and non-learned data, respectively.

Key words: classification, machine learning, pneumonia, chest radiograph

บทนำ

โรคปอดบวมหรือโรคปอดอักเสบ (Pneumonia) เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตมากที่สุดในโลก จากการติดเชื้อทางเดินหายใจแบบเฉียบพลัน (Acute respiratory infections : ARI) และเป็นสาเหตุหลักต่อการเสียชีวิตของเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี จากการสำรวจทั่วโลกคิดเป็น 15% ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2021) และจากสถิติผู้ป่วยโรคปอดบวมในประเทศไทย (Ministry of Public Health of Thailand, 2019; Ministry of Public Health of Thailand, 2020) จากกระทรวงสาธารณสุข มักจะพบผู้ป่วยอาการปอดบวมแล้วทำให้เสียชีวิตสองอันดับแรกอยู่ในช่วงอายุมากกว่า 65 ปี และ อายุ 0-4 ปี จากสถิติดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเสนอเครื่องมือที่ช่วยในการวินิจฉัยโรคปอดบวม

จากภาพถ่ายรังสีทรวงอก โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพและวิเคราะห์จากวิธีการของการเรียนรู้ของเครื่องในแบบหลายวิธีการ สามารถวินิจฉัยอาการปอดบวมเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นประโยชน์ในการรักษาผู้ป่วยได้อย่างทันทั่วถึง

การวินิจฉัยโรคปอดบวมในเด็กเล็กช่วงอายุระหว่าง 1 เดือนจนถึง 5 ปี จะอาศัยวิธีการวัดจากอัตราการหายใจของเด็ก หรือเสียงที่ได้ยินจากจากปอด Crepitation หรือ Bronchial breath sound โดยมีความไวในการวินิจฉัยปอดบวมได้ถึง 75% (Cherian *et al.*, 1988; Harari *et al.*, 1991; Smyth *et al.*, 1998) แต่ในบางกรณี เพื่อความชัดเจนของการตรวจโรคในกรณีที่มิใช่สูงแต่ไม่พบตำแหน่งของการติดเชื้อที่ชัดเจน หรือผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงตอบสนองต่อการรักษาไม่ดี หรือสภาวะแทรกซ้อน (Bradley *et al.*,

2011; Harris *et al.*, 2011) ต้องอาศัยวิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการบ่งบอกเชื้อที่เป็นสาเหตุว่าจะเป็นสาเหตุของโรค และสามารถเลือกให้ยาต้านได้อย่างถูกต้องเหมาะสม โดยการตรวจทางห้องปฏิบัติการสามารถแบ่งเป็นวิธีการได้ดังนี้ 1. การตรวจนับจำนวนเม็ดเลือด (Complete Blood Count : CBC) 2. การตรวจการตอบสนองในระยะเฉียบพลัน (Acute phase reactants) 3. ภาพรังสีทรวงอก 4. การตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย 5. การตรวจหา

เชื้อ Atypical bacteria 6. การตรวจหาเชื้อไวรัส และ 7. การทดสอบทูเบอร์คิวลิน (Tuberculin test)

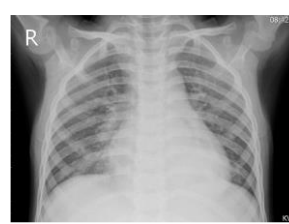
วิธีการตรวจวินิจฉัยโรคจากภาพรังสีทรวงอกในปัจจุบันยังไม่สามารถแยกสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสได้อย่างชัดเจน แต่อาจเป็นแนวทางในการบ่งบอกเชื้อที่น่าจะเป็นสาเหตุ ยกตัวอย่างเช่น Perihilar peribronchial interstitial infiltration มักพบในปอดบวมที่เกิดจากไวรัสดังภาพที่ 1



(ก) ภาพปอดปกติ



(ข) ภาพปอดที่เกิดจาก
เชื้อแบคทีเรีย



(ค) ภาพปอดที่เกิดจาก
เชื้อไวรัส

ภาพที่ 1 ภาพรังสีทรวงอก

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มิงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยโรคจากภาพถ่ายรังสีทรวงอกในประเทศไทย เช่น นำเอาภาพถ่ายรังสีทรวงอกมาตรวจวิเคราะห์หะเร็งปอดโดยวิธีการปัญญาประดิษฐ์ (Noisiri *et al.*, 2022) การตรวจหาโควิด-19 โดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) (Metkarunchit and Charoenpojvajara, 2020) การถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพื่อวินิจฉัยโรคระบาดโควิด-19 (Saengkaew *et al.*, 2021) ซึ่งงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องได้มีการแนะนำวิธีการต่าง ๆ เพื่ออธิบายกระบวนการสั้น ๆ ในการวินิจฉัยโรคปอดบวมโดยใช้ภาพรังสีทรวงอก โดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกบางวิธี และการเรียนรู้ของเครื่องนั้นประสบความสำเร็จในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการวินิจฉัยโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย

(Computer-Aided Design : CAD) ในด้านการถ่ายภาพทางการแพทย์ (Le *et al.*, 2020) การแบ่งส่วนภาพ (Sanguansat, 2019; Kubat, 2015) และการสร้างภาพใหม่ (Srikaew, 2009) ในปี 2560 Kundu *et al.* (2021) เสนอเครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกที่ชื่อว่า DenseNet-121 ซึ่งเป็นแบบจำลอง CNN ที่มีจำนวนชั้นถึง 121 ชั้น เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคปอดบวม จากงานวิจัยของ Ronneberger *et al.* (2015); Milletari *et al.* (2016); Jeelani *et al.* (2018); Schlemper *et al.* (2017); Rajpurkar *et al.* (2017); Zhang *et al.* (2021) ได้แบ่งงานวิจัยที่ใช้ภาพถ่ายรังสีทรวงอกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่ใช้การเรียนรู้ของเครื่องเพียงวิธีการเดียว แต่ปรับพารามิเตอร์ภายในไม่ว่าจะเป็นการวนซ้ำวิธีการให้จำนวนรอบมากขึ้นเพื่อให้ผลหรือน้ำหนักที่

เหมาะสมในการตัดสินใจ และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ใช้การเรียนรู้ของเครื่องแบบหลายวิธี

การประมวลผลภาพกับรูปร่างและโครงสร้างของภาพ (Morphological Image Processing) คือ กระบวนการประมวลผลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ การประมวลผลเพื่อเตรียมภาพขึ้นพื้นฐานโดยทั่วไป ได้แก่ การขยายภาพ (Dilation) การย่อภาพ (Erosion) และการหาโครงสร้างหลักของภาพ (Skeleton) โดยการขยายภาพคือ การขยายขนาดภาพโดยมีสัดส่วนเท่ากันทั่วทั้งภาพ (Uniform) การย่อภาพ คือการย่อขนาดภาพ การหาโครงสร้างหลักของภาพเป็นกระบวนการหาโครงสร้างหลักของวัตถุ นอกจากนั้นยังมีวิธีการใช้โอเพอเรชันอื่นเช่น การ Opening และ Closing

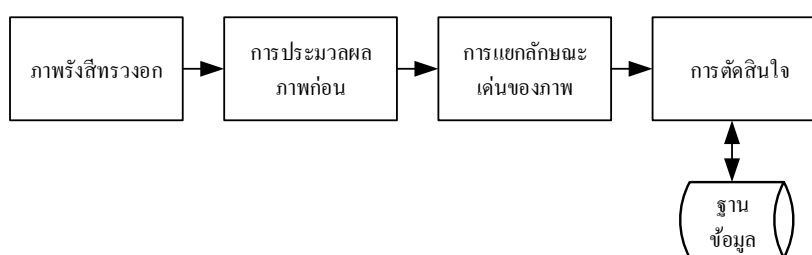
การเรียนรู้ของเครื่อง ลักษณะการเรียนรู้โดยวิธีการของการเรียนรู้ของเครื่อง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ 1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) 2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) และ 3. การเรียนรู้แบบการเสริมแรงใจ (Reinforcement learning) นักจิตวิทยาได้ศึกษาถึงการจดจำของมนุษย์ และพบว่า มนุษย์มีการเรียนรู้เป็นแบบไม่มีความสัมพันธ์ (Non-associative learning) และการเรียนรู้แบบมีความสัมพันธ์ (Associative learning) และความจำของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็น ความจำระยะสั้น (Short-Term Memory: STM) และ ความจำระยะยาว (Long-Term Memory: LTM) สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นการจำลองสมองมนุษย์ จะต้องมีการเรียนรู้เช่นกัน การ

เรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน และการเรียนรู้แบบการเสริมแรงใจ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการพัฒนาการตรวจวิเคราะห์ภาพเพื่อการวินิจฉัยโรคปอดบวมจากภาพถ่ายรังสีทรวงอกโดยอาศัยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยไม่จำกัดขนาดการนำเข้าภาพถ่ายรังสีและเป็นรูปแบบภาพเป็นแบบระดับสีเทา ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบหลายวิธีรวมกับการปรับปรุงภาพก่อนเข้าเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุดโดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือเบื้องต้นสำหรับการวินิจฉัยโรคทางทรวงอกเบื้องต้นทาง การแพทย์ เป็นแนวทางในการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ และการนำวิธีการวิจัยไปใช้ประโยชน์กับโรคทางทรวงอกอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น โรคโควิด-19 เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการโดยการนำภาพถ่ายรังสีทรวงอกมาใช้เพื่อวิเคราะห์และตรวจโรคปอดบวม ในปัจจุบันมีความรวดเร็วในการได้มาซึ่งภาพถ่ายรังสีทรวงอก แต่การที่จะวินิจฉัยโรคให้รวดเร็ว นั้นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าถ้าสามารถสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการวินิจฉัยให้เร็วขึ้น เพื่อให้การรักษาได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพระบบการวินิจฉัยโรคปอดบวม

จากภาพที่ 2 สามารถอธิบายส่วนประกอบของแผนภาพโดยรวมของระบบการวินิจฉัยโรคปอดบวมโดยแบ่งออกเป็นแผนภาพของ 1. ภาพรังสีทรวงอก 2. การประมวลผลภาพก่อน 3. การแยกลักษณะเด่นของภาพ 4. การตัดสินใจ และ 5.ฐานข้อมูล โดยจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน สามารถอธิบายขั้นตอนอย่างละเอียดในการทำงานวิจัยทั้งหมดดังนี้

ลำดับขั้นตอนในการทำงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ส่วนรับภาพอินพุต คือการนำภาพรังสีทรวงอกของปอดปกติ และปอดที่มีลักษณะเป็นโรคปอดบวมมาทำการเก็บข้อมูลเพื่อแบ่งกลุ่มของภาพรังสีทรวงอกที่ปกติและไม่ปกติ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับภาพก่อนเข้า เนื่องจากการรับภาพมาวิเคราะห์กลุ่มสีแบบ ขาวดำ

ภาพขาวดำต้องทำเป็นภาพเทา 256 ระดับ แล้วทำการความคมชัดโดยใช้วิธีการ Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) เป็นวิธีการปรับฮิสโตแกรมในแบบที่ปรับตัวเองได้ ดังแสดงในภาพที่ 3

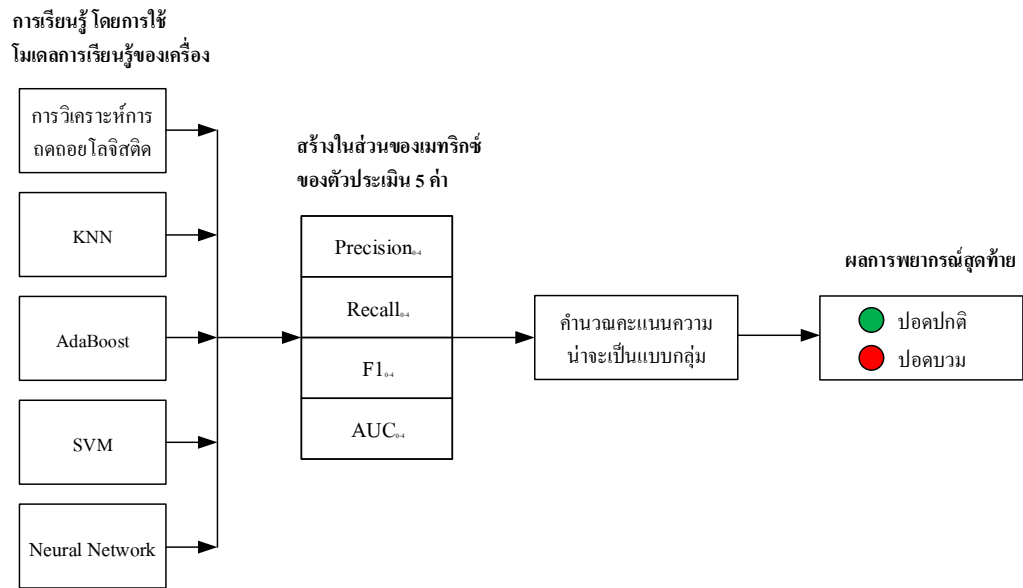
ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) เมื่อได้ชุดภาพถ่ายรังสีจากทรวงอกแล้วทำการกำหนด Labels ของชุดภาพรังสีทรวงอกโดยการแบ่งกลุ่มปกติ และการเป็นโรคปอดบวม โดยกำหนดชุดข้อมูลในการเรียนรู้อยู่ที่ 1,340 ภาพของภาพปอดปกติ และ 1,704 ภาพของภาพปอดที่ผิดปกติ และชุดของการทดสอบ 233 ภาพ ในแบบนอกฐานข้อมูลในแบบปอดปกติ และ 390 ภาพของภาพปอดที่ผิดปกติ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3 วิธีการ CLAHE ในการปรับความคมชัดของภาพ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ปรับแล้ว



ภาพที่ 4 การหาค่าตัวถ่วงน้ำหนักและการตัดสินใจ

ขั้นตอนที่ 4 จากภาพที่ 4 การหาค่าตัวถ่วงน้ำหนัก (cost function) โดยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแต่ละแบบนั้นจะต้องหาตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อหาการเคลื่อนที่ของชุดข้อมูลว่าไปในทิศทางใด ถ้าค่าตัวถ่วงน้ำหนัก ออกมามีค่าน้อยเกินไปก็ต้องกลับไปเข้าสู่วิธีการเรียนรู้หลายรอบ เพื่อปรับค่าให้ได้ค่าตัวถ่วงน้ำหนักที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 4

ขั้นตอนที่ 5 การตัดสินใจ (Decision) ขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลที่นำมาทดสอบกับชุดข้อมูลที่ทำการเรียนรู้แล้ว จึงได้ผลลัพธ์จากการเรียนรู้ของเครื่องแบบหลายวิธีการเพื่อนำมาตัดสินใจในการพยากรณ์ว่าข้อมูลภาพรังสีทรวงอกเป็นปอดปกติหรือปอดไม่ปกติ

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของระบบที่ใช้ทดสอบ

ระบบที่ใช้งานในการทดลอง		
ระบบประมวลผล	ไมโครโพรเซสเซอร์	Intel corei7
	หน่วยความจำ	16 GB
การ์ดแสดงผล	Nvidia	1660
	หน่วยความจำ	6 GB
ระบบปฏิบัติการ	วินโดวส์ 10	
โปรแกรมในการประมวลผล	Matlab 2019b	Licensed: 40967708
ฐานข้อมูลสำหรับการเรียนรู้	ภาพปอดปกติ	1,340 ภาพ
	ภาพปอดไม่ปกติ	1,704 ภาพ
ฐานข้อมูลสำหรับการทดสอบนอกฐานการเรียนรู้	ภาพปอดปกติ	233 ภาพ
	ภาพปอดไม่ปกติ	390 ภาพ

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงเครื่องมือในการทดสอบระบบ และจำนวนข้อมูลของภาพถ่ายรังสีทรวงอก เพื่อใช้ในการทดลอง โดยแบ่งภาพของปอดปกติจำนวน 1,340 ภาพ และภาพปอดไม่ปกติจำนวน 1,704 ภาพ ในฐานข้อมูลในการเรียนรู้ และฐานข้อมูลสำหรับการทดสอบนอกฐานการเรียนรู้ โดยแบ่งภาพของปอดปกติจำนวน 233 ภาพ และภาพปอดไม่ปกติจำนวน 390 ภาพ

ตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับการประเมินผล

เมตริกซ์ที่ใช้สำหรับการประเมินข้อมูลของงานวิจัยนั้นเพื่อจัดหรือลดการจัดประเภทข้อมูลที่ไม่

ถูกต้องในชุดข้อมูล ชุดข้อมูลถูกต้องที่มีค่าเป็นลบ Negative (N) และชุดข้อมูลถูกต้องที่มีค่าเป็นบวก Positive (P) เมตริกซ์ที่ใช้จะถูกกำหนดต่อไปนี้

- เมตริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix)

คือตารางสำคัญในการวัดความสามารถของแบบจำลองในการแก้ปัญหาการจำแนกประเภท จากตารางที่ 2 นั้นการแยกถูกกำหนดให้เป็นจำนวนรวมของผลบวกจริง True Positive (TP) ผลลบจริง True Negative (TN) ผลบวกหลง False Positive (FP) และค่าลบเท็จ False Negative (FN) ที่ตัวแยกประเภทรู้จัก สามารถแสดงค่าได้ดังนี้ $P=TP + FN$ และ $N=TN+FP$ ผลการทำนายสรุปไว้ในตารางที่ 2 (Saraubon, 2020)

ตารางที่ 2 เมตริกซ์ของผลการคาดการณ์สำหรับการตรวจผลของภาพถ่ายรังสีทรวงอก

		Expected class	
		Positive Prediction	Negative Prediction
Classes	Positive	True positive (TP)	False negative (FN)
	Negative	False positive (FP)	True negative (TN)

- ความแม่นยำ (Accuracy) ถูกกำหนดเป็นสัดส่วนของตัวอย่างที่จัดประเภทอย่างถูกต้องเทียบกับจำนวนตัวอย่างทั้งหมด อัตราความแม่นยำแสดงในสมการที่ 1 (Saraubon, 2020)

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

- ผลบวกที่แท้จริง (True Positive : TP) คือผลของค่าของข้อมูลที่แยกแยะว่าเป็นข้อมูลของจริงที่อยู่ในกลุ่มข้อมูล ถูกกำหนดให้เป็นสัดส่วนของข้อมูลของภาพรังสีทรวงอกที่มีความถูกต้องในการแยกแยะอัตราผลบวกที่แท้จริงแสดงในสมการที่ 2 (Saraubon, 2020)

$$TP_{rate} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

- ผลลบหลง (False Negative : FN) คือ สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่เกิดขึ้นจริง คือทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง อัตราผลลบหลงแสดงในสมการที่ 3 (Saraubon, 2020)

$$FN_{rate} = \frac{FN}{TP + FN} \quad (3)$$

- ผลบวกหลง (False Positive : FP) สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น คือทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง อัตราผลบวกหลงแสดงในสมการที่ 4 (Saraubon, 2020)

$$FP_{rate} = \frac{FP}{FP + TN} \quad (4)$$

- ผลลบที่แท้จริง (True Negative : TN) สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น ในกรณี ทำนายว่า ไม่จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ ไม่จริง อัตราผลลบที่แท้จริง แสดงในสมการที่ 5 (Saraubon, 2020)

$$TN_{rate} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (5)$$

- การเรียกคืน (Recall) ถูกกำหนดให้เป็นสัดส่วนของตัวอย่างข้อมูลที่ระบุอย่างถูกต้องโดยตัวแยกประเภทว่ามีความเกี่ยวข้องหารด้วยจำนวนรวมของผลบวกที่แท้จริงและค่าลบเท็จ แสดงไว้ในสมการที่ 6 (Saraubon, 2020)

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

- $F_{Measure}$ ถูกกำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกของความแม่นยำและการเรียกคืน แสดงไว้ในสมการที่ 7 (Saraubon, 2020)

$$F_{Measure} = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (7)$$

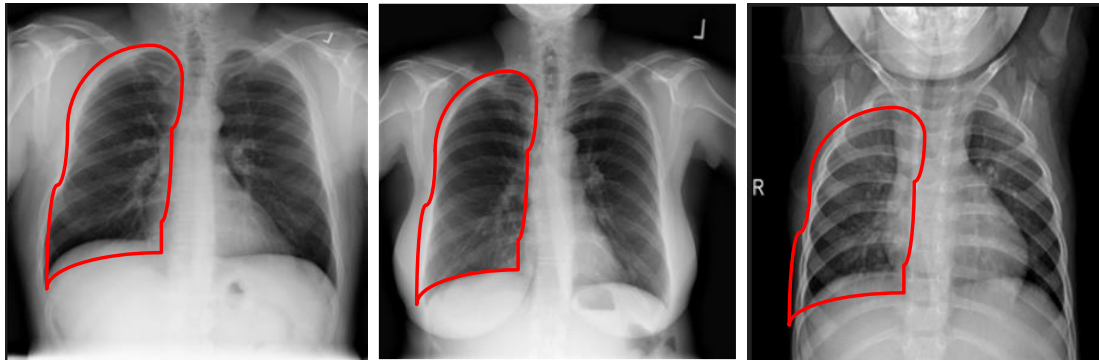
- G_{Mean} ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตคือกำลังสองของค่าลบและการเรียกคืนที่แท้จริง แสดงในสมการที่ 8 (Saraubon, 2020)

$$G_{Mean} = \sqrt{\frac{TP}{TP + FN} * \frac{TN}{TN + FP}} \quad (8)$$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองและการแบ่งตัวอย่าง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ใช้รูปภาพถ่ายรังสีทรวงอกของคนไข้โดยใช้ฐานข้อมูล Chest X-ray (Kermay et al., 2018) โดยแบ่งออกเป็นภาพของปอดปกติจำนวน 1,340 ภาพและภาพปอดที่ไม่ปกติ 1,704 ภาพโดยใช้องค์ประกอบด้วยภาพขาวดำ 256 ระดับ การทดลองเริ่มด้วยการนำภาพอินพุตที่เป็นภาพปอด นำมาทำการสอนโดยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง โดยงานวิจัยของ Schlemper et al. (2017); Zhang et al. (2021) ได้เสนอการใช้วิธีการของคอนโวลูชันแบบโครงข่ายใยประสาทสำหรับภาพถ่ายรังสีทรวงอก และงานวิจัยของ Kundu et al. (2021) เสนอวิธีการของเครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกที่ชื่อว่า DenseNet-121 ร่วมกับวิธี McNemar's และ ANOVA ในการหาความถูกต้องของอาการปอดบวมจากภาพถ่ายรังสีทรวงอก สำหรับงานวิจัยนี้ผู้แต่งเสนอการเรียนรู้ของเครื่องแบบหลายวิธีการได้แก่ 1.KNN 2. SVM 3. Neural Network 4. การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก 5. AdaBoost โดยใช้วิธีการนำภาพมาคำนวณหาเวกเตอร์น้ำหนักด้วยกระบวนการของการเรียนรู้ของเครื่อง

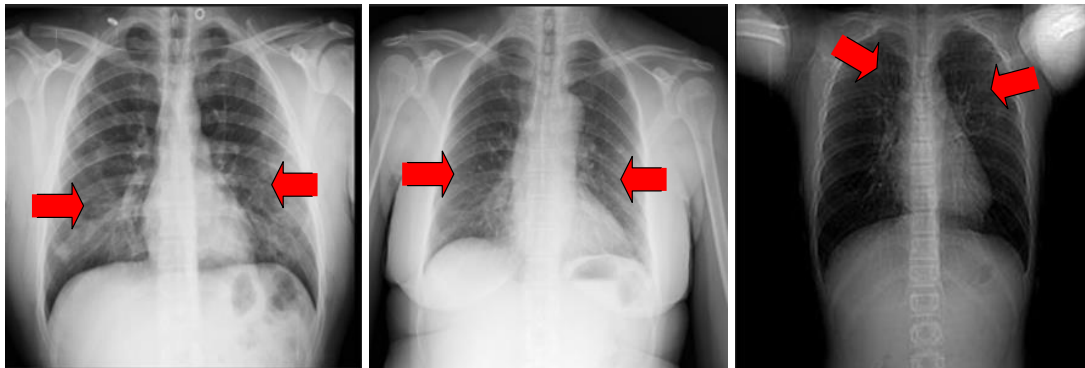


กลุ่มเพศชาย

กลุ่มเพศหญิง

กลุ่มเด็กเล็ก

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติ



กลุ่มเพศชาย

กลุ่มเพศหญิง

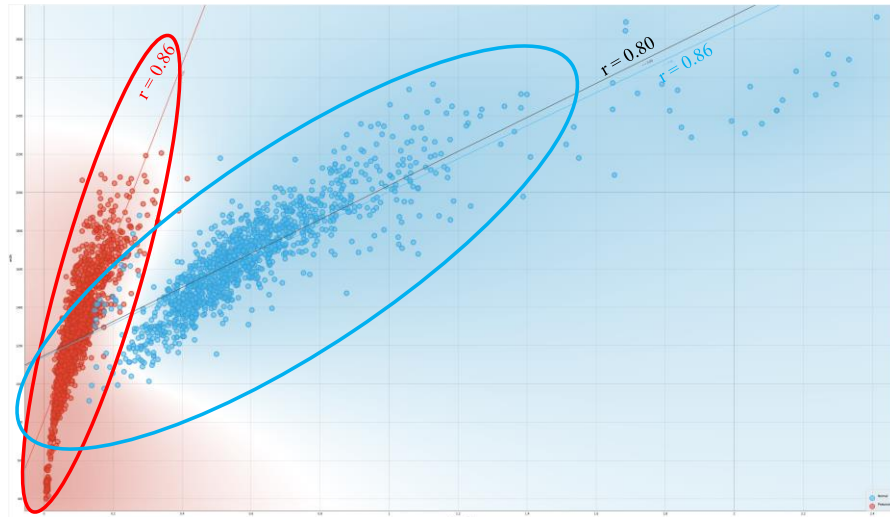
กลุ่มเด็กเล็ก

ภาพที่ 6 ตัวอย่างภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดไม่ปกติ

จากภาพที่ 5 เป็นภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติ โดยจะแบ่งกลุ่มของผู้ชาย ผู้หญิง และเด็กเล็ก โดยลักษณะของโครงสร้างปอด เมื่อผ่านการถ่ายภาพรังสีมาแล้วจะเห็นในส่วนของ รูปร่างของปอดได้ชัดเจนตามที่ได้แสดงกรอบไว้

จากภาพที่ 6 เป็นภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดไม่ปกติ โดยจะแบ่งกลุ่มของผู้ชาย

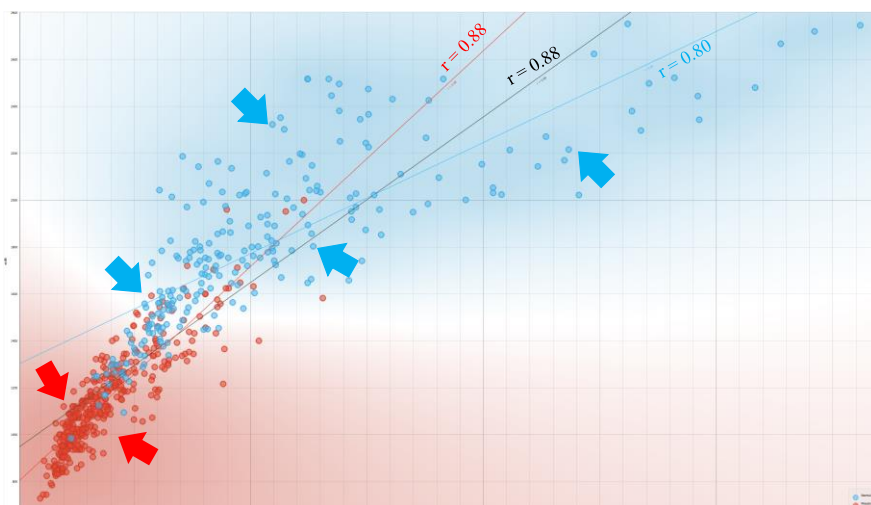
ผู้หญิง และเด็กเล็ก โดยลักษณะของโครงสร้างปอด เมื่อผ่านการถ่ายภาพรังสีมาแล้วจะเห็นในส่วนของ รูปร่างของปอดและแสดงฝ้าขาวจาง ๆ ในบริเวณ ปอด (ลูกศรสีแดง) ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากสภาวะ ปอดอักเสบ



ภาพที่ 7 แผนภาพแสดงการแปรผันร่วมของตัวแปรสองตัวของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้

จากภาพที่ 7 เป็นกลุ่มของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติและ ไม่ปกติ โดยหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณหรือตัวแปรแบบต่อเนื่องสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน โดยเขียนแทนด้วยตัวแปร r โดยค่า r มีค่าเท่ากับ 0.88 เป็นกลุ่มของภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติ จะแทนในวงรีสีแดง ส่วนค่า r มีค่าเท่ากับ 0.80 เป็นกลุ่มของภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดไม่ปกติจะแทนในวงรีสีฟ้า จากการ

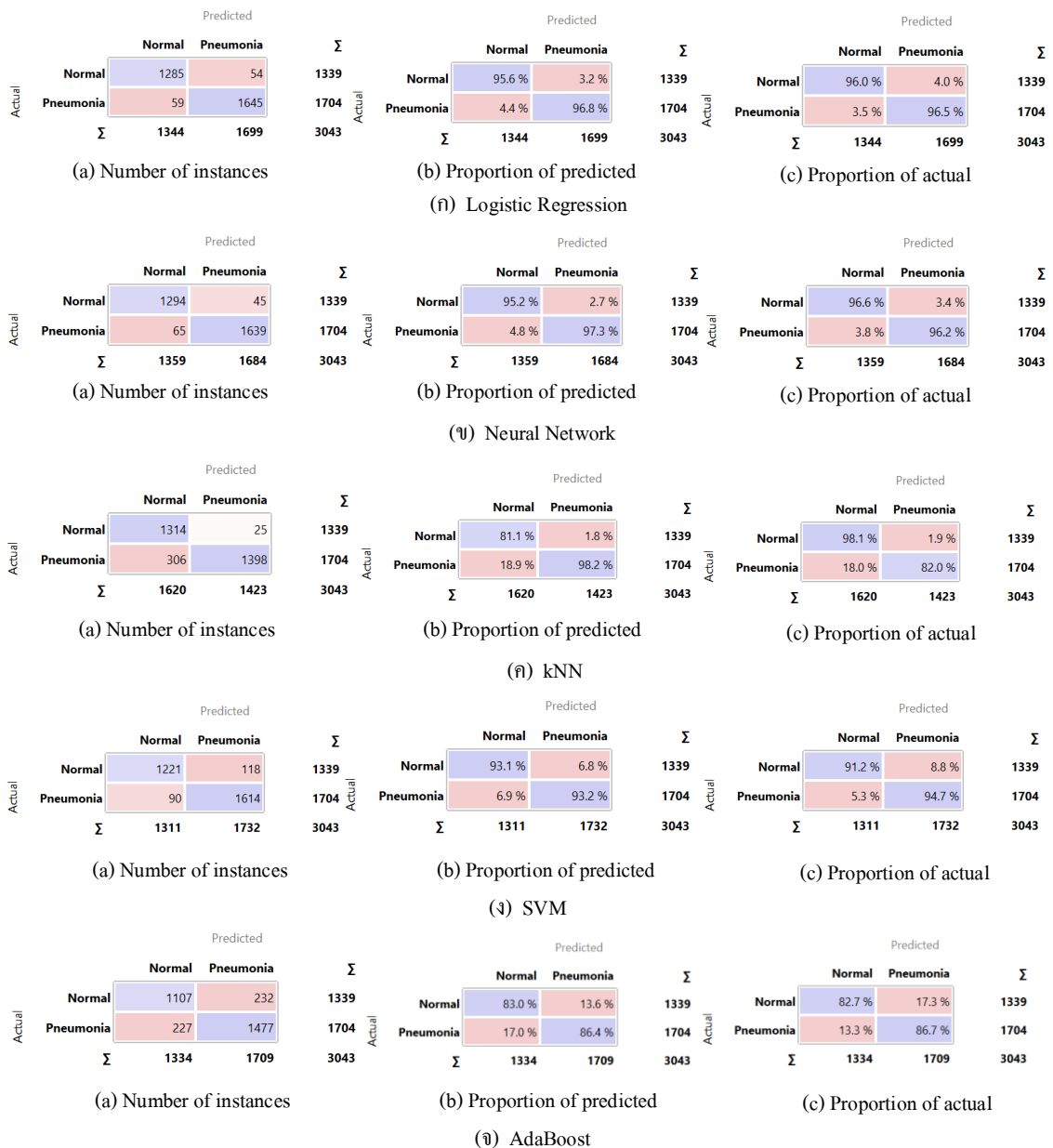
คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองกลุ่มทำให้ทราบว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีความสัมพันธ์มาก ซึ่งทำให้ทราบว่าข้อมูลของภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติมีจำนวนมากกว่าจำนวนของภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดไม่ปกติถ้าต้องการให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันยิ่งขึ้นควรทำข้อมูลทั้งสองกลุ่มให้มีความใกล้เคียงกันและยังมีข้อมูลยิ่งมากยิ่งจะได้ผลความน่าเชื่อถือสูง



ภาพที่ 8 แผนภาพแสดงการแปรผันร่วมของตัวแปรสองตัวของข้อมูล นอกฐานข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

จากภาพที่ 8 เป็นกลุ่มของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติและ ไม่ปกติที่อยู่บนฐานการเรียนรู้ของระบบ โดยหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณ หรือตัวแปรแบบต่อเนื่องสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน โดยค่า r มีค่าเท่ากับ 0.88 ทั้งสองกลุ่มโดยกลุ่มลูกศรสีแดงคือภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดปกติและ ลูกศรสีฟ้าคือ

ภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่มีลักษณะของปอดไม่ปกติจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองกลุ่มทำให้ทราบว่าจำนวนของข้อมูลของปอดปกติมีลักษณะมีการกระจายตัวเป็นกลุ่ม ส่วนปอดที่ไม่ปกติมีการกระจายตัวค่อนข้างมากเนื่องจากชุดข้อมูลนอกฐานนั้นมีจำนวนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับภาพถ่ายรังสีทรวงอกที่ใช้ในการเรียนรู้



ภาพที่ 9 ผล Confusion Matrix ของการแยกแยะจากกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในกลุ่มการเรียนรู้

ขั้นตอนในการได้ผลทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นการโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องโดยการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลในระบบดังแสดงในภาพที่ 9 และแบบที่ 2 เป็นการนำโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องมาทำการทดสอบกับข้อมูลนอกฐานดังแสดงในภาพที่ 10

จากผลการทดลองพบว่าโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก จากรูปที่ 9 (ก) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,645 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,285 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 54 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นผิดปกติจำนวน 59 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 91 %

ผลการทดลองพบว่าโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการ Neural Network จากรูปที่ 9 (ข) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,639 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,294 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 45 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นผิดปกติจำนวน 65 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 97.3 %

ผลการทดลองพบว่าโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการ KNN จากรูปที่ 9 (ค) การทำนาย

ภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,398 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,314 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 25 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นผิดปกติจำนวน 306 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 98.2 %

ผลการทดลองพบว่าโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการ SVM จากรูปที่ 9 (ง) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,614 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,221 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 118 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นผิดปกติจำนวน 90 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 93.2 %

ผลการทดลองพบว่าโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการ AdaBoost จากรูปที่ 9 (จ) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,477 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 1,107 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 232 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติแต่ความจริงเป็นผิดปกติจำนวน 227 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 86.4 %

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	155	78	233
	Pneumonia	11	379	390
Σ		166	457	623

(a) Number of instances

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	93.4 %	17.1 %	233
	Pneumonia	6.6 %	82.9 %	390
Σ		166	457	623

(b) Proportion of predicted

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	66.5 %	33.5 %	233
	Pneumonia	2.8 %	97.2 %	390
Σ		166	457	623

(c) Proportion of actual

(f) Logistic Regression

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	156	77	233
	Pneumonia	13	377	390
Σ		169	454	623

(a) Number of instances

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	92.3 %	17.0 %	233
	Pneumonia	7.7 %	83.0 %	390
Σ		169	454	623

(b) Proportion of predicted

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	67.0 %	33.0 %	233
	Pneumonia	3.3 %	96.7 %	390
Σ		169	454	623

(c) Proportion of actual

(g) Neural Network

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	188	45	233
	Pneumonia	57	333	390
Σ		245	378	623

(a) Number of instances

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	76.7 %	11.9 %	233
	Pneumonia	23.3 %	88.1 %	390
Σ		245	378	623

(b) Proportion of predicted

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	80.7 %	19.3 %	233
	Pneumonia	14.6 %	85.4 %	390
Σ		245	378	623

(c) Proportion of actual

(h) kNN

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	204	29	233
	Pneumonia	55	335	390
Σ		259	364	623

(a) Number of instances

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	78.8 %	8.0 %	233
	Pneumonia	21.2 %	92.0 %	390
Σ		259	364	623

(b) Proportion of predicted

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	87.6 %	12.4 %	233
	Pneumonia	14.1 %	85.9 %	390
Σ		259	364	623

(c) Proportion of actual

(i) SVM

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	140	93	233
	Pneumonia	51	339	390
Σ		191	432	623

(a) Number of instances

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	73.3 %	21.5 %	233
	Pneumonia	26.7 %	78.5 %	390
Σ		191	432	623

(b) Proportion of predicted

		Predicted		Σ
		Normal	Pneumonia	
Actual	Normal	60.1 %	39.9 %	233
	Pneumonia	13.1 %	86.9 %	390
Σ		191	432	623

(c) Proportion of actual

(j) AdaBoost

ภาพที่ 10 ผล Confusion Matrix ของการแยกแยะจากกลุ่มตัวอย่างที่ไม่อยู่ในกลุ่มการเรียนรู้

ในส่วนของการทดลองนอกกลุ่มฐานข้อมูลพบว่าโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก จากรูปที่ 10 (ก) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 379 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 155 ภาพ

ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 78 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติได้ถูกต้องจำนวน 11 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 82.9 %

ผลการทดลองนอกกลุ่มฐานข้อมูลพบว่า โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องด้วยวิธีการ Neural Network จากรูปที่ 10 (ข) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 377 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 156 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ผิดปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 77 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นไม่ปกติจำนวน 13 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 83.0 %

ผลการทดลองนอกกลุ่มฐานข้อมูลพบว่า โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องสามารถจำแนกด้วยวิธีการ KNN จากรูปที่ 10 (ค) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 333 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 188 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 45 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นไม่ปกติจำนวน 57 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 88.1 %

ผลการทดลองนอกกลุ่มฐานข้อมูลพบว่า โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องสามารถจำแนกด้วยวิธีการ SVM จากรูปที่ 10 (ง) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 335 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 204 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 29 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นไม่ปกติจำนวน 55 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 92.0 %

ผลการทดลองนอกกลุ่มฐานข้อมูลพบว่า โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องสามารถจำแนกด้วยวิธีการ AdaBoost จากรูปที่ 10 (จ) การทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 339 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ผิดปกติได้ถูกต้องจำนวน 140 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกปกติไม่ปกติแต่ความจริงเป็นปกติจำนวน 93 ภาพ ทำนายภาพถ่ายรังสีทรวงอกผิดปกติแต่ความจริงเป็นไม่ปกติจำนวน 51 ภาพ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 78.5 %

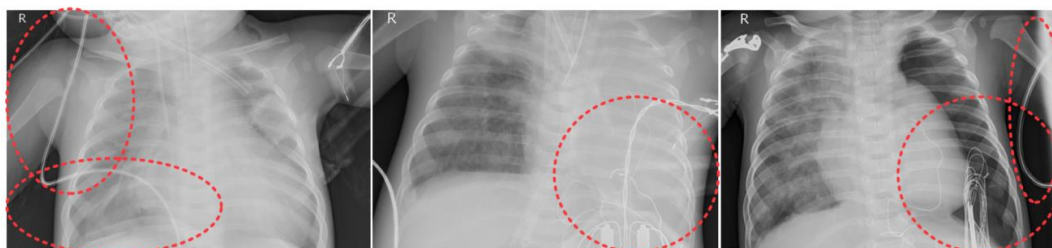
ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองของโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง โดยวิธีการของ 1.KNN 2. SVM 3. Neural Network 4. การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก 5. AdaBoost

ความแม่นยำ	KNN	SVM	Neural Network	การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก	AdaBoost	การเรียนรู้เชิงลึก	ผลรวมเฉลี่ย
ความแม่นยำของโมเดลการเรียนรู้(ที่นำเสนอ)จากฐานข้อมูล	98.2%	93.2%	97.3%	96.8%	86.4%	-	94.38%
ความแม่นยำของโมเดลการเรียนรู้(ที่นำเสนอ)นอกฐานข้อมูล	88.1%	92.0%	83.0%	82.9%	78.5%	-	84.9%
Zhang <i>et al.</i> (2021)	-	-	90.5%	-	-	-	90.5%
Kermany <i>et al.</i> (2018)	-	-	92.8%	-	-	-	92.8%
Kundu <i>et al.</i> (2021) ที่ฐานข้อมูลเดียวกัน	-	-	-	-	-	86.86%	86.86%

ตารางที่ 3 สรุปผลความถูกต้องของโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง 1. โดยวิธีการของ KNN ในส่วนของทดลองจากฐานข้อมูลนั้นได้ผลความถูกต้องอยู่ที่ 98.2% และนอกฐานได้เท่ากับ 88.1% 2. โดยวิธีการของ SVM ในส่วนของทดลองจากฐานข้อมูลนั้นได้ผลความถูกต้องอยู่ที่ 93.2% และนอกฐานได้เท่ากับ 92.0% 3. โดยวิธีการของ Neural Network ในส่วนของทดลองจากฐานข้อมูลนั้นได้ผลความถูกต้องอยู่ที่ 97.3% และนอกฐานได้เท่ากับ 83% 4. โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกในส่วนของทดลองจากฐานข้อมูลนั้นได้ผลความถูกต้องอยู่ที่ 96.8% และนอกฐานได้เท่ากับ 82.9 % และ 5. โดยวิธีการของ AdaBoost ในส่วนของทดลองจาก

ฐานข้อมูลนั้นได้ผลความถูกต้องอยู่ที่ 86.4% และนอกฐานได้เท่ากับ 78.5% ความถูกต้องโดยเฉลี่ยของวิธีการที่นำเสนอในส่วนของข้อมูลในฐานมีความถูกต้องอยู่ที่ 94.38% และนอกฐานอยู่ที่ 84.9%

จากการทดสอบและวิเคราะห์ระบบทำให้ทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่วง 7-8 เปอร์เซ็นต์ โดยข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ทำให้ผลของการตรวจรู้นั้นให้ผลที่ผิดพลาด เกิดจากสาเหตุ 2 สาเหตุ 1. เกิดจากการบดบังของภาพถ่ายรังสีทรวงอกจากอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยแสดงในภาพที่ 11 และ 2. ช่วงระยะเวลาการถ่ายภาพกับอาการของโรคยังเป็นช่วงต้นอยู่ทำให้ตอบเป็นอาการปกติ



ภาพที่ 11 ภาพการเกิดจากการบดบังของภาพถ่ายรังสีทรวงอกจากอุปกรณ์ทางการแพทย์

สรุป

งานวิจัยนี้ได้แนะนำการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคปอดบวม โดยการใช้ภาพถ่ายรังสีทรวงอก โดยการวิเคราะห์จากวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบหลายวิธีการ โดยระบบที่นำเสนอนี้ได้ตั้งสมมติฐานที่ว่า ภาพรังสีทรวงอกเป็นลักษณะข้อมูลคุณลักษณะภาพที่มีเป็นเอกลักษณ์ ซึ่งระบบที่ได้แนะนำการวิเคราะห์ภาพรังสีทรวงอกโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องโดยสรุปการแยกแยะสามารถทำได้ถูกต้องเฉลี่ย 94.38 % ในส่วนของข้อมูลในฐานการเรียนรู้ และ 84.9 % ในส่วนของข้อมูลนอกฐานข้อมูลความถูกต้องโดยรวมการเรียนรู้ของเครื่องแบบหลายวิธีสำหรับงานวิจัยในแนวทางสำหรับงานวิจัยใน

อนาคตอันใกล้จะมุ่งเน้นความถูกต้องในการประมวลผลให้มีความถูกต้องมากขึ้นเพื่อวินิจฉัยโรคปอดบวม หรือโรคเกี่ยวกับปอด หรือโรคโควิด-19

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองทำให้ทราบว่าการทำงานวิจัยในอนาคตเพื่อลดความผิดพลาดในการตรวจวัดในการแยกแยะระหว่างเป็นหรือไม่เป็นปอดบวม ต้องใช้วิธีการลดสัดส่วนของรูปถ่ายรังสีทรวงอกลง โดยวิเคราะห์ส่วนย่อยของบริเวณเฉพาะปอดเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ และขอบคุณสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่อำนวยความสะดวกสำหรับสถานที่ทำงาน วิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Bradley, J.S., Byington, C.L., Shah, S.S., Alverson, B., Carter, E.R., Harrison, C., Kaplan, S.L., Mace, S. E. , McCracken, G. H. , Moore, M.R., St Peter, S.D., Stockwell, J.A. and Swanson, J.T. 2011. The management of community-acquired pneumonia in infants and children older than 3 months of age: clinical practice guidelines by the Pediatric Infectious Diseases Society and the Infectious Diseases Society of America. **Clinical Infectious Diseases** 53: e25-76.
- Cherian, T., John, T.J., Simoes, E., Steinhoff, M.C. and John, M. 1988. Evaluation of simple clinical signs for the diagnosis of acute lower respiratory tract infection. **The Lancet** 332(8603): 125-128.
- SChlemper, J., Caballero, J., Hajnal, J.V., Price, A. and Rueckert, D. 2017. A Deep cascade of convolutional neural networks for dynamic MR image reconstruction. **IEEE Transactions on Medical Imaging** 37: 491-503.
- Harari, M., Shann, F., Spooner, V., Meisner, S., Carney, M. and De Campo, J. 1991. Clinical signs of pneumonia in children. **The Lancet** 338(8772): 928-930.
- Harris, M., Clark, J., Coote, N., Fletcher, P., Hamden, A., McKean, M. and Thomson, A. 2011. British Thoracic Society guidelines for the management of community acquired pneumonia in children: update 2011. **Thorax** 66(Suppl. 2): ii1-23.
- Jeelani, H., Martin, J., Vasquez, F., Salerno, M. and Weller, D. 2018. Image quality affects deep learning reconstruction of MRI, pp. 357-360. **In 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018)**. IEEE, Washington, D.C., United States.
- Kermay, D., Zhang, K. and Goldbaum, M. 2018. **Labeled Optical Coherence Tomography (OCT) and Chest X-Ray Images for Classification**. Physics. Available Source: <https://doi:10.17632/rscbjbr9sj.2>, January 6, 2018.
- Kubat, M. 2015. A Simple Machine-Learning Task, pp. 1-18. **In** Kubat, M., ed. **An Introduction to Machine Learning**. Springer, Coral Gable.
- Kundu, R., Das, R., Geem, Z.W., Han, G.T. and Sarkar R. 2021. Pneumonia detection in chest X-ray images using an ensemble of deep learning models. **PLoS One** 16(9): 1-29.
- Le, W.T., Maleki, F., Romero, F.P., Forghani, R. and Kadoury, S. 2020. Overview of Machine Learning: Part 2: Deep Learning for Medical Image Analysis. **Neuroimaging Clin N Am** 30: 417-431.
- Metkarunchit, T. and Charoenpojvajan, K. 2020. Detection of COVID-19 using Deep Learning

- with CT Scan Images. **Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)** 8(2): 8-17. (in Thai)
- Milletari, F., Navab, N. and Ahmadi, S.A. 2016. *V-Net: Fully Convolutional Neural Networks for Volumetric Medical Image Segmentation*, pp. 565-571. **In Proceedings of the 2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV)**. California, United States.
- Ministry of Public Health of Thailand. 2019. **Pneumonia in Thailand report 2019**. Available Source: http://www.boe.moph.go.th/boedb/surdata/506wk/y62/d31_5362.pdf, February 1, 2022. (in Thai)
- Ministry of Public Health of Thailand. 2020. **Pneumonia in Thailand report 2020**. Available Source: http://www.boe.moph.go.th/boedb/surdata/506wk/y63/d31_5263.pdf, February 1, 2022. (in Thai)
- Noisiri, W., Vijitrsaguan, C., Lertrojpanya, S., Jiamjit, K., Chayjaroon, J. and Tantibundhit, C. 2022. Sensitivity and Specificity of Artificial Intelligence for Chest Diagnostic Radiology. **Journal of the Department of Medical Services** 45(4): 55-61.
- Rajpurkar, P., Irvin, J., Zhu, K., Yang, B., Mehta, H., Duan, T., Ding, D., Bagul, A., Langlotz, C., Shpanskaya, K., Lungren, M.P. and Ng, A.Y. 2017. **CheXnet: Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning**. arXiv. Available Source: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.05225>, September 1, 2022.
- Ronneberger, O., Fischer, P. and Brox, T. 2015. *U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation*, pp. 234-241. **In Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2015**. Munich, Germany.
- Saengkaew, P., Lohvithee, M. and Sanghangthum, T. 2021. Computed Tomography for the Diagnosis of COVID-19. **Thai Journal of Physics** 37(2): 45-59.
- Sanguansat, P. 2019. **Artificial Intelligence with Machine Learning, AI Built with Machine Learning**. IDC Premier, Nonthaburi. (in Thai)
- Saraubon, K. 2020. **Learning Data Science and AI: Machine Learning with Python**. Media Network, Bangkok. (in Thai)
- Smyth, A., Carty, H. and Hart, C.A. 1998. Clinical predictors of hypoxaemia in children with pneumonia. **Annals of Tropical Paediatrics** 18(1): 31-40.
- Srikaew, A. 2009. **Research Report on Computational Intelligence**. Teaching Publications Electrical Engineering. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- World Health Organization. 2021. **Pneumonia statistics worldwide 2021**. Available Source: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>, February 1, 2022.
- Zhang, D., Ren, F., Li, Y., Na, L. and Ma, Y. 2021. Pneumonia Detection from Chest X-ray Images Based on Convolutional Neural Network. **Electronics** 10(3): 1512.

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และต้นทุนอาหาร ของการเลี้ยงขุนปูทะเล *Scylla paramamosian* และ *S. olivacea* Comparison of Growth Rate, Feed Intake and Feed Cost of Mud Crab, *Scylla paramamosian* and *S. olivacea* Fattening

ภัครมัย สุวรรณกิจ¹ ณสมนตร์ มีแก้ว¹ วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม^{2*} รุ่งทิวา คนสันทัด²

วาสนา อากรรธน์² อนรรักษ์ สุขคารา² และ จิติมา สุวรรณมาลา³

Pakkaramai Suwannakij¹, Nasamon Meekaew¹, Vutthichai Oniam^{2*}, Rungtiwa Konsantad²,

Wasana Arkronrat², Anurak Sookdara² and Jitima Suwanmala³

Received: 3 March 2022, Revised: 1 December 2022, Accepted: 3 January 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และต้นทุนอาหารในการเลี้ยงขุนปูทะเล ภายใต้ระบบจำลองภายในโรงเพาะฟัก โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็นสองชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงขุนปูทะเลชนิด *Scylla paramamosian* และชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงขุนปูทะเลชนิด *S. Olivacea* ชุดการทดลองละ 15 ซ้ำ เลี้ยงขุนปูทะเลทั้งสองชุดการทดลองนาน 20 วัน ผลการศึกษาพบว่า ปูทะเลชนิด *S. paramamosian* มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย ($11.15 \pm 2.54\%$) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย ($0.70 \pm 0.15\%/วัน$) สูงกว่าปูทะเลสกุล *S. olivacea* ($9.05 \pm 2.55\%$ และ $0.57 \pm 0.15\%/วัน$ ตามลำดับ) โดยที่ปูทะเลทั้งสองสกุลมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกันคือเท่ากับ 2.95 ± 0.54 และ $2.71 \pm 0.59\%$ น้ำหนักตัว/วัน ตามลำดับ ส่วนต้นทุนค่าอาหารเฉลี่ยของการเลี้ยงขุนปูทะเลทั้งสองสกุลไม่มีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 149.35-159.80 บาท/กิโลกรัม จากการวิจัยสรุปได้ว่า การเลี้ยงขุนปูทะเลชนิด *S. paramamosian* มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นสูงกว่าปูทะเลชนิด *S. olivacea* สายพันธุ์ของปูทะเลที่นำมาเลี้ยงขุนก็มีความสำคัญและเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงต่อการเลี้ยงขุนปูทะเลเชิงพาณิชย์เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น

¹ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

² สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77000

² Klongwan Fisheries Research Station, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Muang, Prachuap Khiri Khan 77000, Thailand.

³ สาขาวิชาวิทยาการเกษตรและประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี 94000

³ Department of Agricultural and Fishery Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Mueang, Pattani 94000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): ffisvco@ku.ac.th

คำสำคัญ: การเลี้ยงขุนปูทะเล, การเจริญเติบโต, ต้นทุน

ABSTRACT

The objectives of this study were to compare the growth, feed intake and feed cost of mud crab fattening under hatchery conditions. Two treatments used in the study were: 1) fattening of mud crab species *Scylla paramamosian* and 2) species *S. olivacea*, with 15 replicates per treatment, at 20 days. The results showed that *S. paramamosian* had an average percentage of body weight gain ($11.15 \pm 2.54\%$) and specific growth rate ($0.70 \pm 0.15\%/day$) higher than *S. olivacea* ($9.05 \pm 2.55\%$ and $0.57 \pm 0.15\%/day$, respectively). However, both crab species exhibited similar daily feeding rates, averaging 2.95 ± 0.54 and $2.71 \pm 0.59\%$ of body weight/day for *S. Paramamosian* and *S. Olivacea*, respectively. The average feed cost for cultivating both crab species did not significantly differ, ranging from 149.35 to 159.80 baht/kg. From the research, the cultivation of *S. Paramamosian* resulted in higher weight gain compared to *S. Olivacea*, highlighting the significance of crab species in influencing growth outcomes. This finding emphasizes the importance of considering crab species as a crucial factor in the economic aspects of crab cultivation, aiming for higher production yields.

Key words: mud crab fattening, growth, cost

บทนำ

ปูทะเล (*Scylla* spp.) เป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย และเป็นที่ต้องการของตลาด ทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2561 มีการนำเข้าทรัพยากรปูทะเลมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ สูงถึง 2.1 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าที่หมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจ 654.9 ล้านบาท ซึ่งปูทะเลที่นำมาใช้ประโยชน์นั้น มีทั้งที่ได้จากการจับจากธรรมชาติและจากการเพาะเลี้ยง (Department of Fisheries, 2020) ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงปูทะเลในประเทศไทยยังไม่สามารถทำได้อย่างแพร่หลาย และประสบความสำเร็จทำสัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เท่าที่ควร ทั้งนี้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านแหล่งของพ่อแม่พันธุ์ และแหล่งของลูกพันธุ์ที่ยัง

ต้องพึ่งจากธรรมชาติเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม เกษตรกรผู้เลี้ยงปูทะเลของไทยส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงแบบระบบการเลี้ยงขุน คือ การนำปูโพรก หรือปูที่ยังมีปริมาณน้ำอยู่ในเนื้อมากมาขุนเป็นระยะเวลา 20-30 วัน เพื่อให้ปูมีเนื้อแน่นขึ้น หรือมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นโดยอาหารที่นิยมใช้ในการเลี้ยงขุนปูทะเล ได้แก่ ปลาเป็ด และ หอยกะพง (Haemasaton and Pisuttharachai, 2017; Thaiburi *et al.*, 2020) โดยทั่วไปปูทะเลที่นิยมนำมาเลี้ยงขุนมีอยู่สองสายพันธุ์ ได้แก่ ปูทะเลชนิด *Scylla paramamosian* และชนิด *S. olivacea* ซึ่งมีการเจริญเติบโตดีกว่าและมีการแพร่กระจายสูงกว่าปูทะเลชนิด *S. serrata* และ *S. tranquebarica* (Shellet and Lovatelli, 2011)

การเลี้ยงปูทะเลมีรูปแบบของการเลี้ยงอยู่หลายรูปแบบ เช่น การเลี้ยงขุนในกล่องพลาสติกแบบคอนโด การเลี้ยงขุนในตะกร้าแบบแพแขวนลอยใน

บ่อดิน และการเลี้ยงขุนในบ่อดิน เป็นต้น การเลี้ยงขุนปูทะเลส่วนใหญ่ยังคงอาศัยการใช้พันธุ์จากธรรมชาติแล้วจึงนำมาเลี้ยงขุนต่อภายใต้ระบบการเลี้ยง โดยการจับปูทะเลจากธรรมชาตินั้นยังพบข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เช่น ฤดูกาล และความไม่แน่นอนของพันธุ์ปู และนอกจากนี้เกษตรกรยังขาดความรู้และความเข้าใจในการเลี้ยงขุนปูทะเล (Shellet and Lovatelli, 2011; Ferdoushi, 2015; Kaewploy *et al.*, 2018) ซึ่งอีกปัญหาหนึ่งของการเลี้ยงขุนปูทะเลในปัจจุบันคือ ไม่มีการกำหนดอัตราการให้อาหารที่แน่นอน หรือยังขาดองค์ความรู้เรื่องอัตราการกินอาหารของปูที่เลี้ยง ทำให้ผู้เลี้ยงปูทะเลขุนให้อาหารตามความเคยชินหรือให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไป บางครั้งเกินความต้องการของปูที่เลี้ยงในแต่ละวันทำให้เกิดอาหารเหลือสะสมในระบบการเลี้ยงมากเกินไป จนส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และคุณภาพปู รวมไปถึงส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าอาหารที่สูงขึ้นอีกด้วย (Pattarapanyavong *et al.*, 2019) ในกรณีของการเลี้ยงปูสกุลอื่น เช่น ปูม้า (*Portunus pelagicus*) พบว่า ปูม้าแต่ละช่วงอายุการเลี้ยงจะมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันที่แตกต่างกัน คือ ที่อายุประมาณ 30 วัน จะกินอาหารเฉลี่ยประมาณ 30%/น้ำหนักตัว/วัน ช่วงอายุ 60 วัน กินอาหารเฉลี่ยประมาณ 5%/น้ำหนักตัว/วัน และที่อายุ 90 วันขึ้นไป จะกินอาหารเฉลี่ยประมาณ 3%/น้ำหนักตัว/วัน (Oniam *et al.*, 2012) ซึ่งการทราบอัตราการกินอาหารต่อวันของสัตว์น้ำที่เลี้ยงจะนำไปสู่การบริหารจัดการด้านอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้นทุนด้านอาหารถือเป็นต้นทุนที่สูงที่สุดของการดำเนินการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือประมาณ 50-70% ของต้นทุนทั้งหมด (Meekaew *et al.*, 2021) ดังนั้น การจัดการด้านปริมาณอาหารระหว่างการเลี้ยงขุนปูทะเลถือว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญและควรคำนึงถึง โดยเฉพาะปูขาว (*S. paramamosian*)

และปูดำ (*S. olivacea*) ที่เป็นชนิดที่นิยมนำมาเลี้ยงขุน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของการเลี้ยงขุนปูทะเลทั้งสองชนิด เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการด้านการให้อาหารระหว่างการเลี้ยงขุนปูทะเลเชิงพาณิชย์ให้ได้ประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลสูงสุดต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

แบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง ๆ ละ 15 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของการเลี้ยงขุนปูทะเลชนิด *S. paramamosian* (ชุดการทดลองที่ 1) และชนิด *S. olivacea* (ชุดการทดลองที่ 2) ที่ระยะเวลาการเลี้ยงขุนนาน 20 วัน

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำปูทะเล ได้แก่ ปูขาว (*S. paramamosian*) และปูดำ (*S. olivacea*) จากการจับจากธรรมชาติโดยชาวประมงลอบปูทะเลในพื้นที่อำเภอปากน้ำ จังหวัดชุมพร มาเลี้ยงในบ่อดินขนาด 1 ไร่ ของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ ตำบลคลองวาฬ อำเภอเมืองประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 1 บ่อ โดยปล่อยปูขนาดประมาณ 30-50 กรัม (ขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย 6.57 ± 0.61 เซนติเมตร ความยาวกระดองเฉลี่ย 4.40 ± 0.42 เซนติเมตร และน้ำหนักตัวเฉลี่ย 49.84 ± 12.62 กรัม) ที่อัตรา 800 ตัว/ไร่ โดยปล่อยปูชนิดละ 400 ตัว แยกชนิดของปูทะเลอย่างตามวิธีของ Shellet and Lovatelli (2011)

เลี้ยงปูในบ่อด้วยปลาเป็ดวันละ 1 มื้อ ที่อัตราการให้อาหารประมาณ 5%/น้ำหนักตัว/วัน นานประมาณ 90 วัน จากนั้นวางลอบพับดักปูสุ่มจับปูใน

บ่อดินขึ้นมาทดลองเลี้ยงขุนตามแผนการทดลอง โดยคัดเลือกปูทะเลที่มีขนาดน้ำหนักตัวอยู่ระหว่าง 100-200 กรัม ที่มีลักษณะเป็นปูโพรงตามรายละเอียดของ Pattarapanyavong *et al.* (2019) มาใช้เป็นสัตว์ทดลอง

3. การศึกษาอัตราการกินอาหารของปูทะเลที่เลี้ยงขุน

เลี้ยงปูทะเลแต่ละชนิดในถังทดลองโดยใช้ถังไฟเบอร์กลาสขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใส่ น้ำทะเลความเค็ม 30 ppt โดยปล่อยปู 1 ตัว/ถัง บันทึกน้ำหนักตัว (body weight) ของปูแต่ละตัวด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ AND Fx2000i) วัดขนาดความกว้างของกระดอง (carapace width) และความยาวของกระดอง (carapace length) ด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์

เลี้ยงปูทะเลทั้งสองชุดการทดลองด้วยปลาลัง

Rastrelliger kanagurta หั่นชิ้น ประมาณ 20% ของน้ำหนักตัว/วัน โดยให้อาหารวันละ 1 มื้อ เวลาประมาณ 10.00 น. บันทึกปริมาณอาหารที่ให้และปริมาณอาหารที่เหลือในแต่ละวัน (น้ำหนักเปียก) เลี้ยงปูทะเลเป็นเวลา 20 วัน บันทึกข้อมูลด้านน้ำหนักก่อนการเลี้ยงและเก็บข้อมูลด้านน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงขุน จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ อัตราการกินอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ตามวิธีการคำนวณของ Jantrarotai and Setasith (1997) และ Meekaew *et al.* (2021) ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวสุดท้าย} - \text{น้ำหนักตัวเริ่มต้น}) \times 100}{(\text{น้ำหนักตัวเริ่มต้น})}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ (\%/วัน)} = \frac{\ln(\text{น้ำหนักตัวสุดท้าย}) - \ln(\text{น้ำหนักตัวเริ่มต้น})}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}} \times 100$$

$$\text{อัตราการกินอาหาร (\%/น้ำหนักตัว/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักของอาหารที่สัตว์น้ำกิน} / \text{จำนวนวัน}}{(\text{น้ำหนักตัวเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักตัวสุดท้าย}) / 2} \times 100$$

$$\text{ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด} \times \text{ราคาอาหาร}}{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

4. การจัดการคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์น้ำระหว่างการเลี้ยง

เมื่อให้อาหารเสร็จแล้ว ดูดตะกอนอาหารเหลือและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50% ทุกวัน ในเวลาประมาณ 9.00 น. โดยดำเนินการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยเครื่องมือและวิธีการดังนี้ ความเค็มของน้ำวัดด้วย Salinity

refractometer (Primatech) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และอุณหภูมิของน้ำวัดด้วย DO meter (YSI 550A) ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำวัดด้วย pH meter (Cyber Scan pH 11) จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดพลาสติกเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียรวมด้วยวิธี Koroleff's indophenol blue method ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี

Colorimetric method และค่าความเป็นด่างด้วยวิธี Titration method ภายในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐานของ American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation (2017) สำหรับการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (i5 uv-vis Hanon Spectrophotometer)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทั้งสองชุดการทดลอง (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น อัตราการกินอาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม) ด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for Windows (Version 21.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษากครั้งนี้ใช้ตัวอย่างปูทั้งสองชนิด ๆ ละ 15 ตัว ($n = 15$) เนื่องจากในระยะเวลาการเลี้ยงสัตว์ทดลองในบ่อดินที่ 90 วัน ได้ตัวอย่างปูที่มีลักษณะเป็นปูโรกน้อย อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ได้ก็สามารถสรุปทางวิชาการตามเป้าประสงค์ของการศึกษาได้ดังนี้ ผลการศึกษ้อัตราการกินอาหารของปูทะเลที่เลี้ยงขุน พบว่า ปูขาว *S. paramamosain* ที่มีเนื้อโพรกและมีน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 118-217 กรัม (ขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย 10.03 ± 0.68 เซนติเมตร ความยาวกระดองเฉลี่ย 6.78 ± 0.47 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย 176.31 ± 26.93 กรัม) เมื่อนำมาเลี้ยงขุนที่ระยะเวลา 20 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 5.9-14.1% (เฉลี่ย $11.15 \pm 2.54\%$) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะอยู่ที่ 0.38-0.94%/วัน (เฉลี่ย $0.70 \pm 0.15\%$ /วัน) อัตราการกินอาหาร

อยู่ที่ 2.05-3.78%/น้ำหนักตัว/วัน (เฉลี่ย $2.95 \pm 0.54\%$ /น้ำหนักตัว/วัน) ส่วนปูดำ *S. olivacea* ที่มีเนื้อโพรกและมีน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 113-188 กรัม (ขนาดความกว้างกระดองเฉลี่ย 9.20 ± 0.66 เซนติเมตร ความยาวกระดองเฉลี่ย 6.18 ± 0.43 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย 147.33 ± 24.16 กรัม) เมื่อนำมาเลี้ยงขุนที่ระยะเวลา 20 วัน มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารอยู่ที่ 5.4-13.6% (เฉลี่ย $9.05 \pm 2.55\%$) 0.35-0.85%/วัน (เฉลี่ย $0.57 \pm 0.15\%$ /วัน) และ 1.88-3.67%/น้ำหนักตัว/วัน (เฉลี่ย $2.71 \pm 0.59\%$ /น้ำหนักตัว/วัน) ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลาการเลี้ยงขุนนาน 20 วัน ปูขาวมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยสูงกว่าปูดำ ($P < 0.05$) โดยที่ปูทะเลทั้งสองชนิดมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) (ตารางที่ 1)

เมื่อคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักของสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม พบว่า ต้นทุนการเลี้ยงขุนปูขาว คิดเป็น 102.20-272.28 บาท/กิโลกรัม (เฉลี่ย 149.35 ± 43.48 บาท/กิโลกรัม) ส่วนต้นทุนการเลี้ยงขุนปูดำ คิดเป็น 88.53-296.33 บาท/กิโลกรัม (เฉลี่ย 159.80 ± 58.24 บาท/กิโลกรัม) เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ต้นทุนค่าอาหารของการเลี้ยงขุนปูทะเลทั้งสองชนิดต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 1)

นอกจากนี้ ค่าคุณภาพน้ำเฉลี่ยระหว่างการเลี้ยงขุนปูทะเลทั้งสองชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ระหว่างการเลี้ยงขุนปูทะเลทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนปริมาณแอมโมเนียรวม ปริมาณไนไตรท์ และค่าความเป็นด่างของทั้งสองชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และต้นทุนด้านอาหารของการเลี้ยงปูทะเล (mean±S.D.)

ตัวชี้วัด	ปูทะเลที่เลี้ยงขุน	
	ปูขาว (<i>S. paramamosain</i>)	ปูดำ (<i>S. olivacea</i>)
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น (%)	11.15±2.54 ^a	9.05±2.55 ^b
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	0.70±0.15 ^a	0.57±0.15 ^b
อัตราการกินอาหาร (%/น้ำหนักตัว/วัน)	2.95±0.54 ^a	2.71±0.59 ^a
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	149.35±43.48 ^a	159.80±58.24 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแถวที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน (a, b) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำเฉลี่ยระหว่างการเลี้ยงปูทะเลที่ความเค็ม 30 ppt (mean±S.D.)

คุณภาพน้ำ	ปูขาว (<i>Scylla paramamosain</i>)	ปูดำ (<i>Scylla olivacea</i>)
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	4.57±0.28 ^a	4.67±0.19 ^a
อุณหภูมิ (°C)	24.91±0.38 ^a	23.67±0.64 ^b
pH	8.45±0.09 ^a	8.40±0.15 ^a
ปริมาณแอมโมเนียรวม (mg-N/l)	0.82±0.07 ^b	0.61±0.10 ^a
ปริมาณไนไตรท์ (mg-N/l)	0.08±0.09 ^b	0.21±0.03 ^a
ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	177.25±27.03 ^a	167.38±7.44 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแถวที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน (a, b) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

Pattarapanyavong *et al.* (2019) รายงานว่า ปูโพรงเป็นปูที่ผ่านการลอกคราบมานาน มีเนื้อน้อย เนื้อไม่แน่น ไม่เป็นที่นิยมบริโภค ทำให้มีราคาถูก เกษตรกรจึงนำมาเลี้ยงขุนให้มีเนื้อแน่นซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและน้ำหนักให้สูงขึ้น และหากต้องการนำปูทะเลโพรงมาเลี้ยงขุนจะต้องเลือกปูที่มีน้ำหนักตัวไม่มากเกินไป และยังคงอยู่ในระยะที่เป็นปูโพรงซึ่งมีพื้นที่ว่างภายในกระดองเพื่อให้สามารถเลี้ยงขุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปต้นทุนค่าอาหารเป็นต้นทุนหลักของการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งการให้อาหารสำหรับเลี้ยงปูทะเลจึงควรคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว เพื่อควบคุมปริมาณอาหารเหลือและจะ

ช่วยลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงได้ การศึกษาครั้งนี้พบว่า การนำปูขาว *S. paramamosain* ที่มีเนื้อโพรงมาเลี้ยงขุนที่ระยะเวลา 20 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าการนำปูดำ *S. olivacea* ที่มีเนื้อโพรงมาเลี้ยงขุน โดยที่ปูทะเลทั้งสองชนิดมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกัน (2.95±0.54 และ 2.71±0.59 %/น้ำหนักตัว/วัน ตามลำดับ) และมีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักของสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน (149.35±43.48 และ 159.80±58.24 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ) ถึงแม้ว่าค่าคุณภาพน้ำบางประการของทั้งสองชุดการทดลองจะแตกต่างกัน แต่คุณภาพน้ำ

โดยรวมตลอดระยะเวลาการเลี้ยงขุ่นก็ยังคงอยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกรกินอาหาร และการเจริญเติบโตของปูทะเลที่เลี้ยง (Shellet and Lovatelli, 2011; Morales and Barba, 2015; Karim *et al.*, 2019) นอกจากนี้คุณหมูน้าภายใต้การศึกษาค้างนี้มีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากช่วงที่ดำเนินการศึกษาเป็นช่วงกลางฤดูหนาวซึ่งมีอากาศค่อนข้างเย็น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกรเจริญเติบโตหรือการเลี้ยงขุ่นปูทั้งสองชนิดได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาถึงปัจจัยด้านฤดูกาลต่อการเลี้ยงขุ่นปูทะเลเพิ่มเติมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุม หรือสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจการเลี้ยงขุ่นปูทะเลเพื่อประกอบอาชีพของเกษตรกรในแต่ละช่วงฤดูกาลต่อไป

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การเลี้ยงขุ่นปูทะเลทั้ง สองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นของปูที่เลี้ยงเท่านั้น จากรายงานที่ผ่านมาพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของปูทะเลแต่ละชนิดที่สภาพปัจจัยแวดล้อมเดียวกันจะมีความแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของปู ($P < 0.05$) ซึ่งปูขาว *S. paramamosain* เป็นชนิดที่มีอัตราการเจริญเติบโตในที่กักขังดีกว่าปูทะเลชนิดอื่น ๆ จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงมากกว่าปูทะเลชนิดอื่น (Shellet and Lovatelli, 2011; Meekaew *et al.*, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่ปูขาว *S. paramamosain* มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าปูดำ *S. olivacea* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษ้อัตราการกินอาหารมีความสำคัญแต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก โดยเฉพาะปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการกินอาหารที่มีอยู่หลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น Nguyen *et al.* (2014) รายงานว่าปูทะเล *S. serrata* ระยะวัยรุ่น (ขนาดน้ำหนักตัวเฉลี่ย 20.43 กรัม ความกว้างกระดองเฉลี่ย 4.92 เซนติเมตร) ถ้าได้รับอาหารที่มีโปรตีน 27-49% จะมีแนวโน้มอัตราการกินอาหาร

เฉลี่ยต่อสัปดาห์เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณโปรตีนในอาหาร จากนั้นอัตราการกินอาหารของปูจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนในอาหารสูงถึง 44% และ 49% เนื่องจากอัตราการบริโภคโปรตีนเพียงพอต่อความต้องการ สภาวะการอดอาหารของสัตว์น้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง โดย Simon (2010) ได้ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการกินอาหารของกุ้งมังกร (*Jasus edwardsii*) โดยมีการงดอาหารกุ้งเป็นเวลา 4 วันเพื่อให้แน่ใจว่าระบบเผาผลาญของกุ้งกลับสู่สภาวะพื้นฐานก่อนแล้วจึงให้อาหารเพื่อศึกษาอัตราการกินอาหาร Azodi *et al.* (2016) รายงานว่า ปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) ที่อดอาหารมีอัตราการกินอาหารสูงกว่าปลาที่ไม่ถูกอดอาหารอย่างมีนัยสำคัญ รูปแบบของการเลี้ยงขุ่นก็มีผลต่ออัตราการกินอาหาร โดย Morales and Barba (2015) รายงานว่า ภายใต้ระบบการเลี้ยงขุ่นปูทะเล *S. serrata* ที่ระดับความเข้มแสงเป็น 0 นั้น ประสิทธิภาพในการกินอาหารและน้ำหนักของปูสูงขึ้นมากกว่าที่ระดับแสงอื่น Begum *et al.* (2009) รายงานว่า การเลี้ยงขุ่นปูทะเล *S. serrata* ด้วยการกั้นคอกที่ทำจากไม้ไผ่ให้อัตราเติบโตดีกว่าเลี้ยงโดยปล่อยลงในบ่อดิน และในส่วนของความถี่ของการให้อาหารก็ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน ซึ่ง Karim *et al.* (2019) รายงานว่าการเลี้ยงขุ่นปูทะเล *S. olivacea* ที่ความถี่การให้อาหารต่างกัน 1 และ 2 ครั้งต่อวัน จะทำให้ปูมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดและอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดเมื่อให้อาหาร 1 ครั้งต่อ 4 วัน นอกจากนี้ อัตราการกินอาหารเฉลี่ยจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับระยะเวลา หรือวงจรการลอกคราบของปู โดยปูทะเล *S. serrata* ที่อยู่ในระยะก่อนลอกคราบ (pre-molt) จะมีอัตราการกินอาหารน้อยกว่าปูที่อยู่ในระยะ inter-molt (Nguyen *et al.*, 2014) เพศก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตราการกินอาหารของสัตว์น้ำ โดยในสัตว์น้ำจำพวกครัสเตเชียนเช่น แมงดาทะเล (*Tachypleus gigas*) เพศเมียจะมีอัตราการกิน

อาหารสูงกว่าเพศผู้ และมีการยอมรับอาหารเมื่อถูกย้ายไปอยู่ในที่กักขังเร็วกว่าเมงดาเพศผู้ถึง 1 สัปดาห์ ในขณะที่เมงดาเพศผู้ใช้เวลาจนถึง 2 สัปดาห์ในการยอมรับอาหาร (Razak and Kassim, 2018)

ในด้านของต้นทุนค่าอาหารสำหรับการเลี้ยงขุนปูทะเลนั้น การศึกษาครั้งนี้พบว่าต้นทุนเฉลี่ยของการเลี้ยงขุนปูขาว *S. paramamosain* และปูดำ *S. olivacea* ไม่มีความแตกต่างกัน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 149.35-159.80 บาท/กิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ในด้านของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับการเลี้ยงขุนปูขาวน่าจะให้ผลตอบแทนสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลตอบแทนที่ได้จากปูดำ เนื่องจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาและปัจจัยของการเลี้ยงเดียวกัน ปูขาวจะให้น้ำหนักตัวหรือมีการเจริญเติบโตดีกว่าปูดำ อีกทั้งมีรายงานว่าตลาดมีความต้องการปูขาวสูง และปูขาวมีราคาขายที่สูงกว่าปูดำ (Christensen *et al.*, 2004; Bir *et al.*, 2020) ด้วยเหตุผลดังกล่าว การเลือกเลี้ยงปูขาวจะทำให้เกิดรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตที่ดีกว่า

สรุป

ผลการศึกษานี้พบว่า การนำปูขาว *S. paramamosain* ที่มีเนื้อโพรกมาเลี้ยงขุนที่ระยะเวลา 20 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าการนำปูดำ *S. olivacea* ที่มีเนื้อโพรกมาเลี้ยงขุน โดยที่ปูทะเลทั้งสองชนิดมีอัตราการกินอาหารเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกัน และเมื่อคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักของสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยต้นทุนเฉลี่ยของการเลี้ยงขุนปูขาว *S. paramamosain* เฉลี่ยที่ 149.35±43.48 บาท/กิโลกรัม ส่วนของปูดำ *S. olivacea* เฉลี่ยที่ 159.80±58.24 บาท/กิโลกรัม การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าชนิดของปูทะเลที่นำมาเลี้ยงขุนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงต่อการเลี้ยงขุนปู

ทะเลเชิงพาณิชย์ให้ได้ประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “การพัฒนาตัวแบบเชิงธุรกิจการผลิตปูทะเลตลอดห่วงโซ่อุปทานโดยการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้เสียเพื่อสร้างเป็นสินค้าเศรษฐกิจชนิดใหม่รองรับการเปลี่ยนแปลงและวิกฤตด้านเศรษฐกิจในจังหวัดปัตตานี” ที่สนับสนุนงบประมาณโดย หน่วยบริหารและจัดการทุนวิจัยและนวัตกรรมด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. 2017. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 23rd ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Azodi, M., Nafisi, M., Morshedi, V., Modarresi, A. and Faghih-Ahmadani, A. 2016. Effects of intermittent feeding on compensatory growth, feed intake and body composition in Asian sea bass (*Lates calcarifer*). **Iranian Journal of Fisheries Sciences** 15(1): 144-156.
- Begum, M., Shah, M.M.R., Mamun A.A. and Alam J. 2009. Comparative study of mud crab (*Scylla serrata*) fattening practices between two different systems in Bangladesh. **Journal of the Bangladesh Agricultural University** 7(1): 151-156.

- Bir, J., Islam, S.S., Sabbir, W., Islam, M.R. and Huq, K.A. 2020. Ecology and reproductive biology of Mud Crab *Scylla* spp: A study of commercial mud crab in Bangladesh. **International Journal of Academic Research and Development** 5(2): 1-7.
- Christensen, S.M., Macintosh, D.J. and Phuong, N.T. 2004. Pond production of the mud crabs *Scylla paramamosain* (Estampador) and *S. olivacea* (Herbst) in the Mekong Delta, Vietnam, using two different supplementary diets. **Aquaculture Research** 35(11): 1013-1024.
- Department of Fisheries. 2020. **Fisheries statistics of Thailand 2018**. Fisheries Development Policy and Strategy Division, Bangkok. (in Thai)
- Ferdoushi, Z. 2015. Seasonal assessment of existing mud crab (*Scylla serrata*) fattening practice in Bangladesh. **Agriculture, Livestock and Fisheries** 2(1): 135-141.
- Haemasaton, T. and Pisuttharachai, D. 2017. Productivity improvement of mud crabs *Scylla serrata* (Forsk.) in cage-pond using different sheltering materials. **Thaksin University Journal** 20(3): 1-7. (in Thai)
- Jantrarat, W. and Setasith, P. 1997. **Proportion of protein from fish meal and soybean meal at the lowest level doesn't have effect on growth, utilization of food and feeding rate of hybrid catfish**. Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Kaewploy, N., Aquino, U.M. and Phonpakdee, R. 2018. The People's participation on the indigenous serrated mud crab fattening practices in La-ngu district, Satun province, Thailand. **International Journal of Agricultural Technology** 14(7) : 1315-1326.
- Karim, M. Y., Azis, H. Y., Amri, K., Alimuddin, N. and Anton, M. 2019. Fattening of mangrove crab (*Scylla olivacea*) by silvofishery system with different feeding frequency. **International Journal of Scientific and Research Publications** 9(3): 2250-3153.
- Meekaew, N., Suwannakij, P., Sookdara, A. and Arkronrat, W. 2021. Effect of salinity levels on specific growth rate and feed intake of mud crab (*Scylla paramamosian*). **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University** 23(2): 58-64. (in Thai)
- Morales, M.I. and Barba, R.B. 2015. Effects of photoperiod, water levels and sex on the feeding efficiency and weight increment of mud crabs (*Scylla serrata* Forskall) in a crab-fattening culture system. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies** 3(1): 320-324.
- Nguyena, N.T.B., Lemaireb, L.C.P. and Wantieza, L. 2014. Feed intake, molt frequency, tissue growth, feed efficiency and energy budget during a molt cycle of mud crab juveniles, *Scylla serrata* (Forskål, 1775), fed on different practical diets with graded levels of soy protein concentrate as main source of protein. **Aquaculture** 434: 499-509.
- Oniam, V., Arkronrat, W. and Wechakama, T. 2012. Feed intake and survival rate assessment of blue swimming crab (*Portunus palagicus*)

- raised in earthen pond. **Khon Kaen Agriculture Journal** 28(1): 83-91. (in Thai)
- Pattarapanyavong, N., Jorrakate, W. and Promruksa, P. 2019. Effect of culture of mud crab (*Scylla* spp.) in cement pond and the attractiveness of investment intensive culture of mud crab in single box, pp. 1-7. *In Proceedings of the 11th Walailak Procedia Conference*. Walailak University, Nakhon Si Thammarat. (in Thai)
- Razak, M.R. and Kassim, Z. 2018. Food Intake, gut transit time and defecation pattern of Asian horseshoe crab, *Tachypleus gigas*. **ASM Science Journal** 11(2): 56-66.
- Shellet, C. and Lovatelli, A. 2011. **Mud crab aquaculture – A practical manual**. FAO Fisheries and Aquaculture, Technical Paper. No. 567, Rome.
- Simon, J.C. 2010. Feed intake and its relation to foregut capacity in juvenile spiny lobster, *Jasus edwardsii*. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research** 43(1): 195-203.
- Thaiburi, N., Srimetea, P., Trimanee, S., Limcharoen, S. and Jun-iad, J. 2020. Costs and benefits black crab farming of Narathiwat Province. **Khon Kaen Agriculture Journal** 48(Suppl. I): 713-718. (in Thai)

การพัฒนาระบบป้องกันนกกรบควนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ และคลื่นความถี่สูง

Development of Bird Guarding Systems with Image Processing Techniques and High-Frequency Waves

ปาณิสรา หาดขุนทด^{1*} และ ธนากร แสงกุดเลาะ²

Panisara Hadkhuntod^{1*} and Thanakorn Sangkudluo²

Received: 10 March 2022, Revised: 27 December 2022, Accepted: 13 January 2023

บทคัดย่อ

การเลี้ยงปลาทึบในกระชังมักจะพบนกเข้ามากินปลาในช่วงเวลาแรกของการเลี้ยงปลาทึบ การป้องกันการรบกวนจากนกจะส่งผลให้จำนวนคงเหลือของปลาทึบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เครื่องป้องกันนก รบกวนในปัจจุบันการใช้คลื่นรังสีอินฟราเรดในการตรวจจับ ไม่สามารถแยกสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ออกจากกันได้ จึง ไม่เหมาะกับการป้องกันนกในกระชังปลา หรือภาคพื้นดิน ทีมวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบป้องกันนก รบกวนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและคลื่นความถี่สูง โดยการนำเอาหลักการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการ แยกแยะสิ่งมีชีวิตภาคพื้นดินว่าใช่ชนหรือไม่ หากพบว่าวัตถุคล้ายนกมากกว่าหรือเท่ากับ 50 % ให้ส่งสถานะไปแจ้ง บอร์ด ESP8266 แล้วจึงทำการขับไล่ด้วยคลื่นความถี่สูง โดยการส่งเสียงที่นกหวาดกลัว จำนวน 3 ชนิด คือ เสียงนก อินทรี เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีวิจัยเป็น 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน การวิเคราะห์ การออกแบบ และการนำไปใช้ ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่า ความแม่นยำของอัลกอริทึม YOLOv6-s อยู่ที่ 0.84 ในด้าน ของความเร็วในการประมวลผลพบว่าอยู่ที่ 0.1 เฟรมต่อวินาที และ F1-Score เท่ากับ 0.82 เสียงความถี่สูงสามารถ ป้องกันนกกรบควนในระยะ 5-10 เมตร

คำสำคัญ: ระบบป้องกันนก, การประมวลผลภาพ, คลื่นความถี่สูง

¹ สาขาวิทยาการข้อมูลและการจัดการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Department of Data Science and Information Management, Faculty of Science and Technology Phibunsongkhram Rajabhat University, Mueang, Phitsanulok 65000, Thailand.

² สำนักงานเลขานุการ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

² Secretary's office, Faculty of Education, Naresuan University, Mueang, Phitsanulok 65000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): panisara.h@psru.ac.th

ABSTRACT

Raising Red Tilapia in cages is often accompanied by birds eating fish during the first culturing period. Guarding against bird infestation has increased the number of red tilapia. Anti-bird detectors currently use infrared detection to detect them. It cannot be separated from other living things, like birds, and therefore it is not suitable for guarding bird infestations in cages or on the ground. Therefore, the research team had an idea to develop bird guarding systems with image processing techniques and high-frequency waves by bringing in image processing principles to help distinguish between terrestrial beings that are birds or not. If a bird-like object was found to be greater than or equal to 50%, the system will send the status to the ESP8266 board and then perform a high-frequency repulsion by randomly selecting three types of frightening sounds, namely an eagle barking, a dog barking, and the sound of firecrackers. The research method is divided into four steps: planning, analysis, design, and implementation. The results demonstrated that the YOLOv6-s algorithm achieved an accuracy of 0.084. In terms of processing speed, it operated at 0.1 frames per second, and the F1-Score was determined to be 0.082. High-frequency sound can guard birds against a distance of 5 to 10 meters.

Key words: bird guarding systems, image processing, high-frequency

บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการผลิตเพื่อทดแทนผลผลิตสัตว์น้ำที่ได้จากธรรมชาติ ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงในช่วงที่ผ่านมาลดลงเป็นอย่างมาก อันมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น การเกิดโรค การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ราคาไม่จูงใจ มีการนำเข้าสัตว์น้ำจากประเทศเพื่อนบ้านมาขายในราคาถูกกว่าที่ผลิตในประเทศ รวมทั้งการประกาศใช้พระราชกำหนดการประมง พ.ศ. 2558 และกฎหมายที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2554 – 2563) ปลานิล มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุด มีจำนวนฟาร์มเลี้ยงเฉลี่ย 296,846 ฟาร์มต่อปี (ร้อยละ 57.94) เนื้อที่ 438,171 ไร่ต่อปี (ร้อยละ 53.27) มีผลผลิตเฉลี่ย 201,359 ตันต่อปี

(ร้อยละ 48.54) คิดเป็นมูลค่า 9,900 ล้านบาทต่อปี (ร้อยละ 40.69) โดยผลผลิตและมูลค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 3.69 และ 4.99 ต่อปีตามลำดับ (Fisheries Statistics Group, 2020)

ปลาตะบิล (Nile tilapia) เป็นปลาที่พัฒนามาจากสายพันธุ์ปลานิล ด้วยขนาดตัวปลาที่ใหญ่รสชาติดี เนื้อแน่นมีคุณภาพ สีสดตัวปลาน่ารับประทาน ไม่มีกลิ่นคาว ราคาไม่แพง ผู้บริโภคจึงนิยมเนื้อปลาตะบิลเพิ่มมากขึ้น จนทำให้บางครั้งปริมาณปลาตะบิลจากแหล่งผลิตมีไม่เพียงพอความต้องการของลูกค้า เกษตรกรที่ประกอบอาชีพทางการประมงภายในจังหวัดพิษณุโลก มีการเลี้ยงปลาอยู่ในบ่อดินและกระชังในแม่น้ำ ซึ่งการเลี้ยงเชิงพาณิชย์จะเน้นเลี้ยงภายในกระชังเป็นหลัก มีเกษตรกรผู้เลี้ยงที่ขึ้นทะเบียนทั้งจังหวัด มีอยู่ประมาณ 9,000 กว่าราย โดยการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ส่วน

ใหญ่เป็นปลานิลแดงในกระชัง ในปี 2563 มีมูลค่าสูงถึง 194 ล้านบาท (Fisheries in Phitsanulok Province, 2020)

จากการลงพื้นที่วิสาทกิจชุมชนกลุ่มเลี้ยงปลาทั้บิริมในกระชังหมู่บ้านปากโทก ตำบลจอมทอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก พบว่าในช่วงระยะแรกในการเลี้ยงปลานิลแดงเชิงพาณิชย์ในกระชังนั้น เกษตรกรพบปัญหาในการเลี้ยงปลา คือ ปัญหาศัตรูปลา ซึ่งศัตรูปลาที่มักจะพบในปลาขนาดเล็กคือ นก นกที่พบในช่วงกลางวันจะเป็นนกยาง นกฟิราบ ในช่วงกลางคืนจะเป็นนกแสก ซึ่งนกเหล่านี้มักจะเข้ามากินปลาขนาดเล็กในกระชัง แม้เกษตรกรจะพยายามใช้ตาข่ายมาคลุมกระชังเพื่อป้องกันนกแล้ว แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการกินปลาเล็กได้ เนื่องจากนกจะมีการปรับตัว ทำลายตาข่าย หรือแม้แต่เดินบนตาข่ายเพื่อกินปลาในกระชัง กลับส่งผลดีให้กับนกเพราะสามารถกินปลาได้ง่ายขึ้น ซึ่งหากเกษตรกรสามารถลดความเสี่ยงศัตรูปลาในช่วงแรกได้ ในระยะที่ปลามีขนาดโตขึ้นแล้วมักจะไม่มีพบปัญหาดังกล่าว เนื่องจากปลามีขนาดใหญ่ขึ้น นกไม่สามารถเข้าไปกินปลาได้ อัตราการรอดของปลาจึงมีอัตราที่สูงขึ้น (Hadkhuntod, 2022)

การนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ในการใช้เครื่องมือทำให้เกิดเสียงดัง เพื่อให้หนักตกใจบินหนี อาจเป็นเสียงศัตรูทางธรรมชาติ เช่น หมา แมว หรือเหยี่ยวจับนก เป็นแนวทางหนึ่งการป้องกันการรบกวนจากนก ซึ่งอาจได้ผลในระยะสั้น ๆ จนอาจเกิดความเคยชินและไม่กลัวในที่สุด (Chaipakdee and Chaipakdee, 2009) เครื่องไล่กด้วยเสียงส่วนใหญ่ใช้การวางตำแหน่งตัวเซ็นเซอร์ตรวจคลื่นรังสีอินฟราเรดที่แพร่จากนกหรือสิ่งมีชีวิตที่มีการเคลื่อนไหวผ่านจุดเซ็นเซอร์ ผ่านหรือเกาะอยู่บริเวณ 180 องศาในมุมสูง หรือมุมที่สิ่งมีชีวิตอื่นไม่เข้าไปรบกวน ซึ่งการใช้คลื่นรังสีอินฟราเรดไม่สามารถแยกสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ออกจากนกได้ จึงไม่เหมาะสม

การไล่กในกระชังปลา หรือการไล่กที่มักมาในภาคพื้นดิน

จากความสำเร็จและเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบป้องกันนกบริเวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและคลื่นความถี่สูง โดยการนำเอาหลักการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการแยกแยะสิ่งมีชีวิตภาคพื้นดินเพื่อทำการวิเคราะห์ว่าเป็นนกจริงหรือไม่ แล้วจึงทำการขับไล่ด้วยคลื่นความถี่สูง โดยการส่งเสียงที่นกหวาดกลัว จำนวน 3 ชนิด คือ เสียงนกอินทรี เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด ในการขับไล่กที่มารบกวนปลาในกระชัง ในช่วงระยะเวลาที่ปลามีขนาดเล็ก การขับไล่ศัตรูปลาในช่วงเวลาแรกของการเลี้ยงปลาทั้บิริม เพื่อให้จำนวนคงเหลือของปลาทั้บิริมมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เป็นการช่วยเกษตรกรในการลดความเสี่ยง และความเสียหายของผลผลิตได้เป็นอย่างดี

วิธีดำเนินการวิจัย

ทีมผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยอาศัยขั้นตอนที่ประยุกต์จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบตามแนวทางของ Dennis *et al.* (2012) ที่แบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผน (Planning) แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการย่อย ๆ คือ

1.1 การวิเคราะห์ความต้องการ จากการศึกษาเอกสาร และการลงพื้นที่วิสาทกิจชุมชนกลุ่มเลี้ยงปลาทั้บิริมในกระชังหมู่บ้านปากโทก ตำบลจอมทอง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ไปสังเกตการณ์ พบว่าในช่วงระยะแรกในการเลี้ยงปลานิลแดงเชิงพาณิชย์ในกระชังนั้น เกษตรกรมักจะพบกับปัญหาศัตรูปลา ซึ่งส่วนใหญ่มากจากปัญหานกกินปลา แม้เกษตรกรจะพยายามใช้วิธีการหลายหลายวิธี เช่น การใช้ตาข่ายมาคลุมกระชัง ใช้อุปกรณ์ไล่ก และวิธีอื่น ๆ ก็ยังไม่สามารถ

แก้ปัญหานี้ได้ เนื่องจากนกจะมีการปรับตัวทางธรรมชาติ หากเกษตรกรสามารถลดความเสี่ยงศัตรูปลาในช่วงแรกจะส่งผลให้อัตราการอยู่รอดของปลาเพิ่มขึ้น

1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ จากการศึกษาความเป็นไปได้ จากสิ่งที่ได้จาก 1.1 ทีมวิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาระบบป้องกันนกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและคลื่นความถี่สูง โดยการนำเอาหลักการประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการแยกแยะสิ่งมีชีวิตจากพื้นดินว่าใช่ชนหรือไม่ แล้วจึงทำการจับไล่ด้วยคลื่นความถี่สูง โดยการสุ่มเสียงที่นกหวาดกลัวจำนวน 3 เสียง ในการขับไล่ที่มารบกวนปลาใน

กระชังในขณะที่ปลามีขนาดเล็ก การขับไล่ศัตรูปลาในช่วงเวลาแรกของการเลี้ยงปลาทั้งหมด จะส่งผลให้จำนวนคงเหลือของปลาทั้งหมดมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เป็นการช่วยเกษตรกรในการลดความเสี่ยง และความเสี่ยงของผลผลิตได้เป็นอย่างดี

1.3 การวางแผน ทีมวิจัยมีระยะเวลาในการศึกษาความต้องการ เลือกใช้อุปกรณ์ รวบรวมภาพถ่ายนก พัฒนาระบบ ทดลองใช้และแก้ไขปรับปรุงระบบ ในช่วงระยะเวลา ธันวาคม 2564 - ธันวาคม 2565
ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ (Analysis) ขั้นตอนนี้ทีมวิจัยได้ใช้ Use Case Diagram เพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบดังนี้

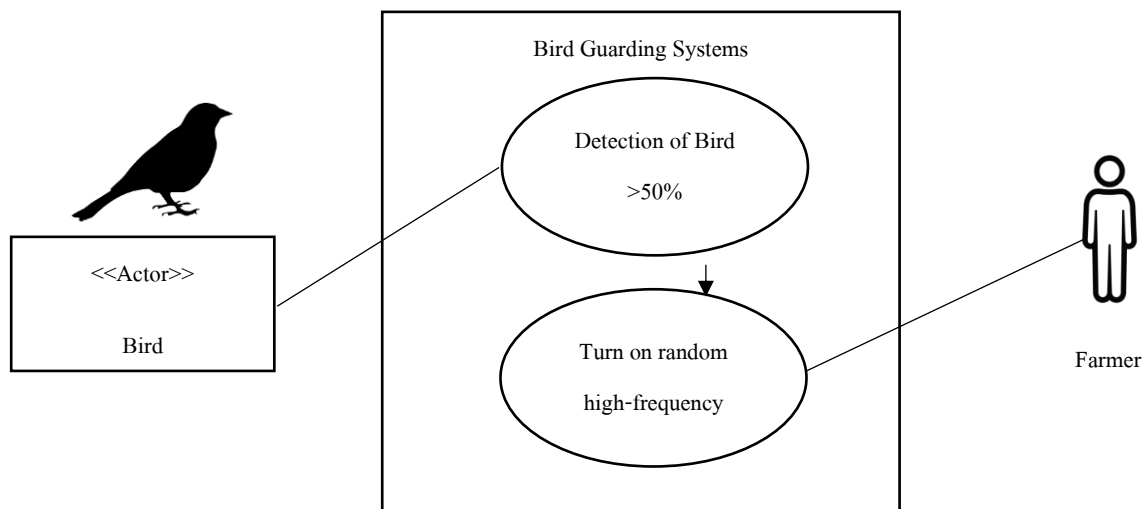


Figure 1 Use Case Diagram of Bird Guarding Systems

จาก Figure 1 เมื่อนกเข้ามาใกล้บริเวณที่กล้องมองเห็น กล้องจะทำการตรวจจับภาพนก แล้วนำไปประมวลผลภาพว่าใช่ชนหรือไม่ เมื่อทำการประมวลผลแล้วพบว่าเหมือนนก เท่ากับหรือมากกว่า 50 % ระบบจะเปิดและสุ่มคลื่นเสียงความถี่สูงที่บันทึกไว้ทำการขับไล่โดยอัตโนมัติ หรือตัวเกษตรกรสามารถกดปุ่มไล่ได้ด้วยตนเอง

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบ (Design) ทีมวิจัยได้นำข้อมูลจากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลมาออกแบบ

และพัฒนารูปแบบทางกายภาพ (Physical Model) โดยเริ่มจากการออกแบบงานทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ทั้งในส่วนนำเข้าข้อมูลเข้า (Input) ส่วนประมวลผล (Process) ส่วนแสดงผลลัพธ์ (Output) ส่วนจัดเก็บข้อมูล (Storage) การออกแบบจำลองข้อมูล การออกแบบรายงานและการออกแบบหน้าจอในการติดต่อกับผู้ใช้ระบบในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน โดยสามารถแสดงการออกแบบรูปแบบการทำงานภาพรวมของระบบ และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องดังแสดงใน Figure 2

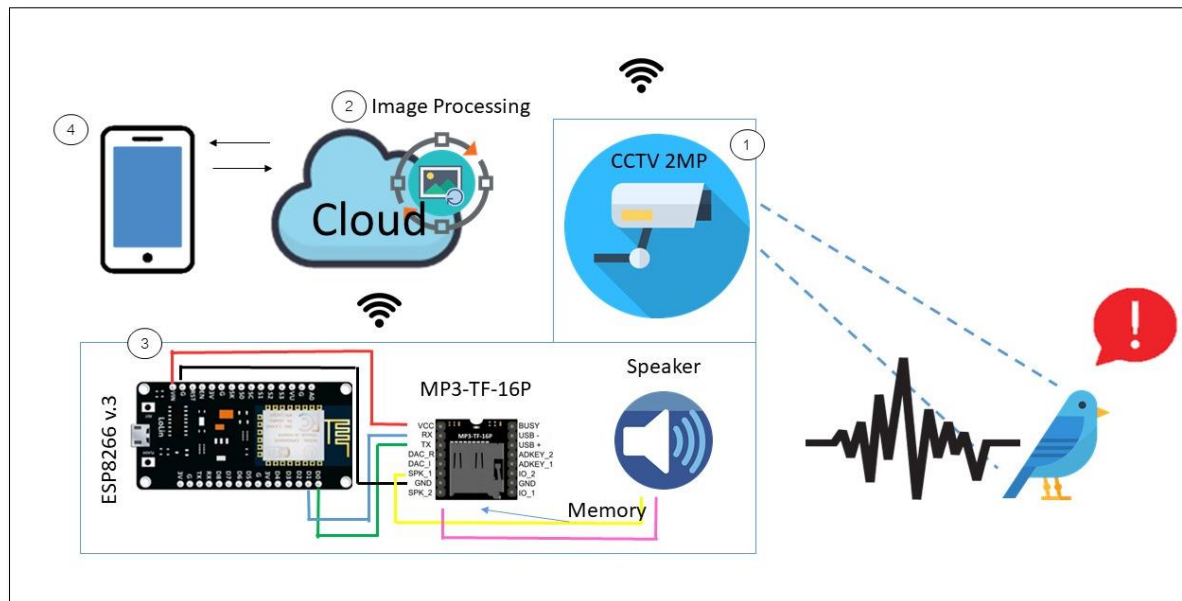


Figure 2 Concept Diagram of Bird Guarding Systems

จาก Figure 2 อธิบายการทำงานของระบบ ป้องกันนกกรบกวนด้วยคลื่นความถี่สูงได้ ดังนี้

จุดที่ 1 กล้องวงจรปิด (Closed Circuit Television) เป็นกล้องแบบที่สามารถรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย อินเทอร์เน็ต (IP Camera) ความละเอียดขั้นต่ำ 2 MP กล้องจะทำการบันทึกภาพในรูปแบบวิดีโอส่งไปประมวลผลที่ระบบประมวลผลภาพบนคลาวด์ ผ่าน สัญญาณไวไฟ (Wi-Fi) เพื่อทำการตรวจจับว่าวัตถุที่ พบใช้นกหรือไม่

จุดที่ 2 ระบบประมวลผลภาพ จะใช้เทคนิค การประมวลผลภาพ ด้วยอัลกอริทึม YOLO

YOLO เป็นการรู้จำวัตถุที่ใช้วิธีการที่เรียกว่า “Fast single-shot detection” ซึ่งจะเป็นวิธีการ ที่สามารถตรวจจับวัตถุได้จากการส่งผ่านรูปภาพเข้าไป ในระบบเพียงครั้งเดียว โดยใช้หลักการโครงข่าย ประสาทแบบคอนโวลูชัน อัลกอริทึม YOLO มีการ พัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย YOLO มีหลายรุ่น (Version)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ YOLOv6-s ซึ่งเป็นรุ่นที่มีการ พัฒนาประสิทธิภาพความแม่นยำ สูงสุด ด้วยตาราง Confusion Matrix จากการทดลองของผู้วิจัย ซึ่งรุ่น Tinyและs นั้นจะมีจำนวนชั้นน้อยกว่าอัลกอริทึมแบบ YOLO ประเภทสมบูรณ์ทำให้ลดเวลาและลดการใช้ ทรัพยากรในการประมวลผลลงได้อย่างมาก เพราะ การจำแนกวัตถุต้องการจำแนกเพียงให้รู้ว่าเป็นนก เท่านั้น ในอัลกอริทึม YOLO การดำเนินการจำแนก วัตถุว่าเป็นชนิดอะไร (Classification) และดำเนินการ หาตำแหน่งของวัตถุ (Localization)โดยใช้กรอบล้อม วัตถุ (Bounding Box) ขั้นตอนการทำงานของ YOLO (Redmon et al., 2016) จะเป็นในลักษณะการแบ่ง รูปภาพเป็นส่วน ๆ หรือกริด (Grid) จากนั้นทำการ เลื่อนการคำนวณไปที่ละจุดตามที่แบ่งกริดไว้ (Sliding Windows) พร้อมกับคำนวณหาว่าวัตถุจะมี อยู่จริงหรือไม่มากนักน้อยเพียงไร กระบวนการทำงาน ของระบบดังแสดงใน Figure 3

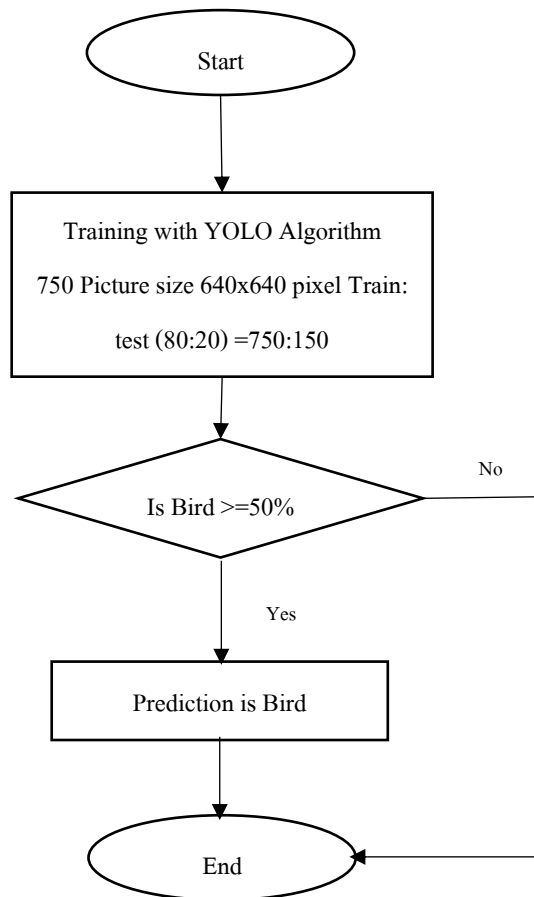


Figure 3 Processing Bird Guarding Systems

จาก Figure 3 ทีมวิจัยได้นำภาพนก ขนาด 640 x 640 Pixel จำนวน 750 ภาพ เป็นข้อมูลในการ Train ร้อยละ 80 และ Test ร้อยละ 20 แบ่งเป็น 600 : 150 ทำการประมวลผลภาพ ด้วย Google colab โดยทำการคัดเลือกอัลกอริทึม YOLO พัฒนาจากภาษา Python ด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความเร็วและความแม่นยำ เมื่อคัดเลือกได้แล้วนำมาพัฒนาระบบ หากอัลกอริทึมของตัวระบบสามารถตรวจจับภาพนกมากกว่าหรือเท่ากับ 50% จะทำการพยากรณ์ว่าคือนก หากไม่ใช่จะสิ้นสุดการทำงาน หากพบว่าเป็นนกแล้ว ระบบจะส่งสถานะและทำการส่งงานจุดที่ 3 ถัดไป

จุดที่ 3 เป็นกล่องวงจรในการควบคุมระบบเสียง

ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิดคือ บอร์ด ESP8266 v.3 สำหรับความคุมการปิดเปิดเสียง, บอร์ด MP3-TF-16P และ Memory สำหรับเก็บไฟล์เสียง และไดร์เวอร์เสียงแหลม แม่เหล็กนิโอไคนิยมวอยส์คอยล์ ขนาด 1 นิ้ว ชนิดเกลียว สำหรับ output เสียงคลื่นความถี่สูง การเชื่อมต่อ บอร์ด ESP8266 v.3 ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ขาที่ใช้เชื่อมต่อกับบอร์ด MP3-TF-16P คือ

ESP8266 v3		MP3-TF-16P
VIN	>>	VCC
G	>>	GND
D0	>>	TX
D1	>>	RX

ส่วนระหว่าง บอร์ด MP3-TF-16P กับไดร์เวอร์เสียง แพลม แม่เหล็กนีโอไดเนียมวอยส์คอยล์ ขนาด 1 นิ้ว ชนิดเกลียวให้เชื้อ SPK_1 และ SPK_2 ตามลำดับ เมื่อ ESP8266 ได้รับสถานะให้เปิดเสียง ระบบที่ถูกพัฒนา จะทำการสุ่มเสียงใน Memory ในที่นี้มีเสียงอยู่ 3 ชนิด คือ เสียงเหยี่ยว เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด เพื่อส่งให้ไดร์เวอร์แปลงเสียงเพื่อขับไล่นก เสียงที่ออกมา จะเป็นคลื่นความถี่สูง ทำให้นกตกใจกลัวและหนีไปในที่สุด

จุดที่ 4 คือส่วนแสดงผลบนหน้า smart phone โดยทีมวิจัยได้ออกแบบให้ระบบโดยใช้เว็บ แอปพลิเคชันโดยใช้ภาษา PHP ที่สามารถกดเลือกได้เอง ในกรณีที่เกิดสิ่งไม่พบภาพนก แต่เกษตรกร ต้องการทดสอบหรือแสดงเสียงในการขับไล่นกเอง

ขั้นตอนที่ 4 การนำไปใช้ (Implementation) ทีมวิจัยได้นำระบบที่พัฒนา ด้วยภาษา Python และ PHP ไปทดลองใช้งานจริงและทำการทดสอบผลการ ใช้งาน ที่กระชังปลาหับทิม ตำบลจอมทอง อำเภอ เมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก เพื่อทำการปรับปรุง อัลกอริทึม YOLO ของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และพร้อมปรับแก้ไขข้อผิดพลาด

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการออกแบบและพัฒนาระบบป้องกัน นกרבควนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและคลื่น ความถี่สูง ทีมวิจัยได้แบ่งผลของการพัฒนาออกเป็น สองส่วน ได้แก่ การทำงานของอุปกรณ์ (Hardware) และการทำงานโปรแกรม (Software) ซึ่งในแต่ละ ส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

1. การทำงานของอุปกรณ์ (Hardware)

กล้องวงจรปิดจะทำการบันทึกภาพใน รูปแบบวิดีโอ ส่งข้อมูลผ่านไวไฟ (Wi-Fi) เพื่อไป ประมวลผลที่ฝั่ง Cloud Server และเชื่อมต่ออุปกรณ์ 3 ชนิดคือ บอร์ด ESP8266 v.3 สำหรับควบคุมการ ปิดเปิดเสียง, บอร์ด MP3-TF-16P และ Memory สำหรับเก็บไฟล์เสียง และไดร์เวอร์เสียง แพลม แม่เหล็กนีโอไดเนียมวอยส์คอยล์ ขนาด 1 นิ้ว ชนิด เกลียว ดังแสดงใน Figure 4 แล้วนำวงจรเข้าไปใส่ใน กล่องที่ทำขึ้นเองจาก ท่อ PCV ขนาด 2 นิ้ว เจาะรู ปิด หัวและท้ายเพื่อป้องกันน้ำเข้า นำไปติดตั้งที่กระชัง ปลาหับทิม ตำบลจอมทอง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ดัง Figure 5

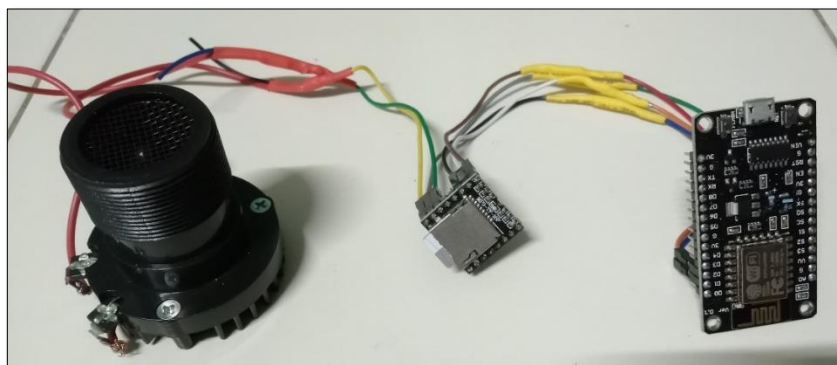


Figure 4 Connection to Birds Guarding



Figure 5 Bird repellent

จากการติดตั้งกล้องควบคุมการปิด/เปิดเสียงพบว่า สามารถส่งเสียงในการขับไล่นก ได้ประมาณ 5-10 เมตร โดยทำการเชื่อมต่อกล้อง CCTV กับวงจรไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ และกล่องควบคุมการปิด/เปิดเสียง จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับ ESP8266 ขนาด 5 โวลต์ นักวิจัยทำการติดตั้งกล้องที่กระชังปลา ตำบลจอมทอง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก พบว่าเสียงความถี่สูงสามารถป้องกันนกกรบกวานในระยะ 5-10 เมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaipakdee and Chaipakdee (2009) ที่พัฒนาเครื่องป้องกันนกกรบกวานระบบอัตโนมัติด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง : กรณีศึกษาชุมชนสะเดียง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ที่สามารถตรวจจับนกได้ถึง 7 เมตรเมื่อมีนกบินผ่านหรือเกาะบริเวณที่ใกล้เครื่องจะปล่อยเสียงออกไปเพื่อให้นกตกใจ

และบินหนีไปเสียงของเครื่องป้องกันนกจะเป็นการปล่อยเสียงสลับกันไปเพื่อไม่ให้นกจดจำเสียงได้

2. การทำงานโปรแกรม (Software)

สามารถแบ่งผลของการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การพัฒนา Python ด้วยอัลกอริทึม YOLO สร้างการเรียนรู้ข้อมูล (Train Data) โดยใช้สัดส่วน 80% และทดสอบข้อมูล (Test Data) 20% กำหนดเงื่อนไขหากตรวจจับว่าเป็นนก มากกว่าหรือเท่ากับ 50% ให้ส่งสถานะไปแจ้ง ยังบอร์ด ESP8266 และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากความเร็วและความแม่นยำ ด้วยความเร็วในการประมวลผล และตาราง Confusion Matrix โดยมีค่าจากที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

Table 1 Speed and Performance Comparison

Parameter	Test time (s)/img	FPS	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
YOLO v5s	0.42	2.37	0.78	0.94	0.59	0.73
YOLOv6-s	0.10	10.00	0.84	0.89	0.76	0.82
YOLOv7tiny	0.41	2.23	0.80	0.96	0.62	0.75

จาก Table 1 พบว่า ความเร็วและแม่นยำของอัลกอริทึม YOLOv6-s มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยที่ความถูกต้อง (Accuracy) อยู่ที่ 0.84 ในด้านของ

ความเร็วในการประมวลผลพบว่า อยู่ที่ 0.1 วินาทีต่อภาพ และ F1-Score เท่ากับ 0.82 งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ YOLOv6-s

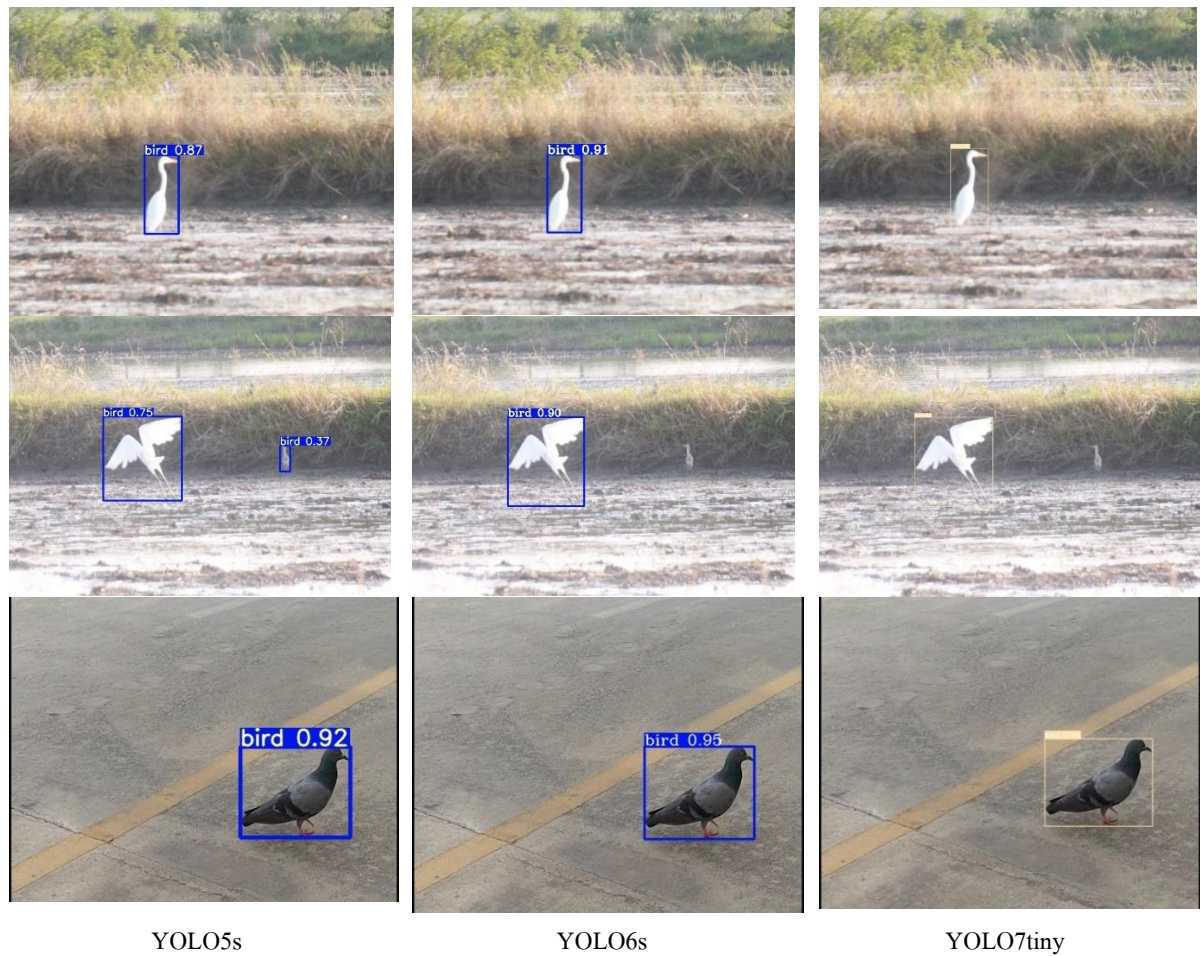
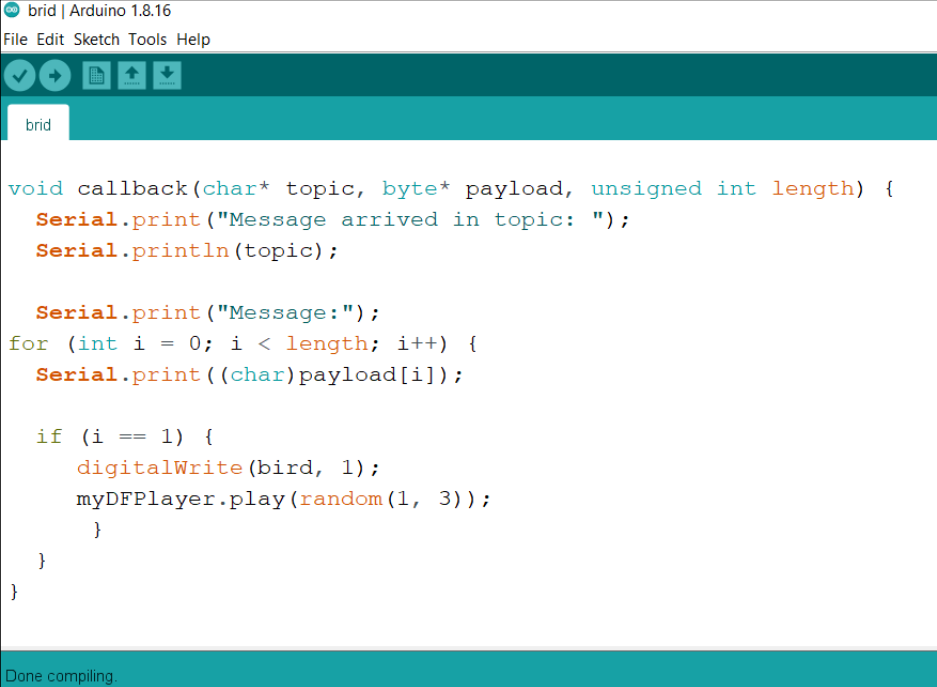


Figure 6 Detection of Bird

จาก Figure 6 แสดงการตรวจจับวัตถุ ผลการวิจัยเห็นได้ว่าอัลกอริทึม YOLO v5 สามารถประยุกต์ใช้งานได้ โดยที่ YOLOv6-s มีประสิทธิภาพสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li *et al.* (2022) ที่ระบุว่า YOLOv6 มีประสิทธิภาพสูงกว่า YOLOv5 และ YOLOv7 ทั้งในด้านของความถูกต้อง และความรวดเร็ว

ส่วนที่ 2 การควบคุมการปิดเปิดเสียง ที่พัฒนาด้วยภาษา C ที่ใช้ควบคุมการปิดเปิดเสียง แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่แรกเมื่อ server สถานะว่าพบวัตถุแล้ว ESP8266 จะสั่งการให้ทำการสุ่มเสียงเสียงที่กำหนดไว้ คือ เสียงนกอินทรี เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด เพื่อลดความเสี่ยงเรื่องของการปรับตัวของนก ดังตัวอย่าง Figure 7



```

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  Serial.print("Message arrived in topic: ");
  Serial.println(topic);

  Serial.print("Message:");
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    Serial.print((char)payload[i]);
  }

  if (i == 1) {
    digitalWrite(bird, 1);
    myDFPlayer.play(random(1, 3));
  }
}

```

Figure 7 Arduino IDE Sample Code Random Sound

จาก Figure 7 เป็นฟังก์ชัน (Function) รอการเรียกใช้งานจากสถานการณ์ตรวจจับวัตถุ ส่งค่าผ่านโปรโตคอล Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็นโปรโตคอล (Protocol) ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (Machine-to-Machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ สนับสนุนเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรทัศน์ ตู้เย็น เป็นต้น ทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะช่วยให้มนุษย์สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่อื่นได้ เนื่องจากโปรโตคอลนี้ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ใช้หลักการแบบ Publisher/Subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ใน Web Service ที่ต้องใช้ Web Server เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้แต่

MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่จัดการลำดับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ของระบบ (Jantarakanyabun and U-aaron, 2016) เป็นตำแหน่งที่ 1 ที่มีค่าเท่ากับ 1 แล้วทำการสุ่มเสียง 1 ใน 3 ของเสียงที่กำหนดไว้คือ เสียงนกอินทรี เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด และในส่วนที่สอง คือส่วนในการควบคุมการปิดเปิดเสียงตามคำสั่งของผู้ใช้ (User) ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้

ส่วนที่ 3 ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) สามารถเข้าถึงได้ที่ <http://iot999.3bbddns.com:12740/> ส่วนติดต่อผู้ใช้งานระบบจะเป็นส่วนหนึ่งของระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) สำหรับแพลตฟอร์มในกระชัง ถูกพัฒนาด้วยภาษา PHP เป็นหลักทำการประมวลผลผ่าน Server ในรูปแบบของเว็บ Server

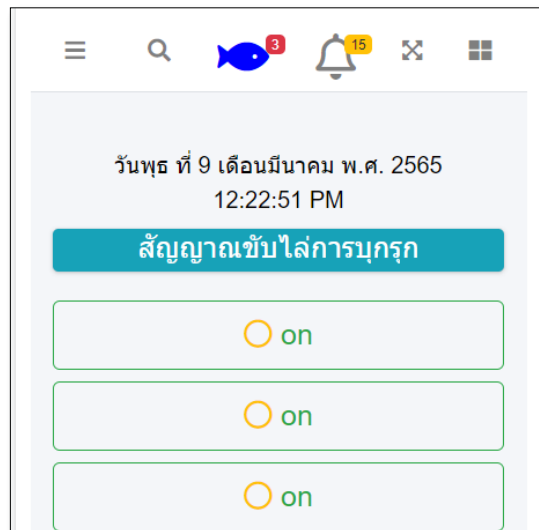


Figure 8 Graphic User Interface

จาก Figure 8 แสดงภาพส่วนติดต่อผู้ใช้ มีวันที่และเวลาปัจจุบันแสดงด้านบน เมนูเสียงให้ผู้ใช้เลือกในการขับไล่ 3 ชนิด คือ เสียงเหยี่ยว เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด โดยที่ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม On เพื่อเปิดใช้งานหรือทดสอบเสียงได้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodmorn *et al.* (2021) ที่ได้ประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มอัจฉริยะพัฒนาโดยใช้ ESP8266 ส่งข้อมูลการตรวจวัดผ่านโปรโตคอล MQTT โดยใช้ภาษา C และ PHP

สรุป

การวิจัยในครั้งนี้ได้พัฒนาระบบป้องกันนกกรบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้กล้อง CCTV เป็นกล้องแบบ IP Camera ทำการบันทึกภาพและส่งไปประมวลผลที่ Server Cloud ผ่านโปรโตคอล MQTT โดยอัลกอริทึม YOLOv6-s ที่พัฒนาด้วยภาษา Python เพื่อทำการตรวจจับว่าวัตถุที่พบในนกหรือไม่ หากพบว่าวัตถุคล้ายนกมากกว่าหรือเท่ากับ 50% ให้ส่งสถานะไปแจ้งบอร์ด ESP8266 ผลของการทดลองของบทความนี้พบว่า ความแม่นยำของอัลกอริทึม YOLOv6-s อยู่ที่ 0.84 ในด้านของความเร็วในการ

ประมวลผลพบว่า อยู่ที่ 0.1 เฟรมต่อวินาที และ F1-Score เท่ากับ 0.82 แล้วทำการขับไล่ด้วยคลื่นความถี่สูง โดยการสุมเสียงที่นกหวาดกลัว ด้วยอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ 3 ชนิดคือ บอร์ด ESP8266 v.3 สำหรับความคุมการปิดเปิดเสียง, บอร์ด MP3-TF-16P และ Memory สำหรับเก็บไฟล์เสียง และไดร์เวอร์เสียงแหลม แม่เหล็กนิโอไดเนียมวอยส์คอยล์ ขนาด 1 นิ้ว ชนิดเกลียว แล้วนำวงจรเข้าไปใส่ในกล่องที่ทำขึ้นเองจากท่อ PCV ขนาด 2 นิ้ว เจาะรู ปิดหัวและท้ายเพื่อป้องกันน้ำเข้า การควบคุมการปิดเปิดเสียง ที่พัฒนาด้วยภาษา C ที่ใช้ควบคุมการปิดเปิดเสียง แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรก คือ เมื่อ server ได้รับสถานะพบวัตถุ ระบบจะสั่งการให้ทำการสุมเสียงเสียงที่ใช้คือ เสียงนกอินทรี เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด เพื่อลดความเสี่ยงเรื่องของการปรับตัวของนก และในส่วนที่สอง คือส่วนในการควบคุมการปิดเปิดเสียงตามคำสั่งของ User ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้ ส่วนติดต่อผู้ใช้ มีวันที่และเวลาปัจจุบันแสดงด้านบน เมนูเสียงให้ผู้ใช้เลือกในการขับไล่ 3 ชนิด คือ เสียงนกอินทรี เสียงสุนัขเห่า และเสียงประทัด โดยที่ผู้ใช้สามารถกด On เพื่อเปิดใช้งานหรือทดสอบเสียงได้ด้วยตนเอง

นำไปติดตั้งที่กระชังปลาทับทิม ตำบลจอมทอง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก พบว่า เสี่ยง ความถี่สูงสามารถป้องกันกรบกวนในระยะ 5- 10 เมตร สามารถใช้ในการขับไล่ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบป้องกันกรบกวนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพและคลื่นความถี่สูงนอกจากจะสามารถขับไล่ในกระชังปลาทับทิมได้แล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการป้องกันกรบกวนในรูปแบบอื่นอีกด้วย

2. ระบบจะมีข้อจำกัดที่ใช้งานผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีความเร็วเสถียร จึงเหมาะสำหรับการขับไล่ในพื้นที่ที่อินเทอร์เน็ตเข้าถึงได้

3. ควรมีการทดสอบอัลกอริทึมรูปแบบอื่น ๆ เพื่อทดสอบความเหมาะสมในการพัฒนาระบบมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยจากเงินกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

เอกสารอ้างอิง

Chaipakdee, M. and Chaipakdee, W. 2009. **Guidelines for preventing infestation from pigeons.** Wildlife Research Group Office of Wildlife Conservation, Department of National Parks wild animals and plants, Bangkok. (in Thai)

Dennis, A., Wizom, B.H. and Roth, R.M. 2012. **System Analysis and Design.** 5thed. John Wiley & Sons, Inc., USA.

Fisheries in Phitsanulok Province. 2020. **Aquaculture information Phitsanulok Province, year 2020.** Interview, February 25, 2021. (in Thai)

Fisheries Statistics Group. 2020. **Estimated production and value of aquatic animals from Thailand's fisheries. 2021 – 2023.** Department of Fisheries. Available Source: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20210705093649_1_file.pdf, March 10, 2020. (in Thai)

Hadkhuntod. 2022. **The study of risk factors affecting the culture of Tilapia in the Nan River basin in Phitsanulok Province.** Interview, December 20, 2021. (in Thai)

Jantarakanyabun, C. and U-aroon, P. 2016. Electronics Device Controller System with Sensor through MQTT Protocol Under Concept of Internet of Things (IoT), pp. 624-625. *In National Academic Conference, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus.* Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom. (in Thai)

Li, C., Li, L., Jiang, H., Weng, K., Geng, Y., Li, L., Ke, Z., Li, Q., Cheng, M., Nie, W., Li, Y., Zhang, B., Liang, Y., Zhou, L., Xu, X., Chu, X., Wei, X. and Wei. X. 2022. **YOLOv6: A Single-Stage Object Detection Framework for Industrial Applications.** Conell University. Available Source: <https://arxiv.org/pdf/2209.02976.pdf>, March 27, 2023.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A. 2016. **You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection.** Conell University. Available Source: <https://arxiv.org/abs/1506>.

02640v1, March 27, 2023.

Rodmorn, C., Panmuang, M. and Jonglakha, W. 2021.

Application with the Wireless Sensor Network

in Smart Farm. **RMUTSV Research Journal**

13(2): 315-329. (in Thai)

แนวโน้มการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย:

การวิเคราะห์บรรณมิติและนำเสนอแผนภาพ

Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Trends: Bibliometric and Visualized Analysis

ณัฐพงศ์ แก้วบุญมา และ ปุริวัฒน์ เลิศไกร *

Nattapong Kaewboonma and Puriwat Lertkrai *

Received: 15 August 2022, Revised: 10 October 2022, Accepted: 25 October 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์บรรณมิติในการสำรวจและตรวจสอบผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยนำชุดข้อมูลการวิจัยมาจากรฐานข้อมูล Scopus และกำหนดช่วงเวลาตั้งแต่ปี 2005 ถึง 2022 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์ VOSviewer และ Bibliometrix และสร้างแผนที่ความรู้แบบกราฟิก มีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีของการตีพิมพ์เผยแพร่ *h-index* ผลงานร่วม และจุดเด่นของงานวิจัยทั้งหมด 524 ฉบับ ผลการวิจัย พบว่า การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยมีจำนวนเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ผลงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นด้านวิทยาศาสตร์การเกษตรและชีวภาพ แนวโน้มของหัวข้องานวิจัยได้แก่ Internet of Things, Transmission electron microscope, Water quality, Wood plastic composite และ Microstructure การศึกษานี้มีประโยชน์สำหรับนักวิจัยในแง่ของการระบุสถานการณ์การวิจัยในปัจจุบัน แนวโน้ม และการพัฒนาการวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยในอนาคต

คำสำคัญ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ผลิตรายการวิจัย, แนวโน้มการวิจัย, การวิเคราะห์บรรณมิติ, โปรแกรม Biblioshiny, โปรแกรม VOSviewer

สาขาการจัดการนวัตกรรมและสารสนเทศทางธุรกิจ คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

Department of Innovation Management and Business Information, Faculty of Management Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thungsong, Nakhon Si Thammarat 80110, Thailand.

* Corresponding author, email: puriwat.l@rmutsv.ac.th

ABSTRACT

The purpose of this paper is to use bibliometric analysis tools to explore and examine the research productivity for Rajamangala University of Technology Srivijaya. The research data sets were obtained from the Scopus database, and the time period was set from 2005 to 2022. The data were analyzed by means of *VOSviewer* and *Bibliometrix* software, and graphical knowledge maps were created. It looked at how publications, distribution, h-index, co-authorship, and research hotspots have changed annually. Five hundred twenty-four publications altogether were attained. The findings indicated an increase in the number of research publications during the study period. Most of them were from agricultural and biological sciences. Internet of things, transmission electron microscope, water quality, wood plastic composite and microstructure were the trend topics. The study is helpful for researchers in identifying current research contexts, trends, and the future research and development directions of Rajamangala University of Technology Srivijaya.

Key words: Rajamangala University of Technology Srivijaya, Research productivity, Research trends, Bibliometric analysis, Biblioshiny, VOSviewer

INTRODUCTION

Thailand's economy is in serious peril. To recover quickly from the Covid-19 epidemic, the government must invest in Research and Development (R&D) and allow innovation to lead the way. R&D must receive adequate financial assistance from the government in order to propel the economy with innovations. R&D programs must also meet the actual demands of industry. Thailand's gross R&D expenditure from both the public and commercial sectors in 2018 was barely 1.11 percent of GDP, or roughly 182 billion baht. According to UNESCO, this expenditure was lower than that of other nations in the same upper-middle-income category, which was 1.41 percent of GDP. Meanwhile, high-income nations spend twice as much on R&D, accounting for 2.43 percent of GDP.

Rajamangala University of Technology Srivijaya (RUTS) is one of the universities in the group of Rajamangala University of Technology. RUTS creates practitioners with the potential to succeed in the workplace and utilizes information intelligently to attain their own goals while meeting societal standards. RUTS has the objective to develop organizations and society in the region and country by applying science, technology, and innovation under the vision "The University of Innovation for Society". The vision aims to

produce professional practitioners in order to be a standardized labor force that generates high income and increases the country's competitiveness at the international level (Rajamangala University of Technology Srivijaya, 2022).

Bibliometric analysis is becoming an increasingly important part of the evaluation methods available to R&D policymakers to help them make decisions (Isamail *et al.*, 2012). Its popularity has grown in recent years, and this may be attributed to the innovation, availability, and usability of bibliometric tools like RStudio, Sci2, *Bibliometrix* (Aria and Cuccurullo, 2017), *VOSviewer* (Van Eck and Waltman, 2010), and scientific databases like Scopus and Web of Science, and cross-disciplinary bibliometric technique pollination from information science to research. The methodologies for bibliometric analysis are divided into two categories: performance analysis and scientific mapping (Naveen *et al.*, 2020; Naveen *et al.*, 2021a; Muhammad *et al.*, 2021). Performance analysis investigates the contributions of research elements to a certain field (Cobo *et al.*, 2011; Antonio-Rafael and Jose, 2004). Descriptive analysis is the characteristic of bibliometric investigations (Naveen *et al.*, 2021b). Science mapping looks at the relationships between research aspects (Kent *et al.*, 2021;

Cobo *et al.*, 2011; Antonio-Rafael and Jose, 2004). The examination focuses on the intellectual exchanges and structural connections that exist between research parts. Methodologies utilized in scientific mapping include citation analysis, co-citation analysis, bibliographic coupling, co-word analysis, and co-authorship analysis (Kent *et al.*, 2021; Dirk and Marc, 2018).

However, from a scientific point of view, based on a literature review, only a few authors have attempted to make efforts in exploring and examining the research productivity based on the available data from the Scopus database. Therefore, in order to complement the previous research, this paper aims to provide an overview of the research productivity with a study case in RUTS by using bibliometric methods.

MATERIALS AND METHODS

1. Data Collection Method

The process of this exploration started by using affiliations ‘Rajamangala University of Technology Srivijaya’ (Affiliation ID: 60092137) as the main keyword in the Scopus database. Following this, the result phase was able to retrieve a total number of 524 documents that were published between 2005 and 2022 (June 2022). This study focused on various aspects which include looking at citation information, bibliographical information, abstract and keywords, and funding details.

2. Data Analysis Method

For data analysis, all information was exported in BibTeX format. VOSviewer software and *Bibliometrix*, an R-tool for comprehensive scientific mapping analysis software, were utilized to analyze the data and create graphical knowledge maps. Annual changes in publications, distribution, h-index status, co-authorship status, and research hotspots were examined

RESULTS AND DISCUSSION

The bibliometric analysis of our study is divided into 6 categories which also carry multiple sub-categories. The main categories are: 1) Forms of publications, 2) Documents by subject area, 3) Sources, 4) Authors, 5) Topics trends, and 6) Countries. The sub-categories developed under Authors were: Most Relevant Authors, Top-Author’s Production over the Time, and Collaboration Network. Their findings are important because they generate the bibliometric information which can be used to unravel high impact research that contributes to generating new knowledge at RUTS. The data extracted from the Scopus database comprise 524 articles and 305 authors published between 2005 and 2022 (June 2022).

1. The Main Information about the collection

Forms of publications

Overview of publications on Scopus provides information to analyze different document types. It elaborates on the outcomes according to placements. In this context, the article is observed to have a total of 418 documents, marking the highest count among the various categories. Following this, conference papers account for 102 documents, while notes and book chapters have 3 and 1 document, respectively.

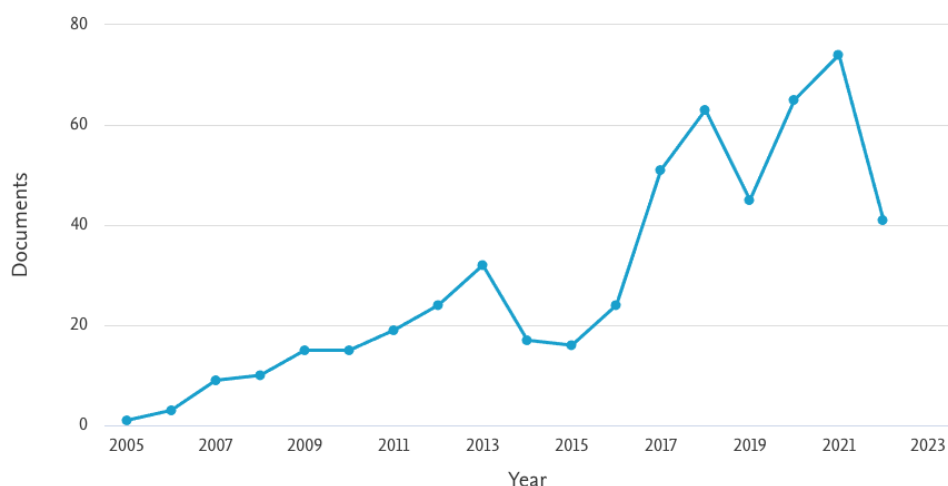


Figure 1 Number of documents published per year

As seen in Figure 1, the documents were published the most in 2021, followed by 2020 and 2018. The chart in Figure 2 shows that Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST) stands in the first place chosen by RUTS researchers to publish their papers. SJST has been published by the Research and Development Office, Prince of Songkla University, Thailand with high-quality scientific papers since 1979.

The journal provides an interdisciplinary platform for the dissemination of current knowledge and advancement in science and technology. Besides SJST, this can see the top-five yearly documents per year: the International Journal of Agricultural Technology, Walailak Journal of Science and Technology, Advanced Materials Research, Acta Horticulturae, and Advanced Materials Research.

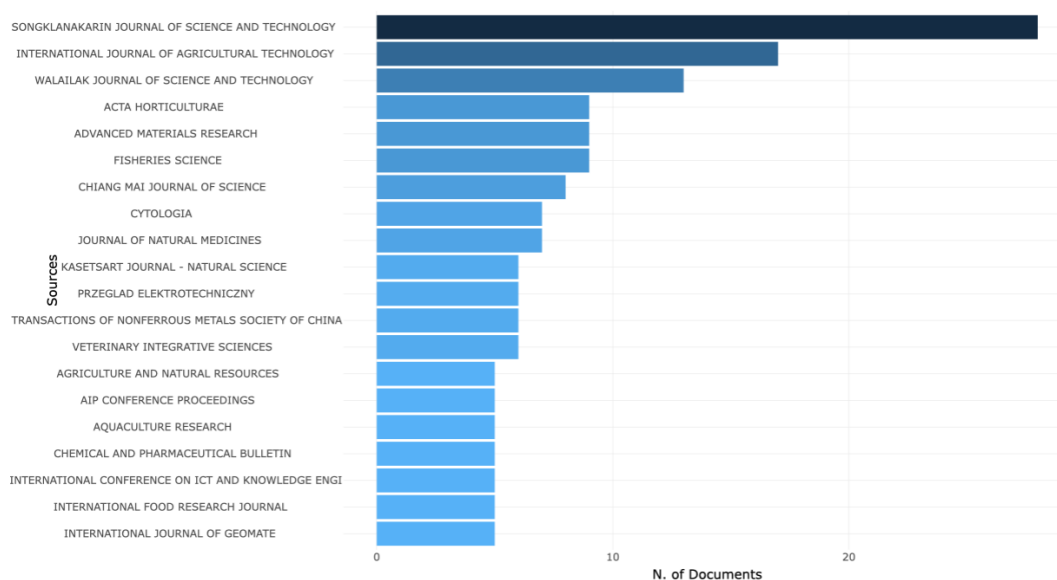


Figure 2 Most Relevant Sources

Documents by subject area

The subject area involved in RUTS research is demonstrated in Figure 3. As expected, the subject area that received more attention from researchers was

‘Agricultural and Biological Sciences’, which marked 177 articles. Additionally, the subsequent subject areas of interest are ‘Engineering’ and ‘Biochemistry, Genetics and Molecular Biology’ and ‘Computer

Science'. In viewing the agricultural and biological sciences area, the researchers focused on veterinary, environmental science, and earth and planetary sciences subject

areas. It is noted that some authors published articles in the area of Energy, Mathematics, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics and Social Sciences (21.5%).

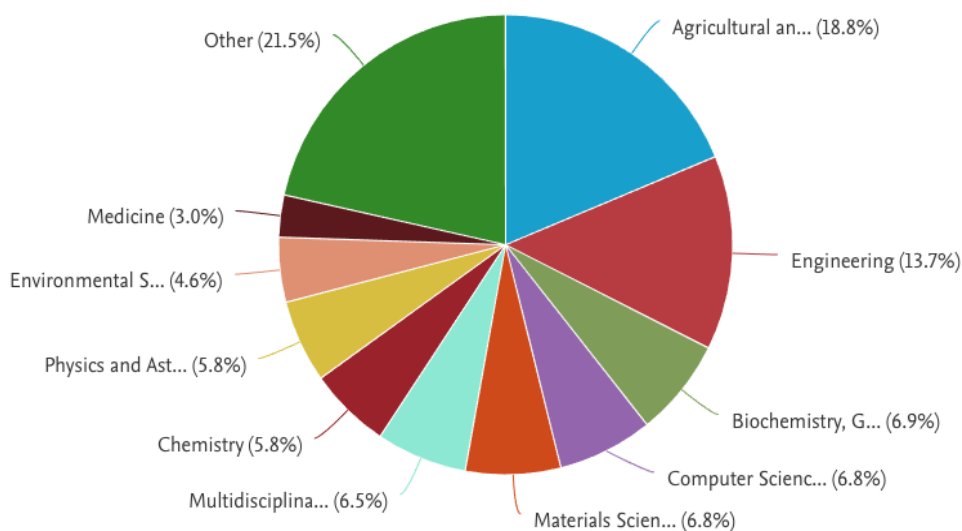


Figure 3 Documents by subject area

Source Impact

H-index is considered as one of the important indicators for the influence and reputation of journals. As visualized in Figure 4, Fisheries Science was the journal that ranked with the highest H-index at 7, followed by Journal of Natural Medicines (6), Transactions of Nonferrous Metals Society of China, and Chemical and Pharmaceutical Bulletin (5). Other journals

with the lowest H-index indicator were Songklanakarin Journal of Science and Technology, International Journal of Agricultural Technology, Walailak Journal of Science and Technology, Advanced Materials Research, Kasetsart Journal – Natural Science, Agriculture and Natural Resources, Scienceasia, Bioorganic and Medicinal Chemistry, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, and Phytochemistry Letters (3).

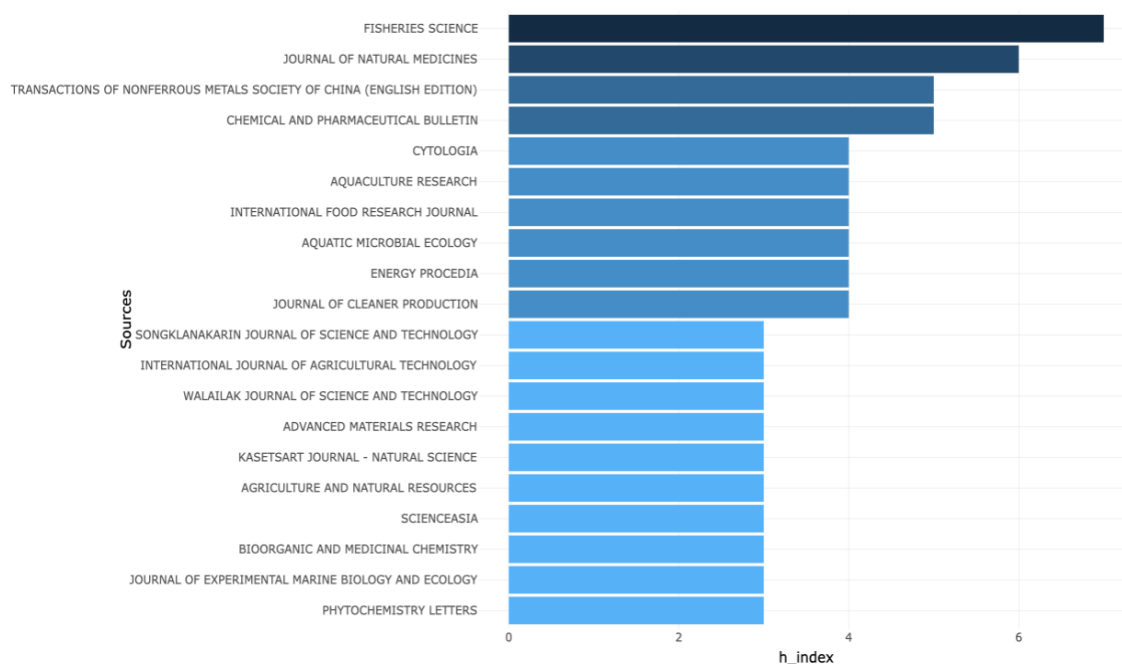


Figure 4 Source Impact

Impact measure

Figure 5's bar graph shows that, among the top 20 influence journals, the Journal of Cleaner Production had the most effect, with about 400 publications, roughly two times more than Nature Journal (220). The International Food Research Journal, Transactions of the Nonferrous Metals

Society of China (English edition), and Journal of Natural Medicines were other extremely fruitful sources. In contrast, there are fewer papers in Food Chemistry, Phytochemistry Letters, Energy Procedia, Cytologia, and IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, Proceedings, APCCAS (with under 50 documents).

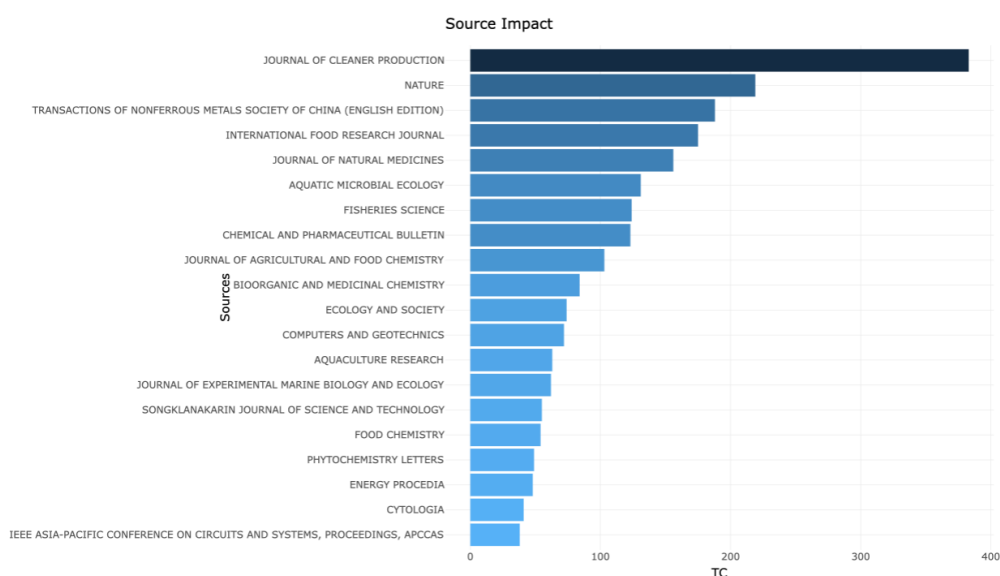


Figure 5 Total citation

Most Relevant Authors

This horizontal bar graph identifies the authors who were most relevant with fractionalized frequency measure in research.

As seen in Figure 6, Tanyaros, S. (10 articles fractionalized) leads in publication followed by Tongnunui, P., Boonsong, W. and Boonchouytan, W.

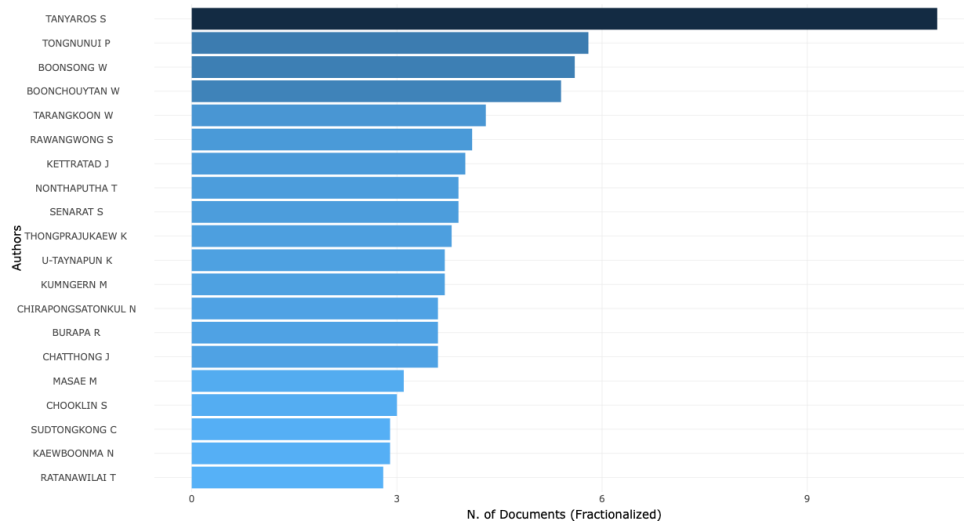


Figure 6 Most relevant authors

2. The Science Mapping Analysis

Top-Author's Production over the Time

In 2021, four authors-Kettratad, J., Senarat, S., Jiraungkoorskul, W., and Kaneko, G. dominated the group of authors with a high number of publications, as shown in Figure 7. Pongpiriyadacha, Y., Morikawa,

T., Muraoka, O., Ninomiya, K., Yoshikawa, M. and Chaipech, S. were the authors who came in second place among the year 2012 top authors. Additionally, Kettratad, J., Senarat, S., Tongnunui, P., Boonchouytan, W. and Pongpiriyadacha, Y. had the highest production as an author from 2006 to 2022.

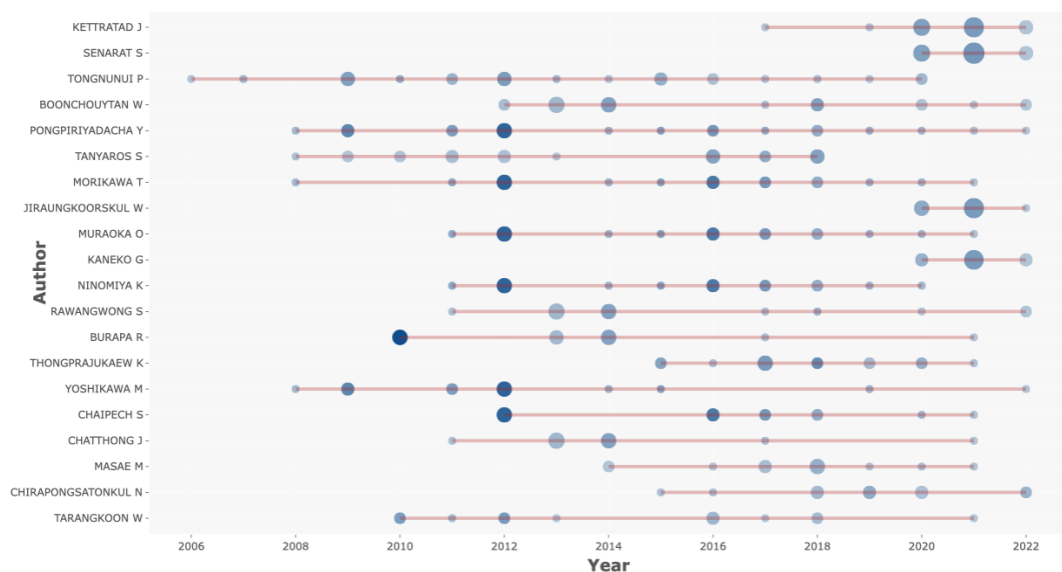


Figure 7 Top-Author's Production over the Time

Trend Topics

The number of keywords appeared in published papers between 2005 and 2022 revealed the various topics of research documents. As depicted in Figure 8, during 2007 and 2009, there are two famous terms used by authors, comprising “eucalyptus” and “spice”. Since 2011, the occurrence of words in papers showed the development of themes. It is indicated that the top topics dominated from 2016 to 2018. Regarding this, “Thailand” and “article” were the famous terms in 2016 and 2017 with freq 60.

The next rankings were “animals” and “nonhuman” (freq 48, 2017), “animal” (freq 42, 2018), “controlled study” (freq 41, 2017). After that, the frequency of keywords showed a downward trend in the following years. For instance, in 2021, the highly common themes were “Internet of things”, “transmission electron microscopy”, “water quality”, “wood plastic composite”, and “microstructure”. However, these terms did not have the same high frequency as previous years.

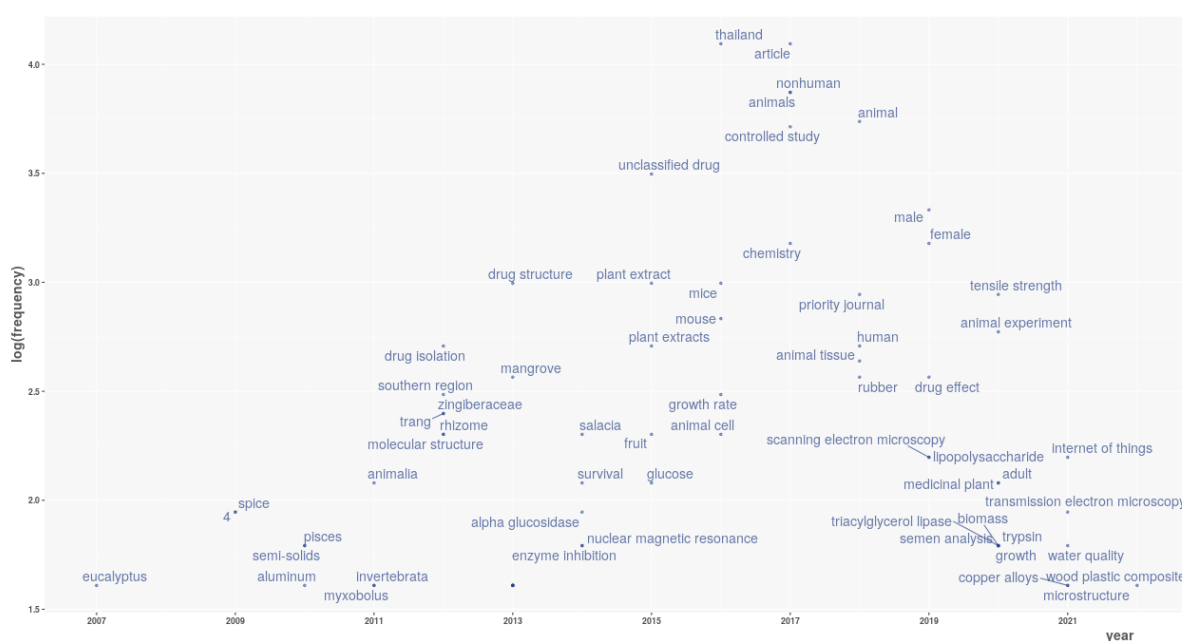


Figure 8 Current research trends

Topics dendrogram

The dendrogram revealed the order and connections of keywords through a hierarchical map. Each term in this map is a collection of topics concerning the research topics which are used by authors in papers in Rajamangala University of Technology. Figure 9 shows the terms divided into two categories with the colors red and blue. The first cluster in blue shows how there are two groups of published papers. The research trends for “mangrove” and “Thailand” were displayed in the first group. The second group

of research topics included “scanning electron microscopy,” “Decapoda crustacea,” “growth rate,” “Internet of things,” “tensile strength,” and “rubber.” Meanwhile, the red cluster was divided into two parts. It is apparent from the first part that the authors' keyword choices were “drug structure,” “molecular structure,” “drug separation,” “plant extract,” and “plant extracts.” The second part dealt with the relationships between the phrases “animals,” “human,” “drug impact,” “genetics,” “gender,” and “chemistry.”

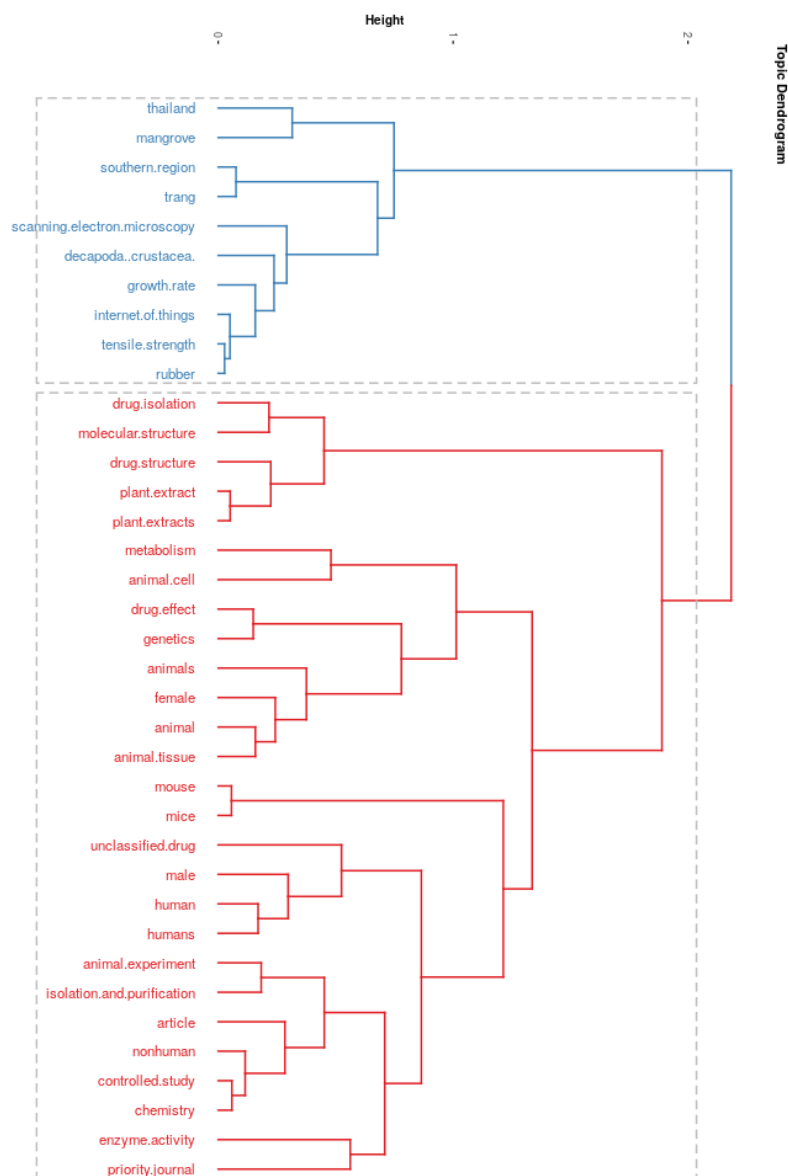


Figure 9 Topics dendrogram

Factorial Analysis

As visualized in the conceptual structure map (Figure 10) with the Multiple Correspondence Analysis (MCA) method, the topics were divided into three clusters of the domain indicated with red, blue and green color. It can be seen from the terms displayed in the domains that each portion expressed all relevant words in the same group. The blue-colored domain contained topics concerning “animal experiment”,

“animals”, “animal cell”, “animal tissue”, “human”, “chemistry”, “enzyme activity”. The green domain included the connections of keywords of “drug structure”, “molecular structure”, “drug isolation”, “plant extracts”. Meanwhile, items in the red-colored domain contained relevant words of “growth rate”, “Thailand”, “mangrove”, “decapoda crustacea”, “rubber”, “tensile strength”, “scanning electron microscopy”, “Trang”, and “Southern region”.

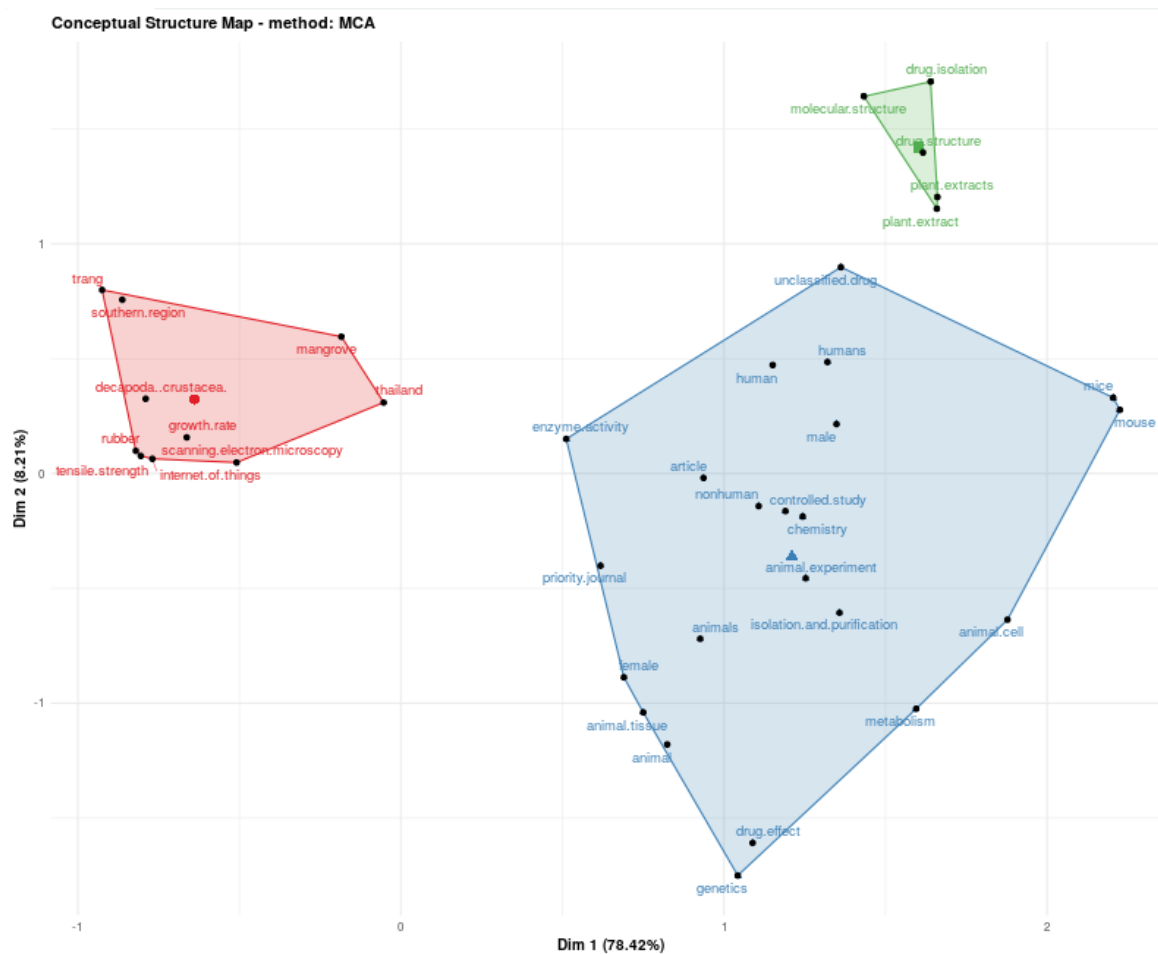


Figure 10 Factorial analysis

3. The Map based on Bibliographic Data

The data of co-authorship analysis in Figure 11 indicate that the top authors have collaborations in publishing papers. The size of the circles expressed the number of publications. The colors represented the

co-operation clusters. The top researchers of collaboration network were Kettratad, J., Tongnunui, P., Tanyaros, S., Tarangkoon, W., Thongprajukaew, K., Chirapongsatunkul, N., Sudtongkong, C., Nitiratsuwan, T. and Sangthong, P.

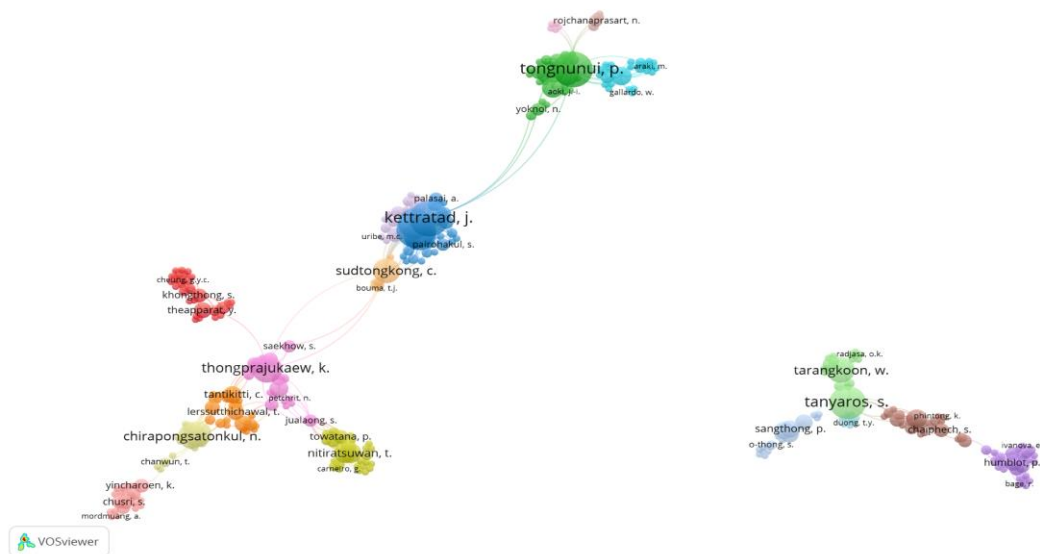


Figure 11 Co-authorship network of authors

Countries

Figure 12 offers a record of the networking map of collaboration to identify the nations actively working with RUTS. The figure depicted that Japan (67 documents) was a country that collaborates most in publishing research articles, followed by the USA (25 documents), China (18 documents), Malaysia (15 documents), and Indonesia (10 documents). The figure also revealed that many lines were connected to each

other in the collaboration network of Thailand. This implies that countries in the European region prefer to collaborate with RUTS when publishing articles in research activities. Most of the countries in Europe were Sweden, United Kingdom, Germany, The Netherlands and Denmark. It demonstrates that collaborations among countries will be able to increase the amount of publications, compared to publications in a single country.

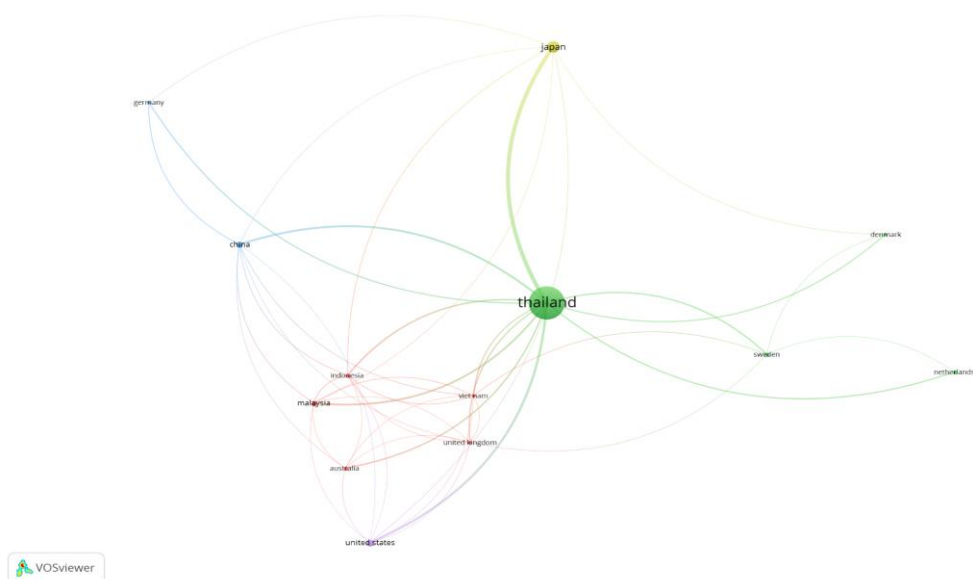


Figure 12 Countries Co-authorship Networks

According to the number of co-occurrence topic frequency between 2005 and 2022, Figure 13 depicts that the similar colors are shown in the same cluster. There are 12 clusters corresponding to distinct colors. The red-colored cluster included the top terms concerning “Thailand”, and “animals”. The purple-colored cluster contained topics of “unclassified drug”, “plant extract”.

The keywords of the green-colored cluster consisted of “drug structure”, “animal cell”, and “zingiberaceae”. The old rose-colored cluster was composed of themes relating to “female” and “cattle”. The dark blue cluster contained “rubber”, “tensile strength”, and the lime-colored cluster included topics of “molecular structure” and “chemical structure”.

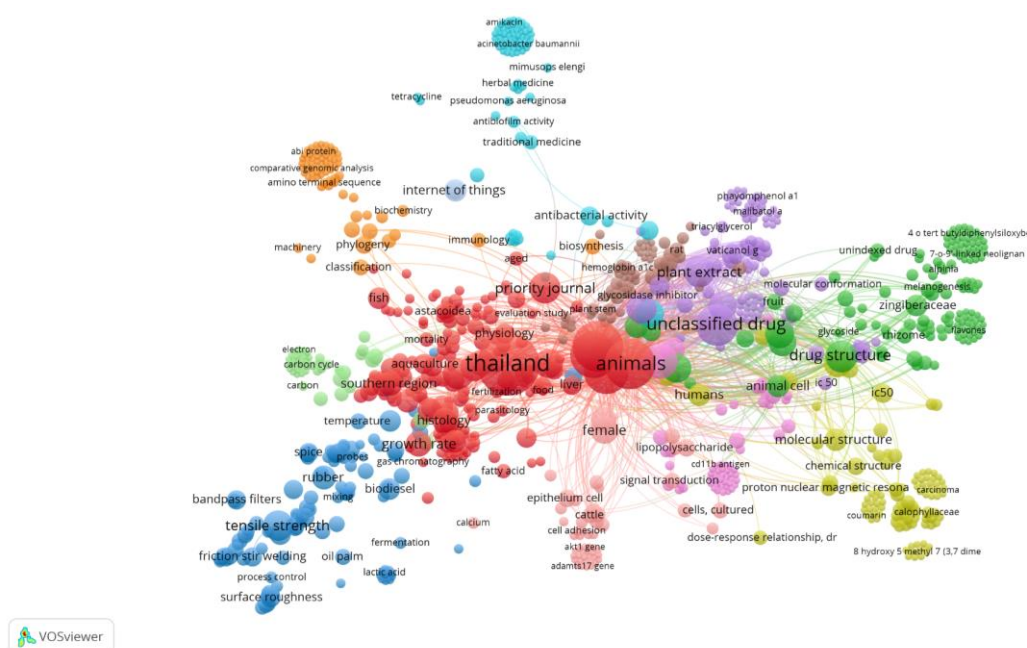


Figure 13 Co-occurrence network map of most frequently used keywords

CONCLUSION

In this study, a bibliometric study based on Scopus database was performed to assess the research productivity of Rajamangala University of Technology Srivijaya during 2005 and 2022. The result reveals that the university has improved an absolute number of overall publications. A notable mention of this research result is that during the years covered in this study the publication rate achieved by RUTS is the fifth compared to the universities in the group of Rajamangala University of Technology. Other interesting result based on this study is that, as mentioned

in the previous section for the scholarly documents recorded in Scopus, the publications in agricultural and biological sciences, engineering, biochemistry, genetics, and molecular biology area give the highest contribution to documents. They actively collaborate with other universities such as Prince of Songkla University, Chulalongkorn University, and Mahidol University. Furthermore, the top three sources that researchers published are Songklanakarin Journal of Science and Technology, International Journal of Agricultural Technology, and Walailak Journal of Science and Technology.

REFERENCES

- Antonio-Rafael, R. and Jose, R. 2004. Changes in the intellectual structure of strategic management research: a bibliometric study of the Strategic Management Journal, 1980-2000. **Strategic Management Journal** 25(10): 981-1004.
- Aria, M. and Cuccurullo, C. 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics** 11(4): 959-975.
- Cobo, M.J., Lopez-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E. and Herrera, F. 2011. An Approach for Detecting, Quantifying, and Visualizing the Evolution of a Research Field: A Practical Application to the Fuzzy Sets Theory Field. **Journal of Informetrics** 5(1): 146-166.
- Dirk, T. and Marc, E. 2018. Bibliometric Analysis of Corporate Governance Research in German-Speaking Countries: Applying Bibliometrics to Business Research Using a Custom-made Database. **Scientometrics** 117(3): 2041-2059.
- Ismail, S., Nason, E., Marjanovic, S. and Grant, J. 2012. Bibliometrics as a Tool for Supporting Prospective R&D Decision-Making in the Health Sciences: Strengths, Weaknesses and Options for Future Development, p. 11. In **Rand Health Quarterly**. RAND Corporation, United Kingdom.
- Kent, B.H., Satish, K. and Nitesh, P. 2021. Forty Years of the Journal of Futures Markets: A Bibliometric Overview. **Journal of Futures Markets** 41(7): 1027-1054.
- Muhammad, A., Debidutta, P., Rohail, A. Imtiza, A., Satish, K. and Naveen, D. 2021. Value of Special Issues in the Journal of Business Research: A Bibliometric Analysis. **Journal of Business Research** 125(2021): 295-313.
- Naveen, D., Satish, K. and Debidutta, P. 2020. Forty-five years of Journal of Business Research: A bibliometric analysis. **Journal of Business Research** 109(1): 1-14.
- Naveen, D., Satish, K., Debidutta, P. and Weng M.L. 2021a. A Bibliometric Retrospection of Marketing from the Lens of Psychology: Insights from Psychology & Marketing. **Psychology and Marketing** 38(5): 834-865.
- Naveen, D., Werner, R., Satish, K. and Debidutta, P. 2021b. A Retrospective Review of the First 35 Years of the International Journal of Research in Marketing. **International Journal of Research in Marketing** 38(1): 232-269.
- Rajamangala University of Technology Srivijaya. 2022. **About us | Rajamangala University of Technology Srivijaya**. Available Source: <https://www.rmutsv.ac.th/en /ABOUT-US>, June 20, 2022. (in Thai)
- Van Eck, N.J. and Waltman, L. 2010. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. **Scientometrics** 84(2): 523-538.

วัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย

Substrate Culture from Leaf Sheath of Banana and Sawdust

วงจันทร์ นุ่นคง *

Wongjun Nunkong *

Received: 2 June 2022, Revised: 7 December 2022, Accepted: 3 January 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม และคุณสมบัติของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย และใช้เป๋งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน โดยศึกษาอัตราส่วนกากกล้วย:ขี้เลื่อย จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ 1) 100:0 2) 75:25 3) 50:50 และ 4) 25:75 โดยน้ำหนัก จำนวน 4 ซ้ำ ผลการศึกษา พบว่า ทั้ง 4 อัตราส่วนสามารถขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกได้ ลักษณะภายนอกวัสดุยึดเกาะกันได้ดี น้ำหนักแห้งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 121.10-130.06 กรัม มีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 0.27-0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำมากในทุกอัตราส่วน เฉลี่ยร้อยละ 217.40-299.98 ค่าการสลายตัวในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 11.04-16.75 ค่า pH วัสดุปลูกส่วนใหญ่มีค่าเป็นกรด (pH 4.78-6.38) และมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.70-7.23 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร นอกจากนี้ ยังพบปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K)) อยู่ในทุกอัตราส่วน แต่มีปริมาณธาตุ K มากกว่าธาตุอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของทุกอัตราส่วนแล้ว อัตราส่วนที่ 3 จึงมีความเหมาะสมที่สุดที่จะพัฒนาเป็นวัสดุปลูก เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย สามารถอุ้มน้ำได้ดี มีค่าการนำไฟฟ้า ค่า pH ที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช และสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย กล่าวคือ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ร้อยละ 252.98 ค่าการสลายตัวในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 14.56 ค่าการนำไฟฟ้า 2.67 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ค่า pH 5.89 และปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K คิดเป็นร้อยละ 0.09 0.05 และ 1.45 ตามลำดับ

คำสำคัญ: กากกล้วย, ขี้เลื่อย, วัสดุปลูก

สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600

Department of Environmental Management, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, Thon Buri, Bangkok 10600, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): wongjun.n@dru.ac.th

ABSTRACT

The purpose of this study was to find out the balanced proportion and characteristics of substrate culture derived from mixed leaf sheath of banana and sawdust. Starch paste was used as cementing agent. The proportions of leaf sheath of banana and sawdust of 4 ratios were as follows: 1) 100:0, 2) 75:25, 3) 50:50, and 4) 75:25 by weight (4 replications). The results of the physical study found that all ratios were able to form substrate culture. The physical appearances of substrate culture were well adherent. The average dry weight was in the range of 121.10-130.06 gram. The bulk density was in the range of 0.27 - 0.29 g/cm³. The average water absorption was high in all proportions at the average of 217.40-299.98%. The average decomposition was 11.04-16.75%. The pH of most substrate culture was moderately acidic (pH 4.78-6.38) and the Electrical Conductivity (EC) was in the range of 1.70-7.23 dS/m. In addition, the macronutrients (nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K)) were found in all proportions with more potassium (K) content compared to other nutrients. Considering the quality of each proportion, the third proportion was the most appropriate for developing as substrate culture. This proportion is easily obtainable, exhibits good water retention, possesses safe pH for plants, and is convenient for handling and transportation. Specifically, it has an average bulk density of 0.28 g/cm³, water absorption of 252.98%, dissolution in water of 14.56%, electrical conductivity of 2.67 dS/m, pH of 5.89, and nutrient content of 0.09%, 0.05%, and 1.45% for N, P, and K, respectively.

Key words: leaf sheath of banana, sawdust, substrate culture

บทนำ

เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งจัดเป็นขยะอินทรีย์ที่สามารถพบได้ทั่วไป ซึ่งเศษวัสดุเหล่านี้ยังไม่ถูกใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เมื่อสะสมและเกิดการย่อยสลายของเศษวัสดุอาจเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ทัศนอุจาด และวัสดุบางชนิดอาจมีสารพิษปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อตามมาในวัฏจักรดิน น้ำ อากาศ รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงผลกระทบนี้ได้ ซึ่งการนำเศษวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาจะสามารถลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นและช่วยลดปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นได้

กล้วยมีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และมีมากกว่า 50 สายพันธุ์ เนื่องจากมีสถานะอากาศที่เหมาะสมอยู่ในเขตร้อนชื้น (Suthanukool, 2015) จึง

เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั่วประเทศไทยซึ่งพื้นที่ในการปลูกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม จากข้อมูลการปลูกกล้วยของกรมส่งเสริมการเกษตรในปี พ.ศ. 2562 พบว่า พื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ามีปริมาณมากถึง 457,555 ไร่ รองลงมาคือ กล้วยไข่ 95,196 ไร่ และกล้วยหอม 94,664 ไร่ (Department of Agriculture, 2020) ส่วนใหญ่เมื่อกล้วยให้ผลผลิตแล้วจะถูกโค่นทิ้งจึงมักถูกทิ้งไว้เป็นเศษวัสดุทางการเกษตร และทำเป็นอาหารสัตว์ หรือใช้ทำเป็นเชื้อกกล้วย (Meuanwongyat, 2013) แต่เนื่องจากไม่ได้รับความนิยมและผลผลิตที่มีปริมาณมากจึงถูกทิ้งกลายเป็นเศษวัสดุทางการเกษตร มีปริมาณมากถึงร้อยละ 80 ได้แก่ ใบกล้วย ต้นกล้วย หยอดกล้วย เปลือกกล้วย เป็นต้น สำหรับต้นกล้วย

นั้นจะมีธาตุอาหารที่สำคัญ คือ โปแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชในการเจริญเติบโต (Sittigool and Kaewkong, 2015)

สำหรับขี้เลื่อย เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ที่ได้มาจากโรงงานแปรรูปไม้ทำเฟอร์นิเจอร์ หรือโรงเลื่อย เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญ จะมีลักษณะความแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของไม้ สามารถใช้เป็นวัสดุในการเกษตรได้ หรือเชื้อเพลิง แต่เมื่อนำมาใช้ในการทำปุ๋ยหรือวัสดุปลูก ควรปล่อยให้มีการสลายตัวก่อนการใช้งาน (Changeraja, 2013) เนื่องจากอาจมีการปนเปื้อน การปลดปล่อยสารพิษ น้ำมัน หรือแทนนิน ที่อาจเป็นอันตรายกับพืช (Suriyapananont, 1981) ขี้เลื่อยมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำดีมาก มีการแลกเปลี่ยนประจุสูงเมื่อผ่านการสลายตัว ขณะที่แห้งจะมีความหนาแน่นรวมต่ำ สำหรับขี้เลื่อยจากไม้ยางพาราจะมีลักษณะทางกายภาพและเคมีที่สำคัญ คือมีความชื้นร้อยละ 60-65 มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 5.78 (Kanjana, 2014)

ในการจัดการกับเศษวัสดุเหลือทิ้งสามารถจัดการได้หลายวิธี แต่บางวิธีสามารถลดปริมาณเศษวัสดุได้เพียงเล็กน้อย และบางวิธีมีค่าใช้จ่ายที่สูง การนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกจึงเป็นการใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถช่วยลดปริมาณของเศษวัสดุ และเพิ่มมูลค่า

ให้กับเศษวัสดุได้ อย่างไรก็ตาม วัสดุปลูกนั้นมีหลากหลายชนิดจากวัสดุต่าง ๆ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การใช้ประโยชน์จากวัสดุอินทรีย์และวัสดุอนินทรีย์ที่หาได้ในท้องถิ่นนอกจากจะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากเศษวัสดุแล้ว (Barrett *et al.*, 2016) ยังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้เป็นวัสดุปลูกแบบไม่ใช้ดิน และสามารถนำเศษวัสดุมาใช้ได้ในปริมาณมากกว่าการจัดการด้วยวิธีอื่น ผู้วิจัยจึงได้นำกากกล้วยและขี้เลื่อย ซึ่งเป็นเศษวัสดุจากทั้งภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม มาศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกดังกล่าว

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย ทำการศึกษา 4 อัตราส่วน ระหว่าง กากกล้วย : ขี้เลื่อย ได้แก่ 1) 100:0 2) 75:25 3) 50:50 และ 4) 25:75 โดยน้ำหนัก (Table 1) ใช้กากจากแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวแทนจากนั้นนำมาผ่านกระบวนการเพื่อขึ้นรูปวัสดุปลูก โดยกำหนดให้วัสดุประสานคงที่ และขึ้นรูปวัสดุปลูกด้วยโดยไม่ใช้เครื่องจักร มีขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

Table 1 Proportions of banana leaf sheath and sawdust

Treatment	Banana leaf sheath : Sawdust
1	100:0
2	75:25
3	50:50
4	25:75

1. การเตรียมวัสดุปลูก

1.1 การเตรียมกาบกล้วย ใช้เฉพาะส่วนที่เป็นลำต้นที่พ้นจากดิน นำมาแยกเป็นกาบกล้วย และหั่นย่อยกาบกล้วยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องบดละเอียดให้มีขนาด 10-20 มิลลิเมตร และเทใส่ถาดพลาสติก แต่เนื่องจากในขณะบดกาบกล้วยจะมีน้ำเกิดขึ้นจึงต้องทำการบีบน้ำออกจากกาบกล้วยที่บดย่อยแล้วด้วยมือ เพื่อช่วยลดปริมาณความชื้น

จากนั้นใส่ถาดอะลูมิเนียมเพื่อนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คัดแปลงจาก Jarawae (2016) เมื่อกาบกล้วยกล้วยแห้งแล้วนำมาบดอีกครั้งให้มีขนาด 5-10 มิลลิเมตร แยกเศษปนเปื้อนแข็งออกจากวัสดุ จะได้กาบกล้วยแห้งละเอียดจากการบดทั้ง 2 ครั้งพร้อมใช้งาน และนำเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อกเพื่อเตรียมขึ้นรูปวัสดุปลูก (Figure 1)



Figure 1 Dried banana leaf sheath

1.2 การเตรียมขี้เลื่อย นำเศษขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ได้ปล่อยทิ้งไว้ในพื้นที่ร่มอากาศถ่ายเท นานประมาณ 6 เดือน แยกเศษวัสดุที่เจอปนและชิ้นไม้ขนาดใหญ่ออก จากนั้นลดความชื้นของวัสดุด้วยการนำวัสดุเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คัดแปลงจาก Jarawae (2016) จากนั้นจะได้ขี้เลื่อยแห้งพร้อมใช้งาน และนำเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อกเพื่อเตรียมขึ้นรูปวัสดุปลูก (Figure 2)

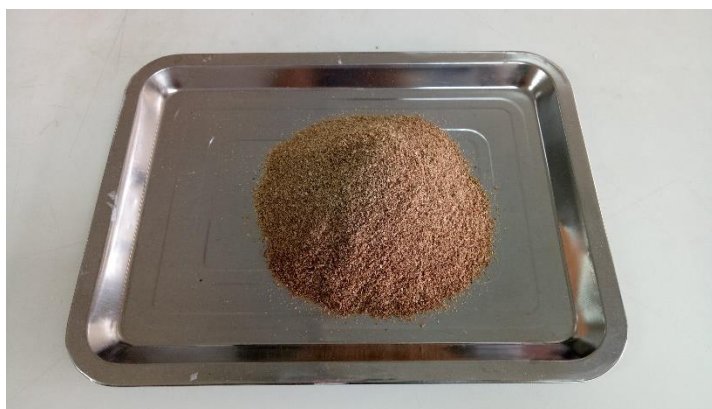


Figure 2 Dried sawdust

2. การเตรียมวัสดุประสาน

เตรียมแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยทำการชั่งแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 20 กรัม ต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร คนให้ละลายในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนกระทั่งมีลักษณะเหนียว คนต่อไปเรื่อย ๆ จนมีสีขาวขุ่น ลักษณะเหนียวขึ้น ยกออกจากเตาและทิ้งให้เย็น จากนั้นนำไปใช้เป็นวัสดุประสานในการขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูก

3. ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุปลูก

นำกากกล้วยและขี้เถ้าที่เตรียมไว้ชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด เทลงถาดพลาสติกผสมวัสดุและวัสดุประสานปริมาณ 200 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากันให้วัสดุประสานกระจายทั่ววัสดุปลูกใช้เวลาประมาณ 5 นาที นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแรงมือ โดยใช้แม่แบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร กดให้แน่นทั้งด้านบนและด้านล่างของวัสดุปลูกด้วย

แรงกดคงที่ จากนั้นดันตัวก้อนวัสดุออกจากแม่แบบ นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เถ้า

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เถ้า โดยทำการทดสอบจำนวน 4 ซ้ำในทุกอัตราส่วน คัดแปลงจาก Nukaew (2011)

4.1.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพทั่วไปของวัสดุปลูกที่ขึ้นรูปได้ สังเกตลักษณะภายนอก ได้แก่ การขึ้นรูป รอยแตกร้าว ความเรียบของ และการหลุดร่วงของวัสดุปลูก และชั่งน้ำหนักของวัสดุปลูก

4.1.2 การทดสอบความหนาแน่นรวม ทำการชั่งน้ำหนักวัสดุปลูกที่ขึ้นรูปได้และอบแห้งแล้วและวัดปริมาตรของวัสดุ จากนั้นนำมาคำนวณหาความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกจากสูตรที่ 1

$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของวัสดุปลูก}}{\text{ปริมาตรของวัสดุปลูก}} \quad (1)$$

4.1.3 การดูดซึมน้ำของวัสดุปลูก นำวัสดุปลูกที่ขึ้นรูปได้แต่ละอัตราส่วนไปชั่งน้ำหนักก่อนการแช่น้ำ จากนั้นวางวัสดุลงในถาดพลาสติกก้นตื้น เติมน้ำประปาจนระดับผิวน้ำเท่ากับความสูงของวัสดุ

สังเกตการดูดซึมน้ำของวัสดุจนอิ่มตัวไปด้วยน้ำ โดยใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง และคำนวณค่าการดูดซึมน้ำจากสูตรที่ 2

$$\text{ร้อยละการอุ้มน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)}} \times 100 \quad (2)$$

4.1.4 การสลายตัวในน้ำ นำวัสดุที่ขึ้นรูปได้และผ่านการอบเรียบร้อยแล้วชั่งน้ำหนักก่อนการแช่น้ำ จากนั้นนำไปแช่น้ำประปาเป็นเวลา 72 ชั่วโมง สังเกตการคงรูปทรงของวัสดุปลูก การหลุดร่วงของ

วัสดุ ทำการชั่งน้ำหนักส่วนเกินจากวัสดุ และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาคำนวณค่าการสลายตัว ดังสูตรที่ 3

$$\text{ร้อยละการสลายตัวในน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)} - \text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักทั้งหมด (g)}} \quad (3)$$

4.2 คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก สำหรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) เป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ในสัดส่วนระหว่างวัสดุต่อน้ำ 1:2 ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Starter 3100 วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสัดส่วนระหว่างวัสดุต่อน้ำ 1:10 ด้วยเครื่อง conduct meter ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น FiveEasy สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน (N) ด้วยวิธี Dumas method ฟอสฟอรัส (P) ด้วยวิธี Spectrophotometric molybdovanadophosphate method และโพแทสเซียม (K) ด้วยวิธี Atomic emission spectrophotometric method

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการสลายตัว โดยหาค่าเฉลี่ย ร้อยละ และทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละชนิด ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ร้อยละ และเปรียบเทียบกับค่าเหมาะสม โดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุปลูกที่เหมาะสม ดังนี้ 1) วัสดุปลูกที่นำมาใช้ต้องหาได้ง่าย ราคาถูกและไม่เป็นอันตรายต่อพืช 2) สามารถ

ขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกได้ ถอดออกจากแบบได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก 3) สามารถอุ้มน้ำได้ดี และคงสภาพอยู่ได้เมื่อผ่านการรดน้ำ 4) มีธาตุอาหารหลักเหลืออยู่ในวัสดุปลูก 5) มีค่า pH และ ค่า EC ที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช คัดแปลงจาก Lukchaikul (1997) และ Suriyapananont (1981)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ลักษณะทางกายภาพของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อยที่สามารถขึ้นรูปได้

ผลการศึกษาการขึ้นรูปวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย พบว่า อัตราส่วนระหว่างกากกล้วย: ขี้เลื่อย ทั้ง 4 อัตราส่วน ได้แก่ 1) 100:0 2) 75:25 3) 50:50 และ 4) 25:75 โดยน้ำหนัก สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วน สำหรับอัตราส่วนที่ 1 สามารถขึ้นรูปได้ดี แต่ถอดจากแบบค่อนข้างยากด้วยลักษณะของกากกล้วยที่เบาพอทำให้การยึดเกาะของวัสดุและตัวประสานไม่ทั่วถึง มีลักษณะผิวนอกเรียบ และมีการหลุดร่วงของวัสดุเล็กน้อย ในอัตราส่วนที่ 2 3 และ 4 สามารถขึ้นรูปได้ดีและถอดออกจากแบบได้ง่าย มีลักษณะผิวนอกเรียบเนียน (Table 2) เนื่องจากในการขึ้นรูปวัสดุปลูกใช้แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัสดุประสานจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติช่วยยึดเกาะวัสดุได้ดีและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Liwthaisong, 2013) เมื่อขึ้นรูปวัสดุปลูกแล้วมีการหลุดร่วงของเศษวัสดุเพียงเล็กน้อย แสดงถึงปริมาณกาวต่อวัสดุมีผลต่อการขึ้นรูปและจับตัวของวัสดุปลูก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sopunna *et al.* (2015) ที่กล่าวว่าปริมาณกาวแป้งเปียกที่มากส่งผลต่อการจับตัวของชิ้นส่วนวัสดุมากขึ้น นอกจากนี้ วัสดุปลูกที่สามารถขึ้นรูปได้

ยังมีน้ำหนักแห้งต่อก่อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 121.10-130.06
กรัม ซึ่งมีน้ำหนักเบาทำให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

Table 2 Physical appearances of substrate culture from various ratios of banana leaf sheath and sawdust

Ratios by weight of banana leaf sheath : sawdust	Physical appearances
1 (100:0)	
2 (75:25)	
3 (50:50)	
4 (25:75)	

2. คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย

2.1 ความหนาแน่น

ผลจากการทดสอบค่าความหนาแน่นของทั้ง 4 อัตราส่วน ซึ่งเป็นค่าก่อนการรดน้ำ พบว่า ค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยอัตราส่วนที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.28 0.29 0.28 และ 0.27 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3) จากผลการทดสอบค่าความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูก ซึ่งในแต่ละอัตราส่วนมีองค์ประกอบของวัสดุ 2 ชนิด คือ กากกล้วยและขี้เลื่อยที่มีขนาดของอนุภาคต่างกัน แต่เมื่อนำมาผสมกันเป็นวัสดุปลูกทำให้ค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับผลการศึกษา Gusolsatit (1999) ที่ศึกษาขนาดของเม็ดวัสดุปลูกต่างขนาดกัน จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าการใช้วัสดุขนาดเดียวกัน และวัสดุปลูกที่ขึ้นรูปได้มีค่าความหนาแน่นของวัสดุปลูกที่เหมาะสม คือ 0.15-1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Nukaew, 2011 Cited Suriyapananont, 1985) เนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุจะช่วยยึดพุงลำต้น อีกทั้งจะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายวัสดุปลูกด้วย

2.2 ค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ พบว่า ในทุกอัตราส่วนมีการพองตัวขึ้นหลังจากอิมตัวด้วยน้ำ และยังสามารถคงรูปเดิมของวัสดุได้ โดยอัตราส่วนที่ 4 มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด เฉลี่ยร้อยละ 299.98 มีลักษณะบวมพองขึ้น อิมตัวด้วยน้ำของวัสดุปลูกมากที่สุดจากอัตราส่วนทั้งหมด สังเกตพบการหลุดร่วงเล็กน้อยของวัสดุจากรอยแยกเดิมที่ปรากฏก่อนการอบวัสดุปลูกให้แห้ง และสามารถคงรูปได้ สำหรับอัตราส่วนที่ 1 2 และ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 254.99 217.40 และ 252.98 ตามลำดับ จากผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำพบว่า มีค่าสูงในทุก

อัตราส่วนที่ทดสอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kuldilok and Laosakul (1997) ที่ศึกษาวัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ พบว่า ขี้เลื่อยมีค่าการอึมน้ำมากถึงร้อยละ 320.81 โดยน้ำหนัก และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sunakorn *et al.* (2012) ที่ศึกษาการพัฒนาแผ่นปลูกพืชบนหลังคาจากกากกาแฟและขุยมะพร้าว ซึ่งใช้วัสดุที่มีเส้นใยธรรมชาติเช่นเดียวกันพบว่ามีค่าการอึมน้ำ คิดเป็นร้อยละ 177.61 นอกจากนี้ วัสดุปลูกมีองค์ประกอบของกากกล้วยซึ่งมีเซลลูโลสทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้และแบ่งมันสำปะหลังยังมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liwthaisong (2013) ที่ศึกษาการซึมน้ำของกากกล้วยที่ขนาดความยาวของเส้นใย 10 มิลลิเมตร และมีปริมาณเส้นใยกล้วยร้อยละ 66.67 จะมีค่าการดูดซึมน้ำมากถึงร้อยละ 170.53 และเมื่อเส้นใยกล้วยมีขนาด 5 และ 2 มิลลิเมตร จะค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้นเป็นร้อยละ 194.89 และ 207.60 ตามลำดับ

2.3 ค่าการสลายตัวในน้ำ

จากการทดสอบค่าการสลายตัวในน้ำของวัสดุปลูก พบว่า ในทุกอัตราส่วนยังสามารถคงรูปเดิมของวัสดุได้ โดยอัตราส่วนที่ 1 มีค่าการสลายตัวในน้ำมากที่สุด เฉลี่ยร้อยละ 16.75 มีลักษณะบวมพองขึ้น มีการหลุดร่วงของเศษวัสดุบริเวณพื้นผิวด้านนอกโดยรอบของวัสดุปลูก และมีการยุบตัวของวัสดุด้านล่างมากกว่าด้านบน แต่ยังคงรูปวัสดุเดิม และอัตราส่วนที่ 4 มีค่าการสลายตัวในน้ำน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 11.04 มีลักษณะบวมพองขึ้น มีการหลุดร่วงของเศษวัสดุบริเวณพื้นผิวด้านนอกของวัสดุปลูก แต่ยังสามารถคงรูปวัสดุเดิมได้ สำหรับอัตราส่วนที่ 2 และ 3 มีค่าร้อยละการสลายตัวในน้ำใกล้เคียงกันคือมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 15.51 และ 14.56 ตามลำดับ ซึ่งจากค่าการสลายตัวในน้ำของวัสดุปลูกที่ได้จากวัสดุอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักนี้มีค่าอยู่

ในช่วงร้อยละ 11.04-16.75 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tuyharn *et al.* (2013) ที่ศึกษาวัสดุปลูกเหมาะสมสำหรับผักคะน้า พบว่าวัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบของใบไม้หมัก กาบมะพร้าวสับ แกลบ เผา และปุ๋ยคอก ในสูตรวัสดุปลูกที่ไม่มีดินแต่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเป็นส่วนประกอบหลัก จะไม่ยุบตัวอัดแน่นเมื่อรดน้ำ กล่าวคือวัสดุปลูกนี้ยัง

สามารถคงรูปอยู่ได้แม้ว่าการสลายตัวของวัสดุปลูกจะเกินกว่าร้อยละ 5 ซึ่งอาจส่งผลต่อการยุบตัวของวัสดุปลูก จากผลการทดสอบทั้ง 4 อัตราส่วน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ในอัตราส่วนที่ 1 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 3)

Table 3 Determined physical characteristics of substrate culture from different ratios of banana leaf sheath and sawdust

Ratios by weight banana leaf sheath : sawdust	Average and Standard deviation of Substrate culture			
	Dry weight (g)	Bulk density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Decomposition (%)
1 (100:0)	124.97±6.63	0.28 ^a ±0.01	254.99 ^b ±9.31	16.75 ^a ±1.02
2 (75:25)	130.06±6.94	0.29 ^a ±0.02	217.40 ^c ±12.78	15.51 ^{ab} ±1.59
3 (50:50)	126.08±6.76	0.28 ^a ±0.02	252.98 ^b ±4.59	14.56 ^b ±0.77
4 (25:75)	121.10±5.50	0.27 ^a ±0.01	299.98 ^a ±7.52	11.04 ^c ±0.51

Means in a column with the same letter are not significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's new multiple range test

3. คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกจากกากกล้วยและ จี้เลื่อย

3.1 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

จากการทดสอบค่าความเป็นกรดด่าง พบว่าอัตราส่วนที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด คือ 4.87 และอัตราส่วนที่ 4 มีค่าสูงที่สุดคือ 6.38 สำหรับอัตราส่วนที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 5.71 และ 5.89 (Table 4) สำหรับช่วงค่าความเป็นกรดด่าง ของวัสดุปลูก (6.38-4.87) ในทุกอัตราส่วนที่วิเคราะห์ได้เมื่อเทียบกับช่วงค่า pH ของดินแล้ววัสดุปลูกจะอยู่ในช่วงกรดอ่อน (pH 6.1-6.5) ถึงมีความเป็นกรดรุนแรงค่อนข้างไปทางปานกลาง แต่ไม่เป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) (SUNY College of Environmental Science and Forestry, 2022) แม้ว่าค่า pH ของวัสดุปลูกที่อยู่ระหว่าง 5.0-6.5 พืชจะ

สามารถนำธาตุอาหารรองไปใช้ประโยชน์ได้ แต่พืชส่วนใหญ่จะสามารถเจริญเติบโตได้สภาพที่เป็นกลางหรือ pH 6.0-7.2 (Neamsai, 2003)

3.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ค่าการนำไฟฟ้า ของอัตราส่วนที่ 1 มีค่าสูงที่สุดคือ 7.23 dS/m รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 2 มีค่า 4.45 dS/m รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 3 มีค่า 2.67 dS/m และ อัตราส่วนที่ 4 มีค่าต่ำสุดคือ 1.70 dS/m (Table 4) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินที่กล่าวว่าค่าการนำไฟฟ้า ที่อยู่ระหว่าง 2-4 dS/m จะมีผลต่อพืชที่ไวต่อความเค็มเล็กน้อยเท่านั้น (Land Development Department, 2010) และการศึกษาของ Jindageia (2003) ที่พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าที่ไม่เกิน 4 dS/m จะไม่เป็นอันตรายต่อพืช

ดังนั้นอัตราส่วนที่ 3 และ 4 จึงมีค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกอัดก้อน

3.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า ค่าไนโตรเจนในอัตราส่วนที่ 1 มีค่าสูงสุด คือร้อยละ 0.46 รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 3 และ 4 คิดเป็นร้อยละ 0.09 เท่ากัน และอัตราส่วนที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด คือร้อยละ 0.06 สำหรับค่าฟอสฟอรัส พบว่า อัตราส่วนที่ 1 มีค่าสูงสุด คือร้อยละ 0.35 รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 2 มีค่าร้อยละ 0.08 รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 4 มีค่าร้อยละ 0.06 และอัตราส่วนที่ 3 มีค่าน้อยที่สุด คือร้อยละ 0.05 และสำหรับค่าโพแทสเซียม พบว่า อัตราส่วนที่ 1 มีค่ามีค่าสูงสุดที่สุด คือร้อยละ 4.93 รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 2 คือร้อยละ 2.82 รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 3 มีค่าร้อยละ 1.45 และอัตราส่วนที่ 4 มีค่าน้อยที่สุด คือร้อยละ 0.99 ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมอยู่

ในปริมาณที่มากกว่าธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เนื่องจากกากกล้วยเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูง คือร้อยละ 3 และฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.1 (Sittigool and Kaewkong, 2015) ในขณะที่ขี้เลื่อยมีปริมาณไนโตรเจน ร้อยละ 0.20-1.68 ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พบมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ (Bunroj and Rassami, 2016) เมื่อพิจารณาธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิดแล้ว พบว่ามีปริมาณที่แตกต่างกันตามอัตราส่วนที่ใช้ผสม สอดคล้องกับการศึกษาของ Chaichan *et al.* (2019) วัสดุปลูกที่ได้จาก กากกาแฟ แกลบ ขี้เลื่อย และปุ๋ยมูลไส้เดือน มีปริมาณของธาตุอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันแต่ยังคงมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเหลืออยู่จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกได้ อย่างไรก็ตาม วัสดุปลูกที่ดีควรมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีค่าใกล้เคียงกับดินจะสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี (Optian *et al.*, 2017)

Table 4 Determined chemical characteristics of substrate culture from different ratios of banana leaf sheath and sawdust (n=3)

Ratios by weight of banana leaf sheath : sawdust	pH	EC (dS/m)	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)
1 (100:0)	4.78	7.23	0.46	0.35	4.93
2 (75:25)	5.71	4.45	0.06	0.08	2.82
3 (50:50)	5.89	2.67	0.09	0.05	1.45
4 (25:75)	6.38	1.70	0.09	0.06	0.99

สรุป

จากการศึกษาอัตราส่วนวัสดุปลูกจากกากกล้วยและขี้เลื่อย โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน จำนวน 4 อัตราส่วน (กากกล้วย : ขี้เลื่อย) ได้แก่ 1) 100:0 2) 75:25 3) 50:50 และ 4) 75:25 โดยน้ำหนัก นำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกอัดก้อนตาม

แม่แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร ทุกอัตราส่วนสามารถขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกได้ ยังคงมีปริมาณธาตุอาหารหลักเหลืออยู่ในทุกอัตราส่วน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุปลูกในอัตราส่วนที่ 3 ประกอบด้วยกากกล้วย 50 กรัม และขี้เลื่อย 50 กรัม เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ดีและถอดออกจากแบบได้

ง่าย สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เมื่อรดน้ำสามารถดูดซึมน้ำ อุ้มน้ำได้ดี และคงสภาพก้อนวัสดุปลูกอยู่ได้เมื่อผ่านการรดน้ำ นอกจากนี้ค่า pH และ EC ยังอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช กล่าวคือ มีค่าความหนาแน่น 0.28 g/cm^3 ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 252.98 และค่าการสลายตัว ร้อยละ 14.56 นอกจากนี้และคุณสมบัติทางเคมีโดยมีค่า pH 5.89 และค่า EC 2.67 dS/m ธาตุอาหารหลักที่เหลืออยู่ในวัสดุปลูก คือ ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 0.09 ฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 0.05 และโพแทสเซียมคิดเป็นร้อยละ 1.45

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการคิดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของวัสดุปลูกในแต่ละอัตราส่วน การทดสอบการใช้งานจริงในการปลูกพืช และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม เพื่อจะได้เป็นข้อมูลในการเลือกวัสดุปลูกมาใช้ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ควรเพิ่มการศึกษาเครื่องและขนาดของแรงที่ใช้อัดขึ้นรูปเพื่อให้การผลิตวัสดุปลูกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี และสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ และชุมชนที่สนับสนุนและช่วยเหลือจัดหาวัสดุในงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson J.S. and Bragg, N.C. 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant

cultivation systems – A review. **Scientia Horticulturae** 212: 220-234.

Bunroj, A. and Rassami, W. 2016. Value-Added of Sawdust Waste from Mushroom Culture by Compost with Chicken Manure for Composting, pp. 58-64. In **Integration of Art and Science toward the Local Research and ASEAN Community 8th**. Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom. (in Thai)

Chaichan, W., Sawain, A. and Chaichan W. 2019. Optimum Ratio for Co-producing Plant Pot from Organic Residues. **Journal of Southern Technology** 12(1): 193-205. (in Thai)

Changeraja, S. 2013. **Substrate Culture**. Science Villages. Available Source: <http://WWW.clinictech.ops.go.th/online/filemanager/fileclinic/F1/files/Soilless%20system%20and%20practices%20book.pdf>, June 4, 2022. (in Thai)

Department of Agriculture. 2020. **Data Plant Production year 2562/2563**. Available Source: <http://WWW.agriinfo.doae.go.th/year63/plant/roitor/fruit.pdf>, Nov 25, 2022. (in Thai)

Gusolsatit, T. 1999. Possibility of Calcined Clays Pellet as Growing Media. Doctor of Philosophy (Horticulture), Kasetsart University. (in Thai)

Jarawae, R. 2016. **Research Report on The Development of Insulation from Local Plants**. Yala Rajabhat University, Yala. (in Thai)

Jindageia, R. 2003. Study on the Suitable Soilless Media for Cherry Tomato (*Lycopersicon*

- esculentum CV. CH154) in the Tropics. Master of Science (Agriculture), Kasetsart University. (in Thai)
- Kanjana, A. 2014. A Feasibility Study of Using Extracted Tea Leaves from Beverage Industry for Particle Board Production Instead of Wood Chip. Master of Science in Agro-Industry Technology Management, Prince of Songkla University. (in Thai)
- Kuldilok, C. and Laosakul, S. 1997. **Effect of Sowing and Covering Media on Germination of Seeds of Calamus latifolius Roxb. and Calamus longisetus Griff.** Royal Forest Department. Available Source: https://frc.forest.ku.ac.th/frcdatabase/bulletin/Document/578_41.pdf, Jan 31, 2020. (in Thai)
- Land Development Department. 2010. **Manual of Soil Chemical Analysis.** Available Source: <http://WWW.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>, March 3, 2020. (in Thai)
- Liwthaisong, M. 2013. Production of Biodegradable Food Packaging from Banana sheath. Master of Engineering in Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Lukchaikul, A. 1997. The Study on Organic Materials for Soiless Culture. Master of Science (Agriculture), Kasetsart University. (in Thai)
- Meuanwongyat, P. 2013. **Data of Banana.** Thaikasetsart. Available Source: <http://WWW.thaikasetsart.com/2013/08/page/7/>, May 17, 2017. (in Thai)
- Neamsai, P. 2003. Effects of Seedling Media on the Growth of Vegetable Seedlings. Master of Science (Horticulture), Maejo University. (in Thai)
- Nukaew, D. 2011. Study of Growing Media for Roof Garden. Master of Science (Agriculture), Kasetsart University. (in Thai) *Cited*
- Suriyapananont, V. 1985. **Nutrition and Growing Media of Horticultural Crop.** Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Optian, S., Ngencharoen, S. and Oupkaew, P. 2017. Feasibility Study of Growing Material Production from Sugarcane Bagasse and Wastewater Sludge. **VRU Research and Development Journal Science and Technology** 12(1): 79-91. (in Thai)
- Sittigool, P. and Kaewkong, S. 2015. **Research Report on Feed Preference Study and Performance Effects of Ripen Papaya, Banana, Mango and Pine apple on weaned Piglets.** Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Pranakorn Sri Ayutthaya. (in Thai)
- Sopunna, K., Pasom, W., Woradong, K. and Chaiwangrach, A. 2015. Fabrication and properties of biological plant pots. **SNRU Journal of Science and Technology** 7(2): 1-7. (in Thai)
- Sunakorn, P., Jarusombat, S. and Jakao, A. 2012. Development Urban Farm Innovation. **Kasetsart Extension Journal** 57(2): 21-27. (in Thai)
- SUNY College of Environmental Science and Forestry. 2022. **Soil pH: What it means.** Available Source: <https://WWW.esf.edu/>

pubprog/brochure/soilph/soilph.htm, April
30, 2022.

Suriyapananont, V. 1981. Soil Mixes Horticulture.

Kasetsart Extension Journal 26(4): 12-23.

(in Thai)

Suthanukool, P. 2015. **Research and development**

of banana production for improvement

of quality production and high value-

added products. Available Source:

[https://www.doa.go.th/research/attachment.](https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2262)

[php?aid=2262](https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2262), Jan 31, 2020. (in Thai)

Tuyharn, S., Praiwan, K., Jantasri R. and Pimratch,

S. 2013. Study of the Suitable Soil-based

Growing Media for Chinese Kale (*Brassica*

alboglabra). **Prawarun Agriculture Journal**

10(2): 117-124. (in Thai)

อิทธิพลของระยะปลูกและลักษณะท่อนพันธุ์ต่อการเจริญเติบโต ของหญ้าเนเปียร์แคระ

Effect of the Plant Spacing and Stem Characteristics on Growth of Dwarf Napier (*Pennisetum purpureum* cv. Mott)

ประยูร ประเทศ¹ ประภาวัฒน์ บุคดา¹ นิธิภัทร บุญปก¹ ชีระยุทธ จันทะนาม² และ สุขุมารณ์ ศรีเผด็จ^{2*}
Prayoon Prathet¹, Prapawat Budda¹, Nitipath Boonpok¹, Theerayut Juntanam² and Sukhumaporn Sriphadet^{2*}

Received: 7 June 2022, Revised: 27 August 2022, Accepted: 19 September 2022

บทคัดย่อ

การเลี้ยงสัตว์เป็นที่ยอมรับมากขึ้น ทำให้ขาดแคลนอาหารสัตว์ ซึ่งหญ้าเนเปียร์แคระสามารถเป็นหญ้าอาหารสัตว์ได้ดี ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะปลูกและขนาดท่อนพันธุ์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์แคระ ที่ศูนย์ฝึกเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย วางแผนการทดลอง 3x2 factorial in the randomized complete block design แบ่งเป็น 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 คือ ระยะปลูก 3 ระยะ ได้แก่ 50x30, 50x40 และ 50x50 เซนติเมตร ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ ลักษณะท่อนพันธุ์ ได้แก่ จำนวนตา 2 และ 3 ตาต่อท่อนพันธุ์ บันทึกผลการทดลองทุก 10 วัน หญ้าเนเปียร์แคระมีอายุ 40 วันหลังปลูก พบว่า หญ้าเนเปียร์แคระมีความแตกต่างทางสถิติในทุกลักษณะ โดยต้นหญ้าเนเปียร์แคระที่ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร มีความยาวใบ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ผลผลิตต่อต้น และผลผลิตทั้งหมดมากที่สุด เมื่อปลูกด้วยท่อนพันธุ์ 2 ตา ใบมีขนาดใหญ่ จำนวนหน่อ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ผลผลิตต่อต้น และผลผลิตทั้งหมดมากที่สุด ดังนั้น ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร และใช้ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตาส่งผลให้มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งเหมาะกับการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เกี่ยวข้องผู้ที่สนใจปลูกต่อไป

คำสำคัญ: หญ้าเนเปียร์แคระ, ระยะปลูก, ลักษณะท่อนพันธุ์, ผลผลิต

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

¹ Program in Agriculture, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Mueang, Loei 42000, Thailand.

² ภาควิชาเกษตรและทรัพยากร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

² Department of Agricultural and Resources, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University, Chalermphrakiat Campus, Mueang, Sakon Nakhon 47000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sukhumaporn.s@ku.th

ABSTRACT

Animal husbandry has become increasingly popular, leading to a shortage of forage. The dwarf Napier grass can be a good forage grass. Therefore, the purpose of this research was to study the effect of plant spacing and stem characteristics on the growth of dwarf Napier grass at the Agricultural Training Center, Loei Rajabhat University. The experiment was a 3x2 factorial in the randomized complete block design, involving 2 factors. The first factor consisted of three plants spacing viz. 50x30, 50x40 and 50x50 centimeters and the second factor was made up of two stem characteristics viz. 2 and 3 buds per stem. The data were recorded every 10 days until dwarf Napier grass was 40 days after planting. The results showed that dwarf Napier grass was statistically different in all characteristics at 40 days of planting. The dwarf Napier grass planted at a spacing of 50x30 cm showed the highest statistical significance in terms of leaf length, plant height, stem diameter, yield per plant, and total yield. Using cutting with two-bud stems resulted in larger leaves, more shoots, greater plant height, stem diameter, yield per plant, and total yield. Therefore, the combination of a planting spacing of 50x30 cm and using cuttings with two buds per stem showed the most favorable growth conditions for Napier grass. This information is valuable for promoting efficient cultivation practices for farmers engaged in livestock farming, particularly those focusing on Napier grass as animal feed.

Key words: Dwarf Napier, spacing, stem characteristics, yield

บทนำ

ปี 2564 โคนี้อมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากปี 2563 จาก 6.23 ล้านตัว เป็น 7.58 ล้านตัว ส่วนโคนมเพิ่มขึ้นจากปี 2563 จาก 7.25 เป็น 7.56 แสนตัว (Office of Agricultural Economics, 2021) ทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนหญ้าอาหารสัตว์ หญ้าเนเปียร์แคระ (Dwarf Napier) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Pennisetum purpureum* cv. Mott เป็นหญ้าอาหารสัตว์พันธุ์หนึ่งที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคและแพะนิยมปลูก เนื่องจากมีการแตกกอดี ปริมาณเชื้อย่ำต่ำ มีโปรตีนประมาณ 8.2-10.5 เปอร์เซ็นต์ หญ้าชนิดนี้มีสัดส่วนของใบต่อดันสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา (Rusland *et al.*, 1993) หญ้าเนเปียร์แคระเหมาะสมเป็นหญ้าอาหารสัตว์หมัก เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

มาก มีความเป็นกรดเป็นด่าง 5.86 มีปริมาณกรดแลคติก 6.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน 10.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมปศุสัตว์ (Lertsansiri *et al.*, 2019; Department of Livestock Development, 2003) ทำให้มีเกษตรกรหลายรายเริ่มนำไปปลูกเลี้ยงสัตว์มากขึ้น หญ้าเนเปียร์แคระสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินหลายชนิด ตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียว โดยหญ้าเนเปียร์แคระชอบดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ทนแล้งได้ดีมาก เนื่องจากมีระบบรากแข็งแรง และเหง้าใต้ดินมีขนาดใหญ่ ทนต่อสภาพน้ำขังแต่เจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงควรปลูกในดินที่มีการระบายน้ำดี (Tudsri *et al.*, 1996) ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของหญ้ามีย่อยได้แก่ อัตราการใส่ปุ๋ย ความอุดมสมบูรณ์ของท่อน

พันธุ์ ระยะเวลาการตัด นอกจากนี้ ระยะปลูกก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลหลักต่อผลผลิต ระยะปลูกที่เหมาะสมทำให้ผลผลิตสูงเนื่องจากพืชสามารถสังเคราะห์แสงได้เต็มศักยภาพ อีกทั้งการให้น้ำในช่วงแล้ง หรือฝนทิ้งช่วง (Tudsri, 2004) ท่อนพันธุ์มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิต หากท่อนพันธุ์ที่มีการงอกที่ดี จะทำให้มีการแตกกอและเจริญเติบโตที่ดีตามไปด้วย แต่ถ้าหากขาดความระมัดระวังเรื่องท่อนพันธุ์ ทำให้ความงอกต่ำ ท่อนพันธุ์ที่แนะนำในการปลูกที่สามารถงอกและเจริญเติบโตได้ อย่างน้อยท่อนละหนึ่งตา โดยทั่วไปเกษตรกรใช้ท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตาปลูก แต่ก็มีส่วนที่นิยมใช้ท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา ซึ่งคาดว่าจะให้ผลดีกว่าทั้งในด้านความงอก และการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในระยะแรก ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อศึกษาระยะปลูก และขนาดท่อนพันธุ์ที่เหมาะสมและให้ผลผลิตที่สูงเพื่อใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์แควให้เต็มศักยภาพและยั่งยืน เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เลี้ยวเนื่องในการลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ และใช้เป็นข้อมูลส่งเสริมผู้ที่สนใจศึกษาและปลูกต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

วางแผนการทดลองแบบ 3X2 แฟกทอเรียล ในแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (3X2 Factorial in Randomized Complete Block Design) ปัจจัยที่ 1 คือ ระยะปลูก 3 ระยะ ประกอบด้วย 50x30, 50x40 และ 50x50 เซนติเมตร ปัจจัยที่ 2 คือ ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ขนาด คือ ท่อนพันธุ์ที่มีจำนวนตา 2 และ 3 ตา ทดสอบจำนวน 4 บล็อก โดยสุ่มนับจำนวน 6 กอ จาก 3 แถวกลาง แถวละ 2 กอ ของแปลงย่อย ทำการเก็บข้อมูลเมื่อหญ้าเนเปียร์แควมีอายุ 10, 20, 30 และ 40 วันหลังปลูก ให้น้ำแบบระบบเทน้ำพุ่ง

ขนาดท่อ 1 นิ้ว 3 รู หลังปลูกช่วงสัปดาห์แรกให้น้ำเข้า-เย็น และให้น้ำทุก ๆ 3-5 วัน ครั้งละประมาณ 30 นาที่ โดยสังเกตความชื้นในดิน ใส่ปุ๋ยมูลวัวในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งแรกใส่พร้อมย่อยดิน และครั้งที่ 2 เมื่อหญ้าเนเปียร์แควมีอายุ 7 วัน ใส่บริเวณด้านข้างของกอหญ้าพร้อมพรวนดิน และกำจัดวัชพืช กำจัดศัตรูพืชด้วยชีวภัณฑ์ ได้แก่ ไตรโคเดอร์มา และแบคทีเรียบีทีเชยนา

2. การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ 1) จำนวนต้นตอก 2) จำนวนใบต่อต้น นับจำนวนใบทั้งหมดบนต้นที่พื้นเหนือดิน และเป็นใบที่กางเต็มที่ 3) ความสูงต้น (เซนติเมตร) วัดต้นที่สูงที่สุดกลางกอ โดยวัดจากระดับผิวดินถึงปลายยอด 4) ความยาวใบ (เซนติเมตร) วัดความยาวแผ่นใบ และ 5) ความกว้างใบ (เซนติเมตร) วัดตรงกลางของแผ่นใบส่วนที่กว้างที่สุด เมื่อหญ้าเนเปียร์แคว ครบอายุ 40 วัน หลังย้ายปลูก ทำการบันทึกผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดังนี้ 1) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ 2) น้ำหนักสดต่อต้น (กรัม) และ 3) ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าแปรปรวนตามแบบการทดลอง 3x2 Factorial in Randomized Complete Block Design และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's News Multiple Range Test

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

เมื่อพิจารณาจำนวนใบต่อต้น (Table 1) พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ ตลอดระยะเวลาทดลองในด้านระยะปลูก จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ เมื่อต้นหญ้าเนเปียร์แควมีอายุ 10, 20, 30 และ 40 วันหลังปลูก มีจำนวนใบต่อต้น คือ 1.88, 2.60

และ 2.79 ใบ ตามลำดับ โดยที่ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุด คือ 2.91 ใบ และมีจำนวนใบต่อต้นใกล้เคียงกับระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร มีจำนวนใบ 1.84, 2.57, 2.77 และ 2.87 ใบ ตามลำดับ ส่วนท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา ต้นหญ้าเนเปียร์ แคระมีอายุ 30 และ 40 วันหลังปลูก มีจำนวน 2.87 และ 2.90 ใบต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา ที่มี 2.70 และ 2.72 ใบต่อต้น ตามลำดับ สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ พบว่า ระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร และจำนวน 3 ดาต่อท่อนพันธุ์ เมื่อหญ้าเนเปียร์แคระอายุ 30 และ 40 วันหลังปลูก มีจำนวน 2.95 และ 3.04 ใบต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมากที่สุด และใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์แคระอายุ 40 วันหลังปลูก ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีแนวโน้มจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 3.05 ใบ ซึ่งแตกต่างจากระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา และระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีจำนวนใบเฉลี่ย 2.79, 2.76 และ 2.74 ใบ ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีแนวโน้มจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด 2.67 ใบ สำหรับความกว้างใบ 10 และ 20 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในด้านระยะปลูก จำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ แต่เมื่อต้นหญ้าเนเปียร์แคระ อายุ 30 และ 40 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ โดยระยะปลูกที่ 50x30 เซนติเมตร เป็นระยะปลูกที่เหมาะสมทำให้ต้นหญ้ามักกว้างใบมากที่สุด เท่ากับ 2.19 และ 2.32 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากที่สุด อีกทั้งเมื่อหญ้าเนเปียร์แคระมีอายุ 40 วันหลังปลูกมีความกว้างใบมากกว่าอีก 2 ระยะปลูก 50x40 และ 50x50 เซนติเมตร เมื่อปลูกด้วยท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตาให้ความกว้างใบ 2.37

เซนติเมตร มากกว่าและแตกต่างจาก 3 ตาที่มีความกว้างใบ 2.15 เซนติเมตร สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ พบว่า ความกว้างใบของหญ้าเนเปียร์แคระ 40 วันหลังปลูก ที่ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีแนวโน้มความกว้างใบเฉลี่ยมากที่สุด 2.45 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจากระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x50 ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา ที่มีความกว้างใบเฉลี่ย 2.36 และ 2.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา และระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา และ ระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา ทั้งสามระยะปลูกไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีความกว้างใบ 2.17, 2.16 และ 2.12 เซนติเมตร ตามลำดับ ความยาวใบของหญ้าเนเปียร์แคระมีความแตกต่างทางสถิติ ตลอดระยะเวลาทดลองในด้านระยะปลูก จำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ โดยที่ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ใบมีความยาวมากที่สุด เท่ากับ 49.00 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ใบมีความยาว 46.03 เซนติเมตร แต่แตกต่างจากระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ใบมีความยาว 43.53 เซนติเมตร ส่วนท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา หญ้าเนเปียร์แคระอายุ 10, 20, 30 และ 40 วันหลังปลูก ท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา หญ้าเนเปียร์แคระมีความยาวใบ 12.77, 33.76, 43.79 และ 49.23 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า ท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา หญ้าเนเปียร์แคระมีความยาวใบ 11.26, 30.46, 41.00 และ 42.67 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนดาต่อท่อนพันธุ์ หญ้าเนเปียร์แคระมีอายุ 40 วันหลังปลูก พบว่า ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีความยาวใบเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 52.03 เซนติเมตร แตกต่างจากระยะปลูก

50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา และระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีความยาวใบเฉลี่ย 48.73, 46.94, 45.33 และ 43.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีความยาวใบน้อยที่สุด เท่ากับ 39.40 เซนติเมตร ส่วนความสูงต้นของหญ้าเนเปียร์แคะมีความแตกต่างทางสถิติ ตลอดระยะเวลาทดลองในด้านระยะปลูก จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ ยกเว้น จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ ที่ 10 และ 30 วันหลังปลูก เมื่อหญ้าเนเปียร์แคะมีอายุ 40 วันหลังปลูก ที่ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ต้นหญ้ามียุ่มีความสูง 53.15 เซนติเมตร และไม่แตกต่างจากระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ต้นหญ้ามียุ่มีความสูง 49.76 เซนติเมตร แต่แตกต่างจากระยะปลูก 50 x 50 เซนติเมตร ต้นหญ้ามียุ่มีความสูง 47.49 เซนติเมตร ส่วนท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา ต้นหญ้ามียุ่มีความสูง 51.39 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจากท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา มีความสูง 48.67 เซนติเมตร และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ พบว่า ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีแนวโน้มความสูงต้นเฉลี่ยมากที่สุด 55.08 เซนติเมตร แตกต่างจากระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา, ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา, ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร และขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีความสูงต้นเฉลี่ย 50.87, 50.81 และ 50.38 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีแนวโน้มความสูงต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 43.99 เซนติเมตร Tudsri (2004) รายงานว่า หญ้าเนเปียร์แคะเป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี อีกทั้งมีการเจริญเติบโตคล้ายกับหญ้าเนเปียร์แต่ลำต้นเดี่ยวๆ มีใบดกแม้จะมีอายุมากขึ้น การตัดหญ้าเนเปียร์แคะ

สำหรับเป็นอาหารโค ควรตัดหญ้าเนเปียร์แคะเมื่ออายุ ประมาณ 30 วันหลังปลูก ส่วนอิทธิพลของระยะปลูกมีผลต่อผลผลิตน้ำหนักรากของหญ้าเนเปียร์แคะ ระยะปลูกให้ผลผลิตน้ำหนักรากของหญ้าเนเปียร์แคะที่ดีที่สุดโดยระยะปลูกที่ 50x25 เซนติเมตร เนื่องจากหญ้าเนเปียร์แคะมีการแตกกอดี ลักษณะการเจริญเติบโตแบบต้นตั้ง ทำให้มีการเจริญเติบโตด้านความสูง และการสะสมน้ำหนักราก และน้ำหนักรากสูง เมื่อปลูกระยะที่ห่างจะให้ต้นพืชได้รับแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลานาน เนื่องจากไม่มีการบังของใบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่จำเป็นในการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลให้พืชมีการสร้างและการพัฒนาของใบมากขึ้น (Muangprom *et al.*, 2015; Swasdiphanich and Tudsri, 1994; Rusland *et al.*, 1993) จำนวนหน่อของหญ้าเนเปียร์แคะ 10 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในด้านระยะปลูก แต่แตกต่างในจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ เมื่อต้นหญ้าเนเปียร์แคะ อายุ 20, 30 และ 40 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ ด้านระยะปลูก จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ โดยหญ้าเนเปียร์แคะอายุ 40 วันหลังปลูก ที่ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ต้นหญ้ามียุ่การแตกกอมากที่สุด ซึ่งมี 13.37 ต้นต่อกอ แตกต่างจากระยะปลูก 50x30 และ 50x40 เซนติเมตร ที่มี 12.84 และ 12.62 ต้นต่อกอ ตามลำดับ ส่วนท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา หญ้าเนเปียร์แคะอายุ 10, 20, 30 และ 40 วันหลังปลูก มีจำนวน 1.80, 7.27, 11.35 และ 14.10 ต้นต่อกอ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา ที่มี 1.34, 5.70, 9.39 และ 11.60 ต้นต่อกอ ตามลำดับ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ เมื่ออายุ 40 วันหลังปลูก พบว่า ที่ระยะปลูก 50x50, 50x30 และ 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยต้นหญ้าเนเปียร์

แกระมี 14.25, 14.03 และ 13.75 ต้นต่อกอ ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตามีแนวโน้มจำนวนหน่อเฉลี่ยน้อยที่สุด 11.15 ต้นต่อกอ เมื่อทำการตัดเก็บเกี่ยวพบว่า จำนวนหน่อมีค่าลดลง เป็นเพราะหน่อที่เหลืออาจไปข่มการสร้างหน่อใหม่ ไม่ให้ตาเกิดการพัฒนาขึ้นมาใหม่ การเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์แกระเป็นแบบกอ และมีเหง้าที่แข็งแรงผลผลิตของหญ้าชนิดนี้จึงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของหน่อหลังจากการตัดทุกครั้ง (Swasdiphanich and Tudsri, 1994; Tonmukayakul *et al.*, 2019)

Table 1 Forage characteristics of Dwarf Napier at different spacing and bud number

		Number leaf per plant				Leaf width (cm)				Leaf length (cm)				Tiller number				Plant height (cm)				
		10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	
spacing	50x30	1.61b	2.46b	2.67b	2.73b	1.16	1.82	2.19a	2.32a	11.78c	33.26a	44.71a	49.00a	1.43	6.89a	9.04b	12.84b	12.45b	26.10a	37.19a	53.15 ^a	
	50x40	1.84a	2.57a	2.77a	2.87a	1.13	1.74	2.17a	2.24b	12.32a	32.09ab	41.63b	46.03ab	1.83	5.98b	10.88ab	12.62b	12.73b	25.55ab	34.74b	49.76 ^{ab}	
	50x50	1.88a	2.60a	2.79a	2.91a	1.17	1.81	2.11b	2.24b	12.18ab	31.15b	41.12b	43.53b	1.51	6.76a	11.19a	13.37a	15.36a	24.74b	34.29b	47.49 ^b	
F-test		*	*	*	*	ns	ns	*	*	*	**	*	**	ns	*	*	**	**	**	**	**	
Bud number	2	2.01 ^a	2.60a	2.70b	2.72b	1.13	1.82	2.33 ^a	2.37 ^a	12.77a	33.76 ^a	43.79 ^a	49.23 ^a	1.80 ^a	7.27 ^a	11.35a	14.10 ^a	13.84	26.43a	35.46	51.39a	
	3	1.49 ^b	2.49b	2.87a	2.90a	1.18	1.76	1.97 ^b	2.15 ^b	11.26b	30.46 ^b	41.00 ^b	42.67 ^b	1.34 ^b	5.70 ^b	9.39b	11.60 ^b	13.08	24.41b	35.34	48.67b	
	F-test	**	*	*	*	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	ns	*
spacing x Bud number																						
50x30	2	2.21a	2.70a	2.70c	2.74b	1.16	1.84	2.43a	2.45a	12.69 ^{abc}	34.59a	46.56a	52.03a	1.67ab	7.74a	11.30ab	14.03a	13.00c	26.42a	35.92 ^b	55.08a	
50x30	3	1.47de	2.50b	2.58c	2.76c	1.16	1.80	1.91d	2.17c	10.63 ^{bc}	31.79c	42.68bc	45.33bc	1.18b	5.95c	6.79c	11.15c	11.84d	25.74b	38.59 ^a	50.81b	
50x40	2	2.00b	2.54b	2.78b	2.79b	1.06	1.74	2.34b	2.36b	11.42 ^{abc}	33.38b	41.66c	48.73b	2.18a	6.71b	11.38a	13.75a	11.97d	26.73a	35.70b	48.70c	
50x40	3	1.65cd	2.61a	2.95a	3.04a	1.21	1.74	1.99c	2.12c	13.36 ^{ab}	30.74cd	41.59c	43.20c	1.42b	5.22d	10.38b	11.43c	13.61bc	24.32bc	33.75 ^c	50.87b	
50x50	2	1.83bc	2.57b	2.57c	2.67c	1.16	1.87	2.21c	2.30b	14.21 ^a	33.30b	43.27b	46.94bc	1.55ab	7.39a	11.38a	14.25a	16.64a	26.13ab	35.78 ^b	50.38b	
50x50	3	1.33e	2.33c	2.89b	3.05a	1.18	1.74	2.00c	2.16c	9.60 ^c	28.66d	38.41d	39.40d	1.47ab	6.00c	11.00ab	12.26b	13.95b	23.05c	33.67 ^c	43.99d	
F-test		**	**	**	**	ns	ns	**	**	*	*	*	**	*	**	*	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)		38.48	28.98	27.40	32.15	23.79	19.43	21.29	25.72	38.84	22.84	20.85	25.48	52.88	50.10	44.24	54.41	33.65	23.11	23.20	27.39	

ns = not significantly different. *, ** = significantly different at 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$) according to Duncan's multiple range test

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของหญ้าเนเปียร์แคะ เมื่ออายุ 40 วันหลังปลูก (Table 2) พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในด้านระยะปลูก จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูก และจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ โดยระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ต้นหญ้ามีย่านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 15.89 มิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างกับอีก 2 ระยะปลูก คือ ระยะปลูก 50x50 และ 50x40 เซนติเมตร ต้นหญ้านเนเปียร์แคะมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 15.55 และ 15.22 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา ต้นหญ้ามีย่านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 16.12 มิลลิเมตร แตกต่างจากท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 14.88 มิลลิเมตร สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ พบว่า ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 16.80 มิลลิเมตร แตกต่างจากระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย 15.85, 15.72 และ 15.34 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x30 และ 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 14.79 และ 14.57 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักต่อต้นของหญ้านเนเปียร์แคะ เมื่ออายุ 40 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติในระยะเวลาปลูก จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ ซึ่งระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ต้นหญ้ามีย่านน้ำหนัก 49.38 กรัมต่อต้น ซึ่งแตกต่างกับระยะปลูก 50x50 และ 50x40 เซนติเมตร ต้นหญ้านเนเปียร์แคะมีน้ำหนัก 46.09 และ 45.47 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา ต้นหญ้ามีย่านน้ำหนัก 51.10 กรัมต่อต้น ซึ่งแตกต่างจากท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา มีน้ำหนัก 42.10 กรัมต่อต้น ส่วนปฏิสัมพันธ์

ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ พบว่า ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีแนวโน้มน้ำหนักต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด 54.78 กรัม แตกต่างจากระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา, ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา และระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีน้ำหนักต่อต้นเฉลี่ย 50.09, 48.54, 42.84 และ 41.91 กรัม ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีแนวโน้มน้ำหนักต่อต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.58 กรัม ผลผลิตต่อไร่ของหญ้านเนเปียร์แคะ เมื่ออายุ 40 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติในด้านระยะปลูก จำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ ซึ่ง ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ต้นหญ้ามีย่านผลผลิตต่อไร่มากที่สุด คือ 4,078.52 กิโลกรัม ใกล้เคียงกับ ระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร เซนติเมตร ต้นหญ้านเนเปียร์แคะมีน้ำหนัก 3,856.79 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแตกต่างกับระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ต้นหญ้านเนเปียร์แคะมีน้ำหนัก 3,051.85 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ พบว่า ส่วนท่อนพันธุ์ที่มี 2 ตา ต้นหญ้ามีย่านผลผลิต 4,022.25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแตกต่างจากท่อนพันธุ์ที่มี 3 ตา มีผลผลิต 3,302.52 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะปลูกและจำนวนตาต่อท่อนพันธุ์ พบว่าระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา ต้นหญ้านเนเปียร์แคะมีผลผลิต 4,398.22 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมากที่สุด ใกล้เคียงกับระยะปลูก 50x40 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา ซึ่งต้นหญ้านเนเปียร์แคะมีผลผลิต 3,951.20 กิโลกรัมต่อไร่ แต่แตกต่างจาก ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา, ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา และระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย, 3,762.37,

3,758.81 และ 3,717.33 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 3 ตา มีแนวโน้มผลผลิตต่อไร่เจ็ดยี่สิบสอง 2,357.04 กิโลกรัมต่อไร่ Isuwan *et al.* (2012) รายงานว่า หญ้าเนเปียร์ธรรมดา หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าขนมีส่วนของลำต้นสูงกว่าใบทุกระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นช่วง 3 สัปดาห์แรกของการตัด หญ้าเนเปียร์ธรรมดา และหญ้ากินนีสีม่วงจะมีส่วนของใบมากกว่าลำต้น แต่เมื่อหญ้าอายุมากขึ้นกลับมีส่วนของลำต้นสูงกว่าใบ โดยเฉพาะหญ้าเนเปียร์ธรรมดามีส่วนของลำต้นสูง ขณะที่หญ้าเนเปียร์แควมีส่วนของใบมากกว่าลำต้นทุกระยะการเจริญเติบโตแตกต่างจากหญ้าชนิด

อื่น Tudsri *et al.* (1996) รายงานว่า หญ้าเนเปียร์แคว 1 ไร่ ให้ผลผลิตสด ประมาณ 3.5 ถึง 4.0 ตันต่อการตัด 1 ครั้ง หญ้าเนเปียร์แควให้ผลผลิตใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างใบกับลำต้น จะเห็นได้ว่าหญ้าเนเปียร์แควมีอัตราส่วนดังกล่าวสูงระยะเวลายาวนานกว่าหญ้าชนิดอื่น การที่หญ้าเนเปียร์แควรักษาปริมาณใบมากกว่าลำต้นได้ยาวนานย่อมมีผลต่อคุณภาพของหญ้าซึ่งทำให้เหมาะสมเป็นหญ้าอาหารสัตว์หมัก ดังนั้นหญ้าเนเปียร์แควจึงเป็นหญ้าพันธุ์หนึ่ง ที่ควรได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเช่นเดียวกับหญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าขน (Throngkarwin *et al.*, 2021)

Table 2 Yield and yield component of Dwarf Napier at different spacing and bud number

		Tiller diameter (mm)	Yield per plant (g)	Yeld (kg/rai)
spacing	50x30	15.89a	49.38a	4,078.52a
	50x40	15.22b	46.09b	3,856.79ab
	50x50	15.55b	45.47b	3,051.85b
F-test		**	*	*
Bud number	2	16.12a	51.10a	4,022.25a
	3	14.88b	42.10b	3,302.52b
	F-test	**	*	*
spacing x Bud number				
50x30	2	16.80a	54.78a	4,398.22a
50x30	3	14.79c	42.84d	3,758.81b
50x40	2	15.85b	50.09b	3,951.20ab
50x40	3	14.57c	41.91e	3,762.37e
50x50	2	15.72b	48.54c	3,717.33b
50x50	3	15.34b	41.58e	2,357.04c
F-test		**	**	*
C.V. (%)		22.25	52.83	26.67

ns = not significantly different. *, ** = significantly different at 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

^{abcd} different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$) according to Duncan's multiple range test

สรุป

การใช้ระยะปลูก 50x30 เซนติเมตร ขนาดท่อนพันธุ์ 2 ตา มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยดีที่สุด ให้ผลผลิตต่อไร่สูงที่สุด เท่ากับ 4,398.22 กิโลกรัมต่อไร่ มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากที่สุด และให้ผลผลิตดีที่สุด จึงเป็นระยะปลูก และขนาดท่อนพันธุ์ที่ควรแนะนำให้กับเกษตรกรผู้สนใจปลูกหญ้าเนเปียร์แคว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์แควหลังการปลูกพืชตระกูลถั่ว ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Department of Livestock Development. 2003. **Good Tropical greases**. 4st ed. The agricultural co-operative federation of Thailand., Ltd. (ACFT), Bangkok. (in Thai)
- Isuwan, A., Chobtang, J. and Poathong, S. 2012. Effects of Nitrogen Fertilization on Yield, Chemical Composition and Fertilizer Use Efficiency of *Pennisetum Purpureum* Cv Mott. **Thaksin University Journal** 15(3): 93-100. (in Thai)
- Lertsansiri, K., Haitook, T. and Cherdthong, A. 2019. Cutting level of forage grasses on yielding and chemical composition during winter season in the Northeast of Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal** 47(suppl. II): 385-390. (in Thai)
- Muangprom, P., Tudsri, S. and Sripichitt, P. 2015. Yield and chemical composition of 6 dwarf-napier cultivar/lines under the low fertile soil in Buriram province. **Agricultural Science Journal** 46(3): 321-331. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2021. **Agricultural Economics Information by Product Year 2021**. Office of Agricultural Economics Printing, Bangkok. (in Thai)
- Rusland, G.A., Sollenberger, L.E. and Jones Jr., C.S. 1993. Nitrogen Fertilization Effects on Planting Stock Characteristics and Establishment Performance of Dwarf Elephant grass. **Agronomy Journal** 85(4): 857-861.
- Swasdiphanich, S. and Tudsri, S. 1994. Effects of cutting intensity on yield and chemical composition of Dwarf Napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. Mott), pp. 72-83. **In Proceedings of the 32nd Kasetsart University Annual Conference: Plants**. Ministry of Science, Technology and Environment, Bangkok. (in Thai)
- Throngkarwin, N., Lasan, S., Dinmueangchon, S., Deemee, S., Kaewkunya, C. and Chantanam, T. 2021. Growth, yield and nutritive value of three Napier grass varieties cultivated in lateritic soil condition. **Khon Kaen Agriculture Journal** 49(suppl. II): 187-194. (in Thai)
- Tonmukayakul, N., Muangpan, J., Chotchutima, S., Tudsri, S. and Sarobol, E. 2019. Effects of Stem Cutting Management on Germination and Grass Yield of Napier Grass cv. Pakchong 1 as Forage Crop. **Thai Journal of Science and Technology** 9(3): 324-332. (in Thai)

- Tudsri, S. 2004. **Tropical greases**. 1st ed. Kasetsart university press, Bangkok. (in Thai)
- Tudsri, S., Sukaket, S. and Pookpakdee, A. 1996. Dry matter production and quality of some Tropical greases. **Kasetsart Journal (Nat. Sci.)** 30: 293-302. (in Thai)

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ที่ได้จาก กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง Study of Chemical Composition of Organic Liquid Product from Catalytic Cracking Process using Response Surface Methodology

โชคชัย เหมือนมาศ*

Chokchai Mueanmas*

Received: 2 October 2022, Revised: 16 December 2022, Accepted: 17 January 2023

บทคัดย่อ

น้ำมันปาล์มมีศักยภาพในการที่จะใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงเหลวได้ด้วยกระบวนการแตกตัวบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด HZSM-5 ในปฏิกรณ์แบบแนวนอนเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์จะทำการวิเคราะห์สารกลุ่ม โอลิฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins), แนฟทีน (naphthenes), อะโรมาติก (aromatics), ออกซิเจน (oxygenated) และ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics) โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 400 - 600 °C และความเร็วปฏิกิริยาในช่วง 23.20 – 68.70 hr⁻¹ ต่อองค์ประกอบของ โอลิฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins) และ อะโรมาติก (aromatics) ในผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ที่ผลิตได้ ปริมาณของสารแต่ละกลุ่มจะถูกวิเคราะห์และนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างสมการเพื่อใช้ทำนายปริมาณของสารแต่ละกลุ่มด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งผลที่ได้จากการใช้สมการทำนาย พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ 460.3 °C และความเร็วปฏิกิริยา 23.2 hr⁻¹ จะได้ปริมาณสารกลุ่มโอลิฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins), แนฟทีน (naphthenes), อะโรมาติก (aromatics), ออกซิเจน (oxygenated) และ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics) เท่ากับ 19.5%, 13.9%, 7.0%, 29.8%, 18.8% และ 10.8% ตามลำดับ โดยค่าเหล่านี้มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบยืนยัน ดังนั้นสมการที่ใช้สำหรับการทำนายปริมาณของสารแต่ละกลุ่มจึงมีความเหมาะสมและมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 20 นาที จากผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลให้ได้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่มีองค์ประกอบของ โอลิฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins) และ อะโรมาติก (aromatics) สูงสุด ซึ่งมีนัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำมันปาล์มให้กลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพโดยตรง

คำสำคัญ: น้ำมันปาล์ม, องค์ประกอบทางเคมี, ผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์, กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung Campus, Paphayom, Phatthalung 93210, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): chokchai@tsu.ac.th

ABSTRACT

The palm oil has the potential to use as a source for liquid fuel production. The catalytic cracking process with a HZSM-5 catalyst was carried out in the horizontal reactor to produce organic liquid product (OLP). The composition of OLP was analyzed in the fraction of olefins, paraffins, naphthenes, aromatics, oxygenated and mixed naphthenes - aromatics. The aim of this research was to study the influence of temperature (400 - 600 °C) and weight hourly space velocity (WHSV) (23.20 – 68.70 hr⁻¹) on the composition of olefins, paraffins and aromatics in organic liquid product (OLP). The quantity of product distributions was analyzed and modeled using the response surface method (RSM). The predicted results showed that the composition of olefins, paraffins, naphthenes, aromatics, oxygenated and mixed naphthenes - aromatics at the temperature 461.9 °C and WSHV 23.2 hr⁻¹ was 19.5%, 13.9%, 7.0%, 29.8%, 18.8% and 10.8%, respectively. These were very close to the verification experiment results. Therefore, the models for the prediction of the product distributions were adequate and statistically significant. The optimum residence time for OLP production was 20 min. Based on the finding in this work, it provides insights into the operational factors for maximizing the quantity of olefins, paraffins and aromatics. Moreover, it has tremendous guiding significance to the efficient operation of transforming palm oil into biofuels.

Key words: palm oil, chemical composition, organic liquid product, catalytic cracking process

บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าทางด้านเศรษฐกิจส่งผลให้การใช้น้ำมันปิโตรเลียมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกภาคส่วน จึงทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การพัฒนาน้ำมันเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงกลายเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญที่จะช่วยแก้ไขทั้งปัญหาปริมาณแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดน้อยลง ราคาพลังงานที่สูงขึ้น และมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น เพราะชีวมวลสามารถปลูกทดแทนได้อย่างต่อเนื่อง ราคาต่ำ และไม่ก่อให้เกิดการสะสมเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากวัฏจักรชีวิตของชีวมวลจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นศูนย์ ชีวมวลที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยคือ ปาล์มน้ำมัน ซึ่งในปี พ.ศ.

2564 มีปริมาณผลผลิต 16.79 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2563 ร้อยละ 3.51 ซึ่งปริมาณความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบภายในประเทศทั้งเพื่อการบริโภคและเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งศักยภาพของน้ำมันปาล์มในการที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวมีหลายรูปแบบ เช่น ไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Soly Peter *et al.*, 2021) ไบโอแก๊สโซลีนจากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Ahmad *et al.*, 2016)

กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นกระบวนการทางเคมีความร้อนที่พบมากในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งใช้สำหรับการแตกสลายน้ำมันปิโตรเลียมที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Yaisamlee and Reubroycharoen, 2021; Huang *et al.*, 2022) ซึ่งในกระบวนการจะต้องมีตัวเร่ง

ปฏิกิริยาที่จะทำหน้าที่เร่งให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุล

โดยกระบวนการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบได้หลากหลายประเภท ได้แก่ น้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์ (Palos *et al.*, 2022) ฟลูออไรด์ (Yaisamlee and Reubroycharoen, 2021) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Wang *et al.*, 2022b) น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะหน้ากากอนามัยที่ใช้ป้องกันโรคโควิด-19 (Sun *et al.*, 2022) น้ำมันไพโรไลซิสจากชีวมวล (Guo *et al.*, 2018) โดยตัวเร่งที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอแก๊สโซลีนมีหลายชนิด ได้แก่ $\text{NiO/Nb}_2\text{O}_5$ (Amjad *et al.*, 2022), แกมมาอะลูมินา (γ -alumina) (Ramezani *et al.*, 2022), ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์แซววาย (HY zeolite) (Hwang *et al.*, 2021) แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 (Singh *et al.*, 2021) เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี (Wang *et al.*, 2022a) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและความสามารถในการดูดซับสูง มีโครงสร้างรูพรุนที่เป็นเอกลักษณ์ (Ma *et al.*, 2017) และราคาถูก (Li *et al.*, 2022) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล และองค์ประกอบของน้ำมันฐานแนฟทา (Naphtha based (PIANO)) รวมถึงออกซิเจน (oxygenated) และ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics) อันประกอบด้วย

1. โอลิฟินส์ (Olefins) คือ สารไฮโดรคาร์บอนที่อะตอมของคาร์บอนยังมีไฮโดรเจนเกาะอยู่ไม่อิ่มตัว
2. พาราฟิน (paraffins) คือ สารไฮโดรคาร์บอนที่อะตอมของคาร์บอนมีไฮโดรเจนเกาะอยู่จนอิ่มตัว
3. แนฟทีน (naphthenes) คือ สารที่มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนต่อเรียงตัวกันเป็นวง
4. อะโรมาติก (aromatics) คือ สารไฮโดรคาร์บอน

ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเบนซีนริง (Benzenes ring) 5. ออกซิเจน (Oxygenated) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 6. มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (Mixed Naphthenes-Aromatics) คือ สารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแนฟทีนิกริง (Naphthenic ring) และ อะโรมาติกริง (Aromatic ring) อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยถึงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากวัตถุดิบต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ Balboul *et al.* (2022) ศึกษากระบวนการแตกตัวของน้ำมันใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เพอร์ซีโอดิเมียม (III) ออกไซด์ (praseodymium (III) oxide) เคลือบบนอะลูมินา (alumina) เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 350°C ที่ปริมาณและความเข้มข้นของ เพอร์ซีโอดิเมียม (praseodymium) เท่ากับ 10% และ 0.6% ตามลำดับ จะส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ 92% และเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีองค์ประกอบของ $\text{C}_5\text{-C}_{16}$ เท่ากับ 41.5% Bhattacharjee and Biswas (2022) ศึกษาการสลายตัวของแกลบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ที่อุณหภูมิ 550°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน $50^\circ\text{C}/\text{min}$ ที่อัตราการไหลของ N_2 เท่ากับ 0.3 ลิตร/นาที พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และมีองค์ประกอบร้อยละโดยมวลของ แนฟทีนิก (naphthenic), โอลิฟินิก (olefinic), อะโรมาติก (aromatic) และ พาราฟินิก (paraffinic) เท่ากับ 0.54, 1.98, 4.18 และ 4.42 ตามลำดับ Gurdeep Singh *et al.* (2019) ได้ศึกษาการแตกตัวของ ลิโนเลอิกแอซิด (Linoleic acid) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 โดยใช้ อินคอนเนลแบทช์รีแอกเตอร์ (Inconel batch reactor) ที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 90 นาที พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีองค์ประกอบของ ไอโซพาราฟินส์ (Isoparaffins) 1.05% และ อะโรมาติก (aromatics) 51.5% อีกทั้ง Valle *et al.* (2022) ได้ทำการศึกษาการ

แตกตัวของน้ำมันไพโรไลซิสจากชี้เลี้ยงไม้สนโดยใช้ ZSM-5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 450°C พบว่าสารตั้งต้นมีการเปลี่ยนแปลง 85% และมีร้อยละผลได้ของสารกลุ่ม อะโรมาติก (aromatics) และแนฟเธลีน (Naphthalenes) เท่ากับ 9% และ 4% ตามลำดับ Muttaqii *et al.* (2021) ศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าวด้วยกระบวนการแตกตัวบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในเวสเซลรีแอคเตอร์ (vessel reactor) ที่อุณหภูมิ 350°C ความดัน 15 บาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบของ ไซโคลพาราฟิน (cycloparaffins), นอร์มอลพาราฟิน (normal paraffins), โอลิฟินส์ (olefins) และ อะโรมาติก (aromatics) เท่ากับ 0.11%, 5.33%, 7.85% และ 0.08% ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นสารประกอบกลุ่ม oxygenated compound 86.63% นอกจากนี้ Prajitno *et al.* (2022) ยังได้ศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันต้นตีนเป็ดทราย (Cerbera manghas oil) ที่อุณหภูมิ 400°C พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบของ นอร์มอลพาราฟิน (n-paraffins), ไซโคลพาราฟิน (cycloparaffins), โอลิฟินส์ (olefins), กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และ สารประกอบที่มีอะตอมออกซิเจน (Compound containing oxygen) เท่ากับ 0.02%, 0.06%, 0.07%, 92.99% และ 6.67% ตามลำดับ Ghaffar *et al.* (2020) ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันไพโรไลซิสของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 โดยศึกษาผลของอัตราการให้ความร้อนในช่วง 2-18 °C/min และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาในช่วง 75-105 นาที พบว่าที่เวลา 75 นาที และอัตราการให้ความร้อน 2°C/min จะทำให้ผลได้ที่สูงที่สุดของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเป็น 61.05 wt% และมีผลได้ของผลิตภัณฑ์แข็ง และก๊าซ เท่ากับ 0.41 wt% และ 38.54wt% ตามลำดับ โดยที่สภาวะนี้จะทำให้

องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์มี พาราฟิน (paraffins), โอลิฟินส์ (olefins), แนฟทีน (naphthenes) และ อะโรมาติก (aromatics) เท่ากับ 60.97%, 17.82%, 11.75% และ 8.04% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่ในประเทศจะพบว่า น้ำมันปาล์ม เป็นชีวมวลที่มีศักยภาพในการจะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลังงานทดแทน ทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ZSM-5 ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้เทคนิคการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) เพื่อออกแบบการทดลองสำหรับศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยา จากนั้นจึงทำการศึกษาผลของเวลาในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์ อันจะเป็นแนวทางในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ ดังนั้นจึงสามารถสร้างความยั่งยืนทางด้านพลังงานให้กับประเทศได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ และสารเคมี

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined palm oil) ของบริษัท มรกต อินดัสทรี จำกัด ตัวเร่งปฏิกิริยา H⁺-Zeolite Socony Mobil-5 (HZSM-5) จากบริษัท ACS Material ซึ่งมีอัตราส่วนเชิงโมลของ Si/Al เท่ากับ 38 และใช้ซูโดโบเอไมต์ (Pseudo-Boehmite) ร้อยละ 30 โดยมวลเป็นตัวเชื่อมประสานสำหรับการอัดเป็นแท่งให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และความยาวในช่วง 2-10 มิลลิเมตร โดยก่อนการนำไปใช้ในกระบวนการจะทำการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อเป็นการกระตุ้น

ตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (active site) ของตัวเร่งปฏิกิริยา แก๊สไนโตรเจนความบริสุทธิ์ 99.999% จากบริษัท ลินเค้ (ประเทศไทย) จำกัด

2. การศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม

ปฏิกรณ์สำหรับทำปฏิกิริยาออกแบบให้มีขนาดต่างกัน 2 ส่วน (Figure 1) คือ ส่วนแรกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.3 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับการป้อนน้ำมันปาล์มเข้าสู่ระบบ จากนั้นเมื่อได้รับความร้อนน้ำมันปาล์มจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ แล้วไหลเข้าสู่ส่วนที่สอง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และเป็นส่วนที่มีการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้ ซึ่งการที่ปฏิกรณ์ส่วนนี้มีขนาดเล็กลงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ไอระเหยของน้ำมันปาล์มได้มี

การไหลผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา และสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก่อนเริ่มการทดลองตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำหนัก 5 กรัม (3.33% ของน้ำมันปาล์ม) จะถูกบรรจุเอาไว้ในปฏิกรณ์ แล้วจึงให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ พร้อมกับการป้อนแก๊สไนโตรเจนเพื่อเป็นการกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในระบบ จากนั้นจึงป้อนน้ำมันปาล์ม 150 กรัมเข้าสู่ปฏิกรณ์ด้วยปั๊มแบบรีดท่อ (peristaltic pump) ตามอัตราการไหลที่สอดคล้องกับค่าความเร็วปฏิกิริยาที่กำหนด เมื่อไอระเหยของผลิตภัณฑ์ออกจากปฏิกรณ์จะทำการควบแน่นด้วยน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์เหลวที่ควบแน่นได้ไปทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer, GC-MS)

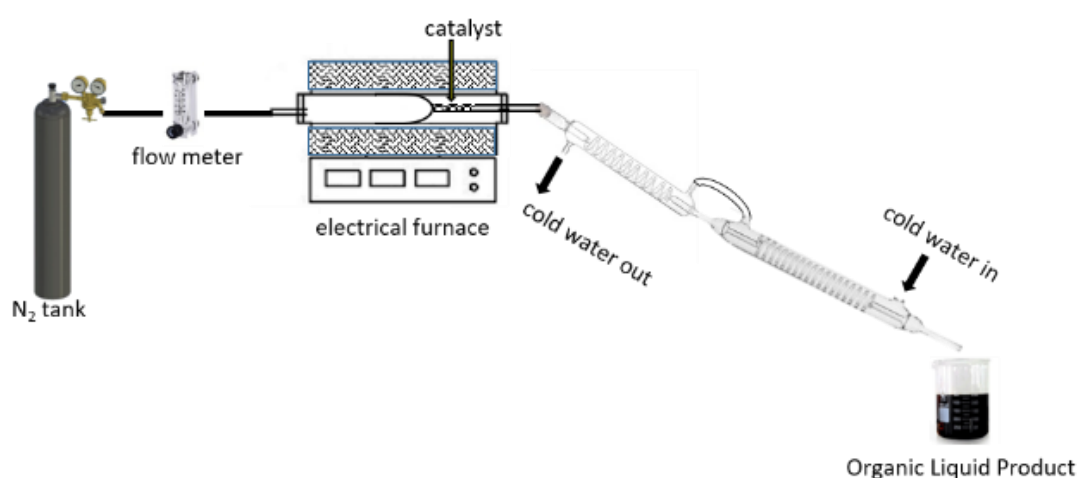


Figure 1 Experimental setup for catalytic cracking of palm oil to organic liquid product

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม

ผลิตภัณฑ์ที่ควบแน่นได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม จะนำมาผสมกับตัวทำละลายเฮกเซนในอัตราส่วน 1:10 เพื่อ

เจือจางความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ก่อนจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC-MS โดยแต่ละตัวอย่างจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ 65 นาที ซึ่งสภาวะของเครื่องจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของ oven ที่ 50°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิเป็น 300°C ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 5°C/min

และให้คงที่ที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 10 นาที อีกทั้งอุณหภูมิของ injection MS source temperature และ MS quad temperature จะกำหนดให้เท่ากับ 290 °C 230 °C และ 150 °C ตามลำดับ และใช้ HP-5MS (30 m * 0.25 mm ID, 0.25µm film thickness) เป็นคอลัมน์สำหรับการวิเคราะห์ ด้วย split ratio เท่ากับ 16.7:1

4. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองด้วยการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ได้นำมาใช้เพื่อศึกษาผลของปัจจัยอุณหภูมิ (400-600 °C) และความเร็วปริภูมิ (weight hourly space velocity

(WHSV)) (23.20 – 68.70 hr⁻¹) ต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม ซึ่งผลการออกแบบการทดลองเป็นดังแสดงใน Table 1 และนำผลการทดลองที่ได้มาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least square regression) สำหรับใช้ในการทำนายผลของตัวแปรและผลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) ต่อค่าตอบสนอง ซึ่งสมการที่ได้เป็นดังสมการที่ (1)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

โดยที่ Y คือค่าของตัวแปรตอบสนอง; X_i และ X_j คือตัวแปรอิสระ; β_0 คือค่าคงที่; β_i , β_{ii} และ β_{ij} คือค่าสัมประสิทธิ์ของพจน์ตัวแปรกำลังหนึ่ง, สัมประสิทธิ์ของพจน์ตัวแปรกำลังสอง และสัมประสิทธิ์ของอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร ตามลำดับ; n คือจำนวนตัวแปรอิสระ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของของเหลวอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำ มีความหนืดสูง ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มจะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) และผลที่ได้เป็นดังแสดงใน Table 2 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ โอลิฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins), แนฟทีน (naphthenes), อะโรมาติก (aromatics), ออกซิเจน (oxygenated) และ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics)

2. การศึกษากระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม

การศึกษากิจกรรมการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มที่มีปัจจัยอิสระจำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ (A) และความเร็วปริภูมิ (B) โดยทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) แบบการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ได้จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 11 การทดลอง ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังแสดงใน Table 1 พบว่า เปอร์เซ็นต์โอเลฟินส์ (%olefins) มีค่าสูงสุดคือ 25.3% เมื่อใช้อุณหภูมิ 571 °C ที่ความเร็วปริภูมิ 29.86 hr⁻¹ และมีค่าต่ำสุดคือ 5.0% เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความเร็วปริภูมิ 45.95 hr⁻¹ เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins) มีค่าสูงสุดคือ 15.5% เมื่อใช้อุณหภูมิ 429 °C ที่ความเร็วปริภูมิ 62.04

hr⁻¹ และมีค่าต่ำสุดคือ 6.2% เมื่อใช้อุณหภูมิ 600 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 45.95 hr⁻¹ เพอร์เซนต์แนฟทีน (%naphthenes) มีค่าสูงสุดคือ 13.1% เมื่อใช้อุณหภูมิ 500 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 45.95 hr⁻¹ และมีค่าต่ำสุดคือ 1.5% เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 45.95 hr⁻¹ เพอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics) มีค่าสูงสุดคือ 45.6% เมื่อใช้อุณหภูมิ 429 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 62.04 hr⁻¹ และมีค่าต่ำสุดคือ 24.4% เมื่อใช้อุณหภูมิ 500 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 23.20 hr⁻¹ เพอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) มีค่าสูงสุดคือ 26.6% เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 45.95 hr⁻¹ และมี

ค่าต่ำสุดคือ 11.2% เมื่อใช้อุณหภูมิ 600 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 45.95 hr⁻¹ เพอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าสูงสุดคือ 15.5% เมื่อใช้อุณหภูมิ 429 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 62.04 hr⁻¹ และมีค่าต่ำสุดคือ 5.4% เมื่อใช้อุณหภูมิ 500 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 45.95 hr⁻¹ และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างสมการด้วยวิธีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least square regression) สำหรับใช้ในการทำนายผลของตัวแปรและผลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) ต่อค่าตอบสนอง จะได้ดังสมการที่ (2) - (7)

$$\%Olefins = -180.377 + 0.746A - 0.012B - 1.075 \times 10^{-3}AB - 6.324 \times 10^{-4}A^2 + 4.082 \times 10^{-3}B^2 \quad (2)$$

$$\%Paraffins = -77.363 + 0.363A + 0.479B - 8.035 \times 10^{-4}AB - 3.663 \times 10^{-4}A^2 - 1.301 \times 10^{-3}B^2 \quad (3)$$

$$\%Naphthenes = -264.533 + 0.965A + 1.258B - 1.652 \times 10^{-3}AB - 8.562 \times 10^{-4}A^2 - 5.374 \times 10^{-3}B^2 \quad (4)$$

$$\%Aromatics = +380.823 - 1.341A - 0.545B + 2.330 \times 10^{-4}AB + 1.285 \times 10^{-3}A^2 + 8.045 \times 10^{-3}B^2 \quad (5)$$

$$\%Oxygenated = +43.757 - 0.015A + 8.964 \times 10^{-3}B + 2.650 \times 10^{-3}AB - 1.821 \times 10^{-4}A^2 - 0.015B^2 \quad (6)$$

$$\%Mixed Naphthenes-Aromatics = +197.730 - 0.718A - 1.189B + 6.487 \times 10^{-4}AB + 7.517A^2 + 9.621 \times 10^{-3}B^2 \quad (7)$$

Table 1 Response surface experimental design and results for catalytic cracking process of palm oil

Run	Independent variable		%Olefins			%Paraffins			%Naphthenes			%Aromatics			%Oxygenated			%Mixed Naphthenes - Aromatics		
	A	B	Actual value	Predicted value		Actual value	Predicted value		Actual value	Predicted value		Actual value	Predicted value		Actual value	Predicted value		Actual value	Predicted value	
1	400	45.95	5.0	5.2		12.5	13.7		1.5	0.7		45.2	46.1		26.6	26.0		9.1	8.3	
2	429	62.04	9.5	9.7		15.5	14.3		4.8	5.4		45.6	45.2		16.6	17.0		7.9	8.4	
3	429	29.86	13.6	12.9		14.5	13.8		2.7	3.6		37.0	35.7		24.0	24.7		8.3	9.3	
4	500	45.95	18.9	18.0		13.0	13.4		13.1	12.5		28.2	28.7		21.3	20.4		5.4	7.1	
5	500	23.20	23.1	24.0		13.7	13.7		12.0	11.2		24.4	25.8		14.4	13.7		12.4	11.6	
6	500	45.95	18.3	18.0		12.7	13.4		12.3	12.5		28.3	28.7		22.0	20.4		6.4	7.1	
7	500	68.70	16.4	16.1		11.0	11.7		8.6	8.3		39.8	40.0		11.5	11.4		12.6	12.5	
8	500	45.95	16.7	18.0		14.4	13.4		12.2	12.5		29.6	28.7		17.8	20.4		9.4	7.1	
9	571	62.04	16.4	16.4		6.7	6.7		6.2	6.3		39.5	39.3		12.4	12.4		18.8	18.8	
10	571	29.86	25.3	24.4		9.4	9.9		11.6	12.1		29.8	28.8		7.6	8.1		16.3	16.7	
11	600	45.95	17.6	18.1		6.2	5.7		7.4	7.3		36.4	37.0		11.2	11.0		21.0	20.9	

Table 2 Chemical composition of organic liquid product from catalytic cracking process of palm oil

Compound Name	Formular	Retention time	Compound Name	Formular	Retention time
Olefins compound					
1,8-Nonadiene	C ₉ H ₁₆	3.844	Decane	C ₁₀ H ₂₂	7.976
4-Nonene	C ₉ H ₁₈	4.251	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	11.457
1,3,11-Dodecatriene	C ₁₂ H ₂₀	7.342	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	14.605
1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	7.715	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	17.491
1,10-Undecadiene	C ₁₁ H ₂₀	10.881	n-Nonylcyclohexane	C ₁₅ H ₃₀	23.747
1-Undecene	C ₁₁ H ₂₂	11.219	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	27.182
5-Undecene, (E)-	C ₁₁ H ₂₂	11.369	Naphthenes compound		
5-Undecene	C ₁₁ H ₂₂	11.638	Cyclohexene, 1,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₄	2.678
1,11-Dodecadiene	C ₁₂ H ₂₂	14.091	Cyclopentadiene, 2,5,5-trimethyl-	C ₈ H ₁₂	3.004
1-Dodecene	C ₁₂ H ₂₄	14.388	1-Propylcyclopentene	C ₈ H ₁₄	3.016
3-Dodecene, (E)-	C ₁₂ H ₂₄	14.758	Cyclohexene, 1-ethyl-	C ₈ H ₁₄	3.076
1-Tridecene	C ₁₃ H ₂₆	17.279	Pentalene, 1,2,3,3a,4,6a-hexahydro-	C ₈ H ₁₂	3.207
1-Tridecene	C ₁₃ H ₂₆	22.468	Cyclohexane, 1-ethenyl-2-methyl-, trans-	C ₉ H ₁₆	3.66
Cetene	C ₁₆ H ₃₂	24.793	Cyclopropane, 1-methyl-2-pentyl-	C ₉ H ₁₈	4.154
8-Heptadecen	C ₁₇ H ₃₄	26.671	Bicyclo[3.2.1]octane	C ₈ H ₁₄	4.264
1-Pentadecene	C ₁₅ H ₃₀	27.024	Cyclopentene, 1-butyl-	C ₉ H ₁₆	5.959
Paraffins compound					
Nonane	C ₉ H ₂₀	4.364	Cyclohexene, 1-propyl-	C ₉ H ₁₆	6.326
			Bicyclo[2.2.2]octane	C ₈ H ₁₄	6.687
			Trans-2,3-dimethylbicyclo[2.2.2]octane	C ₁₀ H ₁₈	7.009

Table 2 (Continuos)

Compound Name	Formular	Retention time	Compound Name	Formular	Retention time
Bicyclo[3.3.1]nonane	C ₉ H ₁₆	10.172	Mesitylene	C ₉ H ₁₂	7.666
Cycloundecene(E)	C ₁₁ H ₂₀	12.281	Benzene, (1-methylethyl)-	C ₉ H ₁₂	8.615
Cyclododecene, (Z)-	C ₁₂ H ₂₂	15.336	Benzene, 1-methyl-4-propyl-	C ₁₀ H ₁₄	9.695
Cyclopentadecane	C ₁₅ H ₃₀	22.283	Benzene, n-butyl-	C ₁₀ H ₁₄	9.850
Cyclotetradecane	C ₁₄ H ₂₈	19.972	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	C ₁₀ H ₁₂	10.806
Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	20.146	Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₄	10.831
Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	22.694	Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₂	11.248
Aromatics compound					
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	3.357	Benzene, 1-ethenyl-3,5-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₂	11.394
Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	3.588	Benzene, hexyl-	C ₁₂ H ₁₈	16.252
p-Xylene	C ₈ H ₁₀	3.651	Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₂	12.321
1,3,5,7-Cyclooctatetraene	C ₈ H ₈	4.123	Benzene, pentyl-	C ₁₁ H ₁₆	13.197
Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	4.185	Benzene, (1-methylbutyl)-	C ₁₁ H ₁₆	13.475
Benzene, (1-methylethyl)-	C ₉ H ₁₂	5.132	Naphthalene	C ₁₀ H ₈	13.927
Benzene, propyl-	C ₉ H ₁₂	6.181	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	C ₁₃ H ₁₂	22.131
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	C ₉ H ₁₂	6.535	Naphthalene, 2-ethyl-	C ₁₂ H ₁₂	19.78
Benzene, 1,2,4-trimethyl-"	C ₉ H ₁₂	6.728	Naphthalene, 1,2-dimethyl-	C ₁₂ H ₁₂	19.864
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	C ₉ H ₁₂	7.118	Naphthalene, 2,6-dimethyl-	C ₁₂ H ₁₂	20.067
alpha.-Methylstyrene	C ₉ H ₁₀	7.233	Naphthalene, 1,4-dimethyl-	C ₁₂ H ₁₂	20.446
			Naphthalene, 1,6-dimethyl-	C ₁₂ H ₁₂	20.525

Table 2 (Continuous)

Compound Name	Formular	Retention time	Compound Name	Formular	Retention
Naphthalene, 2-ethenyl-	C ₁₂ H ₁₀	20.695	Naphthalene, 1,2-dihydro-4-methyl-	C ₁₁ H ₁₂	15.728
Anthracene, 2-methyl-	C ₁₅ H ₁₂	30.954	Naphthalene, 1,2-dihydro-	C ₁₀ H ₁₀	11.801
1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	C ₁₃ H ₁₂	23.47	Indan, 1-methyl-	C ₁₀ H ₁₂	12.512
1H-Phenylene	C ₁₃ H ₁₀	23.926	2-Methylindene	C ₁₀ H ₁₀	12.855
Pyrene	C ₁₆ H ₁₀	34.985	Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	C ₁₀ H ₁₀	13.269
Oxygenated compound					
Furan, 3-methyl-	C ₅ H ₆ O	2.785	Benzene, 1,3-hexadienyl-	C ₁₂ H ₁₄	14.851
Formic acid, 2,3-dimethylphenyl ester	C ₉ H ₁₀ O ₂	11.738	Acenaphthene	C ₁₂ H ₁₀	21.998
Phenol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O	10.256	1H-Indene, 1-ethylidene-	C ₁₁ H ₁₀	17.142
Pentadecanal-	C ₁₅ H ₃₀ O	29.627	1H-Indene, 1,1,3-trimethyl-	C ₁₂ H ₁₄	19.319
2-Heptadecanone	C ₁₇ H ₃₄ O	31.372	Acenaphthylene	C ₁₂ H ₈	21.135
n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	33.46	1H-Indene, 2-phenyl-	C ₁₃ H ₁₂	31.227
16-Hentriacontanone	C ₃₁ H ₆₂ O	52.279	Fluorene	C ₁₃ H ₁₀	24.352
Mixed Naphthenes – Aromatics compound					
Indene	C ₉ H ₈	9.389	4a,9a-Methano-9H-fluorene	C ₁₄ H ₁₂	26.953
Indane	C ₉ H ₁₀	5.904	9H-Fluorene, 4-methyl-	C ₁₄ H ₁₂	27.091
Benzene, cyclopropyl-	C ₉ H ₁₀	7.823	9H-Fluorene, 9-methylene-	C ₁₄ H ₁₀	28.62
Indan, 1-methyl-	C ₁₀ H ₁₂	10.51	Fluoranthene	C ₁₆ H ₁₀	34.06
Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	C ₁₀ H ₁₀	10.659	11H-Benzo[b]fluorene	C ₁₇ H ₁₂	36.756
			8,9-Dihydrocyclopenta[def]phenanthrene	C ₁₅ H ₁₂	31.449

ความมีนัยสำคัญของสมการที่ (2) - (7) จะแสดงด้วยข้อมูลจาก Analysis of variance (ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าทุกสมการมีค่า F-value มากกว่า critical value ที่ความเชื่อมั่น 95% อีกทั้งค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น สมการที่ได้จึงมีนัยสำคัญในการใช้ทำนายองค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เหลว และเมื่อพิจารณาความมีนัยสำคัญของตัวแปรหลัก และปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรหลักในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ค่า P-value เป็นเกณฑ์ (P-value น้อยกว่า 0.05 จะเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ) จะพบว่าตัวแปร AB และ B² ไม่มีนัยสำคัญต่อ

เปอร์เซ็นต์โอเลฟินส์ (%olefins) ตัวแปร B, AB และ B² ไม่มีนัยสำคัญต่อ เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins) ตัวแปร AB ไม่มีนัยสำคัญต่อ เปอร์เซ็นต์อะโรมาติก (%aromatics) ตัวแปร B และ A² ไม่มีนัยสำคัญต่อ เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (%oxygenated) และตัวแปร B และ AB ไม่มีนัยสำคัญต่อ เปอร์เซ็นต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า R² ขององค์ประกอบต่าง ๆ จะพบว่ามีค่ามากกว่า 0.93 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้นั้นสามารถใช้ในการทำนายได้เป็นอย่างดี

Table 3 Analysis of variance of the developed model for %Olefin, %Paraffin, %Napthenes, %Aromatics, %Oxygenated and %Mixed Napthenes - Aromatics

ปัจจัยที่ศึกษา	%Olefin		%Paraffin		%Napthenes	
	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value
Model	64.39	0.0002	15.16	0.0048	48.87	0.0003
A	169.16	< 0.0001	53.88	0.0007	63.16	0.0005
B	64.16	0.0005	3.15	0.1363	11.54	0.0193
AB	6.11	0.0565	2.78	0.1563	20.36	0.0063
A ²	57.63	0.0006	15.77	0.0106	149.12	< 0.0001
B ²	6.43	0.0521	0.53	0.4982	15.74	0.0107
Lack of Fit	0.62	0.6644	1.84	0.3716	4.03	0.2053
Adeq Precision	26.309		10.610		19.296	
C.V. (%)	6.02		9.31		9.91	
Std. Dev.	0.99		1.10		0.83	
Good of Fit	R ² = 0.9847		R ² = 0.9381		R ² = 0.9799	
ปัจจัยที่ศึกษา	%Aromatics		%Oxygenated		%Mixed Napthenes -	
	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value
Model	68.30	0.0001	29.52	0.0010	22.67	0.0019
A	54.52	0.0007	94.07	0.0002	71.15	0.0004
B	132.35	< 0.0001	2.29	0.1909	0.36	0.5764
AB	0.19	0.6844	15.19	0.0114	0.97	0.3697
A ²	154.27	< 0.0001	1.96	0.2208	35.57	0.0019
B ²	16.19	0.0101	35.91	0.0019	15.61	0.0108
Lack of Fit	3.50	0.2301	0.11	0.9490	0.22	0.8777

Table 3 (Continuous)

ปัจจัยที่ศึกษา	%Aromatics		%Oxygenated		%Mixed Napthenes -	
	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value
Adeq Precision	22.356		15.741		12.507	
C.V. (%)	3.52		9.18		12.90	
Std. Dev.	1.23		1.55		1.50	
Good of Fit	$R^2 = 0.9856$		$R^2 = 0.9672$		$R^2 = 0.9577$	

3. การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อค่าตอบสนอง ในกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน ปาล์ม

3.1 เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins)

ปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเร็ว
ปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปริมาณของ เปอร์เซนต์โอเลฟินส์
(%olefins) สามารถแสดงเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนอง
และกราฟโครงร่างดัง Figure 2(a) – 2(b) ซึ่งผลของ
ปฏิสัมพันธ์แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผล
ให้ เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins) มีค่าเพิ่มขึ้น
เช่นกัน โดยจะมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 550°C และเมื่อ
อุณหภูมิเพิ่มมากยิ่งขึ้นส่งผลให้ เปอร์เซนต์โอเลฟินส์
(%olefins) มีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลจากการเกิด coke

บนบริเวณพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้
ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดต่ำลง ซึ่ง
สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hou *et al.* (2017)
ในขณะที่เมื่อความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้
เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins) มีค่าลดลงเพราะเมื่อ
ความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาการ
สัมผัสกันระหว่างไอระเหยของน้ำมันปาล์มกับพื้นผิว
ของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ทำให้ไม่สามารถเกิดการ
แตกตัวของโมเลกุลได้อย่างสมบูรณ์ โดยผลการ
ทดลองของทั้งสองตัวแปรสอดคล้องกับผลการ
ทดลองของ Yaisamlee and Reubroycharoen (2021)
ซึ่งเป็นการศึกษาการผลิต โอเลฟินส์ (olefins) จากฟู
เซลอยล์ (Fusel oil) ด้วยกระบวนการแตกตัวด้วย
ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5

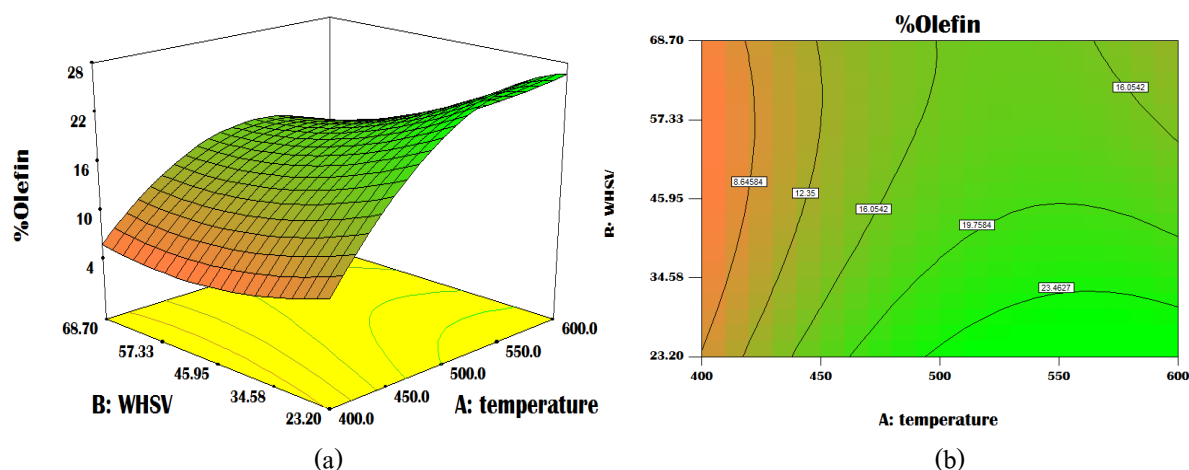


Figure 2 Response surface (a) and contour plot (b) as interactive effect of temperature and WHSV on %Olefins

3.2 เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins)

ปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปริมาณของ เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins) สามารถแสดงเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนอง และกราฟโครงร่างดัง Figure 3(a) – 3(b) ซึ่งผลของปฏิสัมพันธ์แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins) มีค่าต่ำลง และเมื่อพิจารณาผลของ

ความเร็วปฏิกิริยา จะพบว่าที่อุณหภูมิ 400 – 500 °C เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ต่ำและความเร็วปฏิกิริยาที่สูงจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาณ เปอร์เซ็นต์พาราฟิน (%paraffins) ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Yang *et al.* (2013)

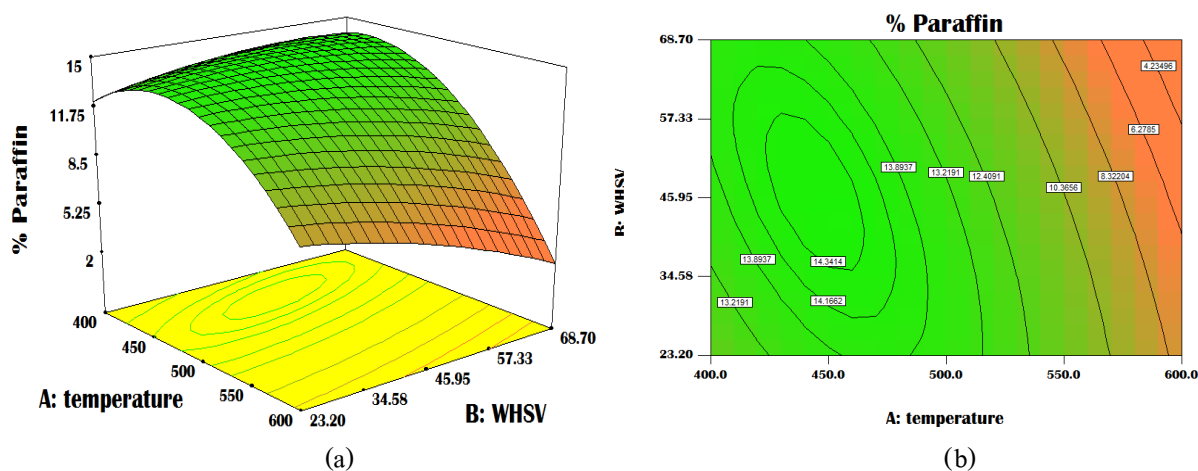


Figure 3 Response surface (a) and contour plot (b) as interactive effect of temperature and WHSV on %Paraffins

3.3 เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes)

ปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปริมาณของ เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) สามารถแสดงเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนอง และกราฟโครงร่าง Figure 4(a) – 4(b) ซึ่งผลของปฏิสัมพันธ์แสดงว่าเมื่อความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400°C เป็น 550°C จะส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพการเลือก (selectivity) ของปฏิกิริยา แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 550°C จะส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผล

การศึกษาของ Sanhoob *et al.* (2022) และ Potapenko *et al.* (2019) และเมื่อพิจารณาผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อ เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) จะพบว่าที่อุณหภูมิต่ำ ความเร็วปฏิกิริยาจะแปรผันตรงกับ เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิสูงจะมีการแปรผกผันซึ่งกันและกัน ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากเมื่อ ความเร็วปฏิกิริยามีค่าต่ำจะส่งผลให้เวลาในการสัมผัสกันระหว่างสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกิดเป็น เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes) มากขึ้น และเมื่อความเร็วปฏิกิริยามีค่าสูงระยะเวลาในการสัมผัสกันน้อยลงจึงส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์น้อยลง สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Mettu *et al.* (2022)

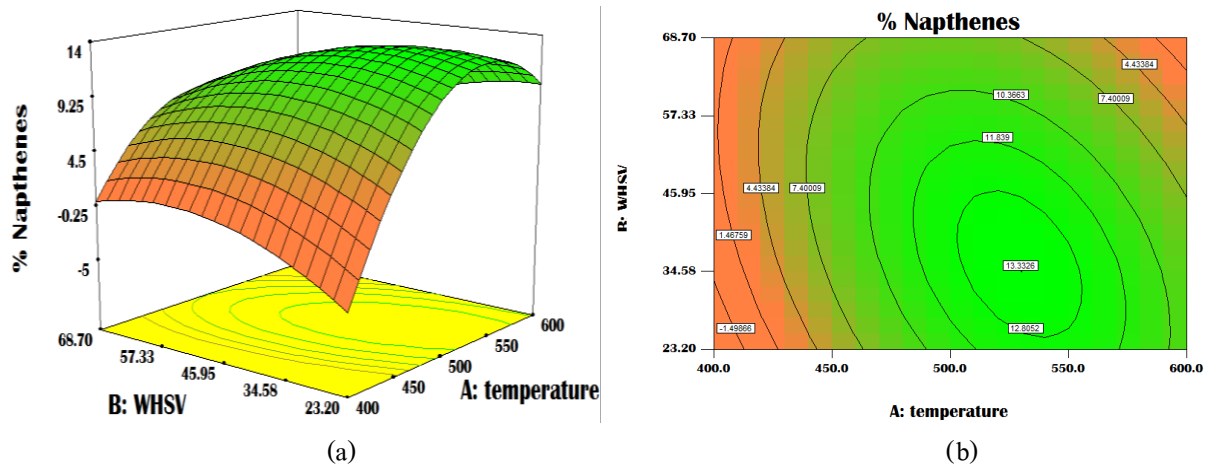


Figure 4 Response surface (a) and contour plot (b) as interactive effect of temperature and WHSV on %Naphthenes

3.4 เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics)

ปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเร็ว ปริภูมิที่ส่งผลต่อปริมาณของ เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics) สามารถแสดงเป็นกราฟพื้นผิว ตอบสนอง และกราฟโครงร่างดัง Figure 5(a) – 5(b) ซึ่งผลของปฏิสัมพันธ์แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จาก 400°C เป็น 525°C จะส่งผลให้ เปอร์เซนต์ อะโรมาติก (%aromatics) ลดลง (Metu *et al.*, 2022) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 525°C จะส่งผลให้

เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาดีไฮโดรไซคลิกเซชัน อะโรมาไทเซชัน (dehydrocyclization aromatization) ของสารประกอบแอลคีน โอลิโกเมอร์ (alkene oligomers) เกิดเพิ่มขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ค่าสภาพการเลือก (selectivity) ของ อะโรมาติก (aromatics) เพิ่มขึ้น (Zhu *et al.*, 2005) ในขณะที่เมื่อความเร็วปริภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics) มีค่าเพิ่มขึ้น

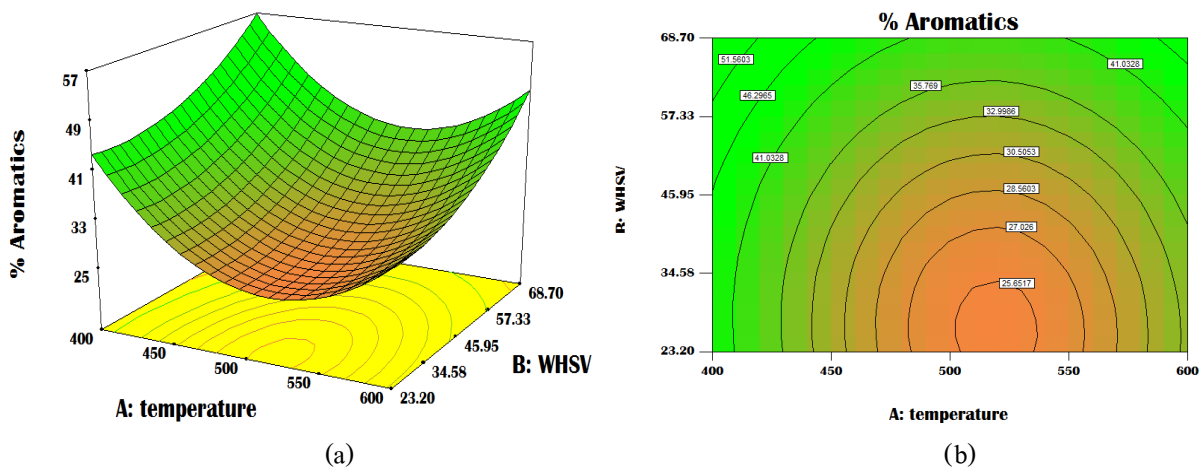


Figure 5 Response surface (a) and contour plot (b) as interactive effect of temperature and WHSV on %Aromatics

3.5 เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated)

ปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปริมาณของ เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) สามารถแสดงเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนอง และกราฟโครงร่างดัง Figure 6(a) – 6(b) ซึ่งผลของปฏิสัมพันธ์แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) มีค่าลดลง เป็นผลจากปฏิกิริยาการกำจัดออกซิเจน (deoxygenation) ซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง โดยที่ปริมาณของออกซิเจนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ที่

ได้จากกระบวนการ hydrocracking ของน้ำมันพืชจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Istadi *et al.* (2021) ในส่วนของความเร็วปฏิกิริยาจะส่งผลให้ เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 23.20 เป็น 45.95 และ เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) จะมีค่าลดลง เมื่อความเร็วปฏิกิริยามีค่าสูงกว่า 45.95 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu *et al.* (2016)

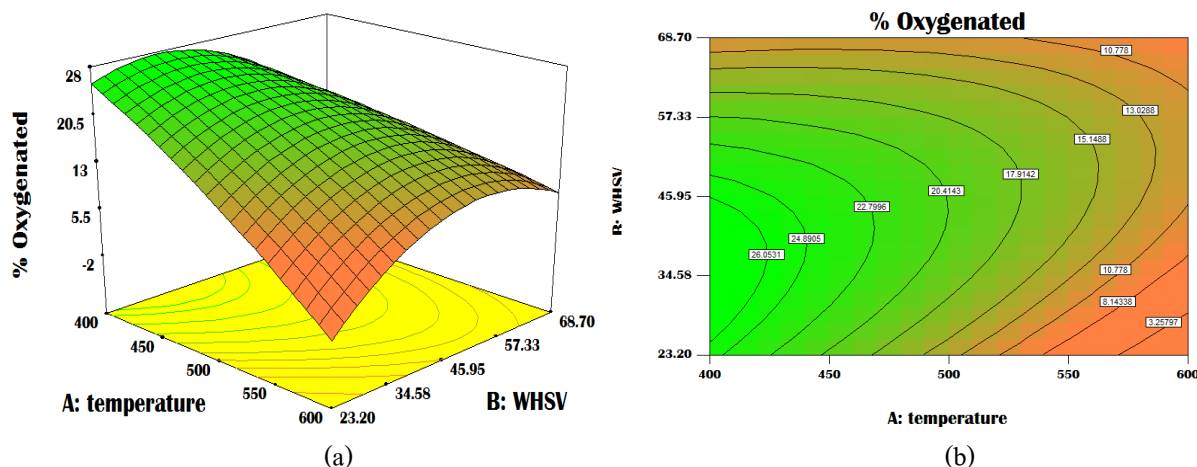


Figure 6 Response surface (a) and contour plot (b) as interactive effect of temperature and WHSV on %Oxygenated

3.6 เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics)

ปฏิสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปริมาณของ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) สามารถแสดงเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนอง และกราฟโครงร่างดัง Figure 7(a) – 7(b) ซึ่งผลของปฏิสัมพันธ์แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 23.2hr⁻¹ เป็น

45.95 hr⁻¹ จะส่งผลให้ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าลดลง แต่เมื่อความเร็วปฏิกิริยาสูงกว่า 45.95 hr⁻¹ จะส่งผลให้ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยของความเร็วปฏิกิริยาจะส่งผลให้ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าลดลง ในช่วงความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 23.20 h⁻¹ เป็น 45.95 h⁻¹ และเมื่อความเร็วปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

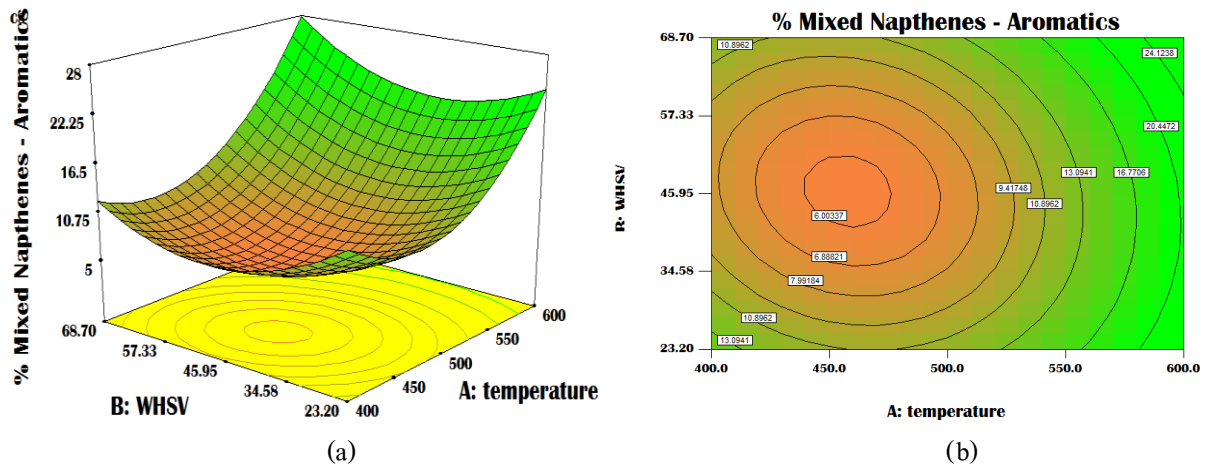


Figure 7 Response surface (a) and contour plot (b) as interactive effect of temperature and WHSV on %Mixed Naphthenes – Aromatics

4. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม

การหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มทำได้โดยใช้ฟังก์ชันสำหรับหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) ในโปรแกรมดีไซน์เอ็กเพอร์ท (Design Expert®) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยต่าง ๆ โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นทำได้โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระอยู่ในช่วงขอบเขตที่ทำการศึกษา อีกทั้งกำหนดเป้าหมายของ เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins), เปอร์เซนต์พาราฟิน (%paraffins) และ เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics) ให้มีค่ามากที่สุด (maximum) และกำหนดเป้าหมายของ เปอร์เซนต์แนฟทีน (%naphthenes), เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) และ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) ให้มีค่าน้อยที่สุด (minimum)

จากการทำนายด้วยสมการสำหรับกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม เป็นดังแสดงใน Table 4 พบว่า กระบวนการที่อุณหภูมิ 460.3 °C ที่ความเร็วปฏิกิริยา 23.2 hr⁻¹ จะเป็น

สภาวะที่ส่งผลให้ เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins), เปอร์เซนต์พาราฟิน (%paraffins), เปอร์เซนต์แนฟทีน (%naphthenes), เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics), เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) และ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าเท่ากับ 19.5, 13.9, 7.0, 29.8, 18.8 และ 10.8 ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองตามสภาวะที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ เพื่อยืนยันความแม่นยำของสมการพบว่า เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins), เปอร์เซนต์พาราฟิน (%paraffins), เปอร์เซนต์แนฟทีน (%naphthenes), เปอร์เซนต์อะโรมาติก (%aromatics), เปอร์เซนต์ออกซิเจน (%oxygenated) และ เปอร์เซนต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics) มีค่าเท่ากับ 19.4, 15.2, 6.6, 34.7, 15.4 และ 8.7 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ โดยมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.5 – 19.4% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 20% แสดงว่าสมการที่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำนายผลของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยาต่อ เปอร์เซนต์โอเลฟินส์ (%olefins), เปอร์เซนต์พาราฟิน (%paraffins),

เปอร์เซ็นต์แนฟทีน (%naphthenes), เปอร์เซ็นต์อะโรมาติก (%aromatics), เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนเนท (%oxygenated) และ เปอร์เซ็นต์มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (%mixed naphthenes-aromatics)

Table 4 Optimization criteria to maximize %paraffins at optimized condition for catalytic cracking process of palm oil

Description	Optimization target	Lower limit	Upper limit	Optimized condition		% Different
				Predicted	Experimental	
				value	value	
Temperature (°C)	In range	400	600	460.3	462	-
WSHV (hr ⁻¹)	In range	23.2	68.7	23.2	23.2	-
%Olefins	Maximize	-	-	19.5	19.4	0.5
%Paraffins	Maximize	-	-	13.9	15.2	-9.4
%Naphthenes	Minimize	-	-	7.0	6.6	5.7
%Aromatics	Maximize	-	-	29.8	34.7	-16.4
%Oxygenated	Minimize	-	-	18.8	15.4	18.1
%Mixed Naphthenes – Aromatics	Minimize	-	-	10.8	8.7	19.4

5. การศึกษาผลของเวลาต่อกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม

เมื่อทำการออกแบบการทดลองด้วย CCD เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยา โดยวิธี ANOVA ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม จากนั้นจะทำการศึกษาต่อถึงผลของปัจจัยเวลาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการทดลองเป็นดัง Figure 8 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 กลุ่มที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์ม พบว่าปริมาณของพาราฟิน (paraffins) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10 นาที ไปจนมีค่ามากที่สุดที่เวลา 30 นาที จากนั้นปริมาณจะมีค่าลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงเวลา 40 นาทีจนถึง 120 นาที และจะลดลงเป็นอย่างมากหลังจากเวลา 120

นาที โดยในช่วงเวลา 40-120 นาทีจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างคงที่ ปริมาณของแนฟทีน (naphthenes) จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 10 นาที จนถึง 120 นาที และจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 120 นาที ปริมาณของอะโรมาติก (aromatics) จะลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 10 นาที จนถึง 120 นาที และจะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นจาก 120 นาที โดยในช่วงเวลา 100 – 120 นาที ปริมาณของอะโรมาติก (aromatics) จะมีค่าคงที่ ปริมาณของออกซิเจนเนท (oxygenated) จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมากในช่วงระยะเวลา 10 นาที จนถึง 140 นาที ปริมาณของโอเลฟินส์ (olefins) จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 10 นาทีจนถึง 120 นาที และจะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 120 นาที ปริมาณของ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics) จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 10 นาทีจนถึง 120 นาที และจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 120 นาที ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา ขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไปจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอันเป็นผลทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง สืบเนื่องจากในเวลาที่ปฏิกิริยากำลังดำเนินไปจะมีปริมาณคาร์บอนเกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากคาร์บอนเหล่านี้จะเข้าไปปกคลุมส่วนที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา

ดังนั้น หากมีคาร์บอนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นจำนวนมาก จะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการเสื่อมประสิทธิภาพได้เร็วขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดน้อยลง เพราะฉะนั้นเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้มีปริมาณสัดส่วนขององค์ประกอบที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง (โอเลฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins) และ อะโรมาติก (aromatics)) สูงสุดจึงมีค่าเท่ากับ 20 นาที

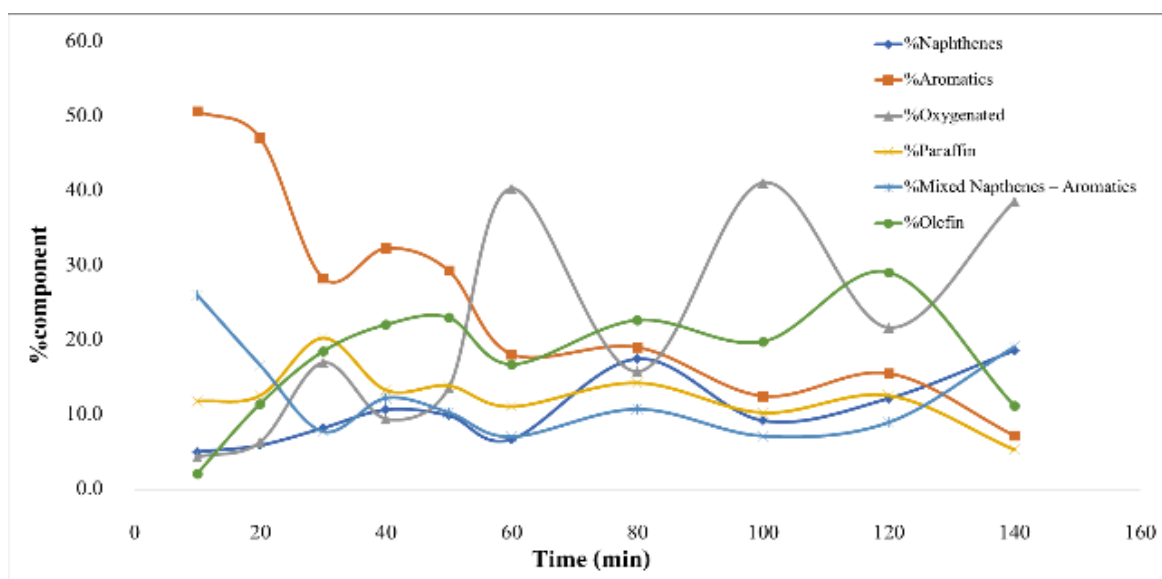


Figure 8 Effect of residence time on %component of catalytic cracking process of palm oil

สรุป

การผลิตผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ด้วยกระบวนการแตกตัวของน้ำมันปาล์มบนตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยสารกลุ่มโอเลฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins), แนฟทีน (naphthenes), อะโรมาติก (aromatics), ออกซิเจน (oxygenated) และ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics) ซึ่งสารกลุ่ม โอเลฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins) และ อะโรมาติก (aromatics) นั้น สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาวิจัย

ผลของอุณหภูมิ และความเร็วปฏิกิริยาต่อปริมาณของสารแต่ละกลุ่มในผลิตภัณฑ์ของเหลวอินทรีย์ โดยใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบประสมกลาง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA เพื่อให้ได้สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อปริมาณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ จากการพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) พบว่าสภาวะที่อุณหภูมิ 460.3 °C และความเร็วปฏิกิริยา 23.2 hr⁻¹ ทำให้ได้ปริมาณสารกลุ่มโอเลฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins), แนฟทีน (naphthenes), อะโรมาติก (aromatics), ออกซิเจน

(oxygenated) และ มิกซ์แนฟทีน-อะโรมาติก (mixed naphthenes-aromatics) เท่ากับ 19.5% 13.9% 7.0% 29.8% 18.8 และ 10.8% ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองตามสภาวะดังกล่าว พบว่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 20% แสดงว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำมาใช้อธิบายผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้ และเมื่อศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตสารกลุ่มต่าง ๆ พบว่าที่เวลา 20 นาทีจะทำให้ผลรวมของสารโอเลฟินส์ (olefins), พาราฟิน (paraffins) และ อะโรมาติก (aromatics) เกิดขึ้นสูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, M., Farhana, R., Raman, A.A.A. and Bhargava, S.K. 2016. Synthesis and activity evaluation of heterometallic nano oxides integrated ZSM-5 catalysts for palm oil cracking to produce biogasoline. **Energy Conversion and Management** 119: 352-360.
- Amjad, U.E.S., Tajjamal, A., Ul-Hamid, A., Faisal, A., Zaidi, S.A.H., Sherin, L., Mir, A., Mustafa, M., Ahmad, N., Hussain, M. and Park, Y.K. 2022. Catalytic cracking of polystyrene pyrolysis oil: Effect of Nb₂O₅ and NiO/Nb₂O₅ catalyst on the liquid product composition. **Waste Management** 141: 240-250.
- Balboul, B.A.A., Abdelrahman, A.A., Salem, H.M., Mohamed, E.A., Osman, D.I. and Rabie, A.M. 2022. Enhanced production of liquid fuel via catalytic cracking of used sunflower oil catalyzed by Praseodymium supported alumina. **Journal of Molecular Liquids** 367: 120562.
- Bhattacharjee, N. and Biswas, A.B. 2022. Catalytic pyrolysis of rice husk with SnCl₂, Al₂O₃.4SiO₂.H₂O and MoS₂ for improving the chemical composition of pyrolysis oil and gas. **Journal of the Indian Chemical Society** 99(10): 100728.
- Ghaffar, N.F.A., Johari, A., Abdullah, T.A.T. and Ripin, A. 2020. Catalytic Cracking of High Density Polyethylene Pyrolysis Vapor over Zeolite ZSM-5 towards Production of Diesel. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 808(1): 1-12.
- Guo, F., Li, X., Liu, Y., Peng, K., Guo, C. and Rao, Z. 2018. Catalytic cracking of biomass pyrolysis tar over char-supported catalysts. **Energy Conversion and Management** 167: 81-90.
- Gurdeep Singh, H.K., Yusup, S., Quitain, A.T., Kida, T., Sasaki, M., Cheah, K.W. and Ameen, M. 2019. Production of gasoline range hydrocarbons from catalytic cracking of linoleic acid over various acidic zeolite catalysts. **Environmental Science and Pollution Research** 26(33): 34039-34046.
- Hou, X., Qiu, Y., Yuan, E., Li, F., Li, Z., Ji, S., Yang, Z., Liu, G. and Zhang, X. 2017. Promotion on light olefins production through

- modulating the reaction pathways for n-pentane catalytic cracking over ZSM-5 based catalysts. **Applied Catalysis A: General** 543: 51-60.
- Huang, M., Zheng, Y. and Li, S. 2022. Distributed economic model predictive control for an industrial fluid catalytic cracking unit ensuring safe operation. **Control Engineering Practice** 126: 105263.
- Hwang, K.R., Choi, S.A., Choi, I.H. and Lee, K.H. 2021. Catalytic cracking of chlorinated heavy wax from pyrolysis of plastic wastes to low carbon-range fuels: Catalyst effect on properties of liquid products and dechlorination. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 155: 105090.
- Istadi, I., Riyanto, T., Khofiyandita, E., Buchori, L., Anggoro, D.D., Sumantri, I., Putro, B.H. and Firnanda, A.S. 2021. Low-oxygenated biofuels production from palm oil through hydrocracking process using the enhanced Spent RFCC catalysts. **Bioresource Technology Reports** 14: 100677.
- Li, S., Yan, H., Liu, Y., Chen, X., Zhou, X., Feng, X. and Yang, C. 2022. Rational screening of transition metal single-atom-doped ZSM-5 zeolite catalyst for naphtha cracking from microkinetic analysis. **Chemical Engineering Journal** 445: 136670.
- Ma, W., Liu, B., Ji, X., Li, X., Yan, B., Cheng, Z. and Chen, G. 2017. Catalytic co-cracking of distilled bio-oil and ethanol over Ni-ZSM-5/MCM-41 in a fixed-bed. **Biomass and Bioenergy** 102: 31-36.
- Mettu, A., Loke, N., Patil, V., Panday, R. and Gajula, S. 2022. Hydrocracking of Di- and Triaromatic Hydrocarbons to Monoaromatics over Mixed Bi-functional Catalysts. **Catalysis Research** 2(3): 1-26.
- Muttaqii, M.A., Kurniawansyah, F., Prajitno, D.H. and Roesyadi, A. 2021. Hydrocracking process of coconut oil using Ni-Zn/HZSM-5 catalyst for hydrocarbon biofuel production. **Journal of Physics: Conference Series** 1725(1): 012008.
- Palos, R., Rodríguez, E., Gutiérrez, A., Bilbao, J. and Arandes, J.M. 2022. Kinetic modeling for the catalytic cracking of tires pyrolysis oil. **Fuel** 309: 122055.
- Potapenko, O., Khudyakov, M., Altynkovich, E., Plekhova, K., Sorokina, T. and Doronin, V. 2019. Catalytic Cracking of Cyclohexane and 1-Hexene Mixtures on Mono-, Bi-, and Tri-Zeolite Catalysts. **Kinetics and Catalysis** 60(1): 74-86.
- Prajitno, D.H., Al Muttaqii, M., Gunardi, I., Mirzayanti, Y.W., Budianto, A., Marlinda, L. and Roesyadi, A. 2022. Biofuel from hydrocracking of Cerbera manghas oil over Ni-Zn/HZSM-5 catalyst. **Eclética Química** 47(1): 17-39.
- Ramezani, T., Sadrameli, S.M., Bayat, A. and Saeedi Dehaghani, A.H. 2022. Bio-gasoline and bio-naphtha production from catalytic cracking of linseed oil methyl ester over

- iron- and zinc-modified HZSM-5 and γ -Al₂O₃ catalysts in a fixed double-beds reactor. **Fuel Processing Technology** 238: 107514.
- Sanhoob, M.A., Shafei, E.N., Khan, A., Nasser, G.A., Bakare, I., Muraza, O., Al-Bahar, M.Z., Al-Jishi, A.N., Al-Badairy, H.H. and Ummer, A.C. 2022. Catalytic Cracking of n-Dodecane to Chemicals: Effect of Variable-Morphological ZSM-5 Zeolites Synthesized Using Various Silica Sources. **ACS Omega** 7(12): 10317-10329.
- Singh, H.K.G., Yusup, S., Quitain, A.T., Abdullah, B., Inayat, A., Ameen, M., Cheah, K.W., Sasaki, M., Kida, T. and Chai, Y.H. 2021. Five-lump kinetic approach on biofuel production from refined rubber seed oil over Cu/ZSM-5 catalyst via catalytic cracking reaction. **Renewable Energy** 171: 1445-1453.
- Soly Peter, A., Alias, M.P., Iype, M.P., Jolly, J., Sankar, V., Joseph Babu, K. and Baby, D.K. 2021. Optimization of biodiesel production by transesterification of palm oil and evaluation of biodiesel quality. **Materials Today: Proceedings** 42: 1002-1007.
- Sun, X., Liu, Z., Shi, L. and Liu, Q. 2022. Pyrolysis of COVID-19 disposable masks and catalytic cracking of the volatiles. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 163: 105481.
- Valle, B., Palos, R., Bilbao, J. and Gayubo, A.G. 2022. Role of zeolite properties in bio-oil deoxygenation and hydrocarbons production by catalytic cracking. **Fuel Processing Technology** 227: 107130.
- Wang, X., Li, F., Ali, A., Gu, H., Fu, H., Li, Z. and Lin, H. 2022a. Preparation of sodium silicate/red mud-based ZSM-5 with glucose as a second template for catalytic cracking of waste plastics into useful chemicals. **RSC advances** 12(34): 22161-22174.
- Wang, Y., Zhang, Y., Fan, H., Wu, P., Liu, M., Li, X., Yang, J., Liu, C., Bai, P. and Yan, Z. 2022b. Elucidating the structure-performance relationship of typical commercial zeolites in catalytic cracking of low-density polyethylene. **Catalysis Today** 405-406: 135-143.
- Xu, X., Jiang, E., Du, Y. and Li, B. 2016. BTX from the gas-phase hydrodeoxygenation and transmethylation of guaiacol at room pressure. **Renewable Energy** 96: 458-468.
- Yaisamlee, R. and Reubroycharoen, P. 2021. Light olefin production from the catalytic cracking of fusel oil in a fixed bed reactor. **Biomass and Bioenergy** 153: 106217.
- Yang, Y., Wang, Q., Zhang, X., Wang, L. and Li, G. 2013. Hydrotreating of C18 fatty acids to hydrocarbons on sulphided NiW/SiO₂ – Al₂O₃. **Fuel Processing Technology** 116: 165-174.
- Zhu, X., Liu, S., Song, Y. and Xu, L. 2005. Butene catalytic cracking to propene and ethene over potassium modified ZSM-5 catalysts. **Catalysis letters** 103(3): 201-210.

การพัฒนาเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน

Development of Horizontal Warping Wheel Machine

เสรณี ศรีสุข *

Seranee Srisuk *

Received: 30 September 2021, Revised: 30 December 2022, Accepted: 17 January 2023

บทคัดย่อ

การเตรียมเส้นด้ายยืนหรือเรียกว่า “การคันหูก” เป็นขั้นตอนการเตรียมเส้นด้ายยืนให้มีความยาวและจำนวนเส้นตามที่กำหนด ที่มีความสำคัญและยุ่งยากเพราะเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้แรงงาน และระยะเวลาปฏิบัติงานนาน ตลอดจนทักษะฝีมือของผู้ปฏิบัติงาน การวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงปัญหาของการเดินด้ายยืน จึงได้ศึกษาออกแบบเครื่องคันหูก เพื่อให้การคันหูกหรือการเดินด้ายยืนสะดวกมากขึ้น ลดการใช้แรงงานคน และระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินในการเดินด้ายคันหูก งานวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน โดยใช้กงล้อทรงกระบอกแนวนอนทำหน้าที่เป็นชุดดึงเส้นด้าย ด้วยการหมุนเพื่อม้วนเส้นด้ายให้มาพันรอบกงล้อทรงกระบอก ทั้งนี้กงล้อทรงกระบอกสามารถหมุนได้ทั้งในทิศตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา สำหรับการทำงานของเครื่องคันหูกนั้นมีการเคลื่อนที่อยู่สองส่วนหลัก ๆ คือ การเคลื่อนที่ของส่วนกงล้อ (แบบหมุน) และการเคลื่อนที่ของบอลสกรูพร้อมรางเลื่อน (แบบแนวแกน) โดยผลการพัฒนาเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน พบว่าสามารถลดเวลาการคันหูกเส้นด้ายยืนลงได้เท่ากับร้อยละ 5.4 ลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานคันหูก ลงได้เท่ากับร้อยละ 66.66 และลดระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินคันหูกเส้นด้ายยืน ลงได้เท่ากับร้อยละ 100 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคันหูกแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้าน

คำสำคัญ: การเตรียมเส้นด้ายยืน, เครื่องคันหูก, กงล้อหมุนแนวนอน

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Department of Materials and Textile Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Campus, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): seranee_s@sci.tu.ac.th

ABSTRACT

Yarn warping preparation is called “warping”. Warping is a step in the yarn preparation process aimed at obtaining suitable yarn length and the desired number of yarn strands. Warping is both important and difficult, because the step requires labor and long periods of time in practice. This study, therefore, was aimed at solving these problems by designing a warping machine which reduces the distance that the operators need to walk during the process, rendering the warping process more convenient, less time-consuming, and less labor-intensive. This study designed a prototype of a warping machine which relied on the rotation of a horizontal, cylindrical warping wheel to wind the yarns. The wheel can rotate in both clockwise and counterclockwise directions. The warping wheel contained two main moving parts, namely, the movement of the wheel (rotating) and the movement of the ball screw with the linear guide (moving along the wheel). The utilization of the horizontal warping wheel machine demonstrated a 56.45% decrease in the time required for warp preparation, a reduction of 66.66% in the number of wheel operators, and a complete elimination of the distance operators had to walk during yarn warping, as compared to the traditional warp preparation method.

Key words: yarn preparation, warping machine, horizontal warping wheel

บทนำ

การทอผ้าพื้นบ้าน หรือหัตถกรรมสิ่งทอเป็นงานหัตถกรรมที่อยู่คู่กับท้องถิ่นไทยมาอย่างยาวนาน มีการทอผ้าอยู่ทุกภูมิภาค (The Queen Sirikit Institute of Sericulture, 2009) โดยมีลวดลาย และกรรมวิธีการทอเอกลักษณ์ตามแต่ละท้องถิ่นหรือตามกลุ่มชาติพันธุ์ (Nuejantha *et al.*, 2018) เพื่อประโยชน์ใช้สอยในชีวิตประจำวันตั้งแต่เกิดจนตาย ทุกเพศ ทุกวัย เพื่อสนองความเชื่อด้านประเพณี พิธีกรรม ศาสนา ในอดีตมีการถ่ายทอดกรรมวิธีการทอผ้าภายในครอบครัวที่เป็นผู้หญิง (Sumankere and Promlawan, 2007; Nualkhaw, 2007) สืบต่อจากรุ่นสู่รุ่น จากยายสู่แม่ จากแม่สู่ลูก แต่จากสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน ทำให้วิถีการดำเนินชีวิตเปลี่ยนแปลงไป ลูกหลานต่างหลั่งไหลเข้าสู่เมืองใหญ่ เพื่อเข้ามาเรียนหรือทำงานหาเลี้ยงชีพ องค์ความรู้และความสามารถในการทอผ้าลายพื้นบ้านได้ลดลงไปอย่างมาก ทำให้

ปัจจุบันเหลือเพียงผู้เฒ่า ผู้แก่ที่ยังคงรักษาการทอผ้าพื้นบ้าน

การทอผ้ามีขั้นตอนการเตรียมเส้นด้ายเพื่อใช้สำหรับการทอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการเตรียมเส้นด้ายยืนหรือ “การคั่นหูก” ที่มีความสำคัญและยุ่งยากเพราะเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้แรงงาน และระยะเวลาปฏิบัติงานนาน ตลอดจนทักษะฝีมือของผู้ปฏิบัติงาน โดยการคั่นหูกเป็นขั้นตอนการเตรียมเส้นด้ายยืนให้มีความยาวและจำนวนเส้นตามที่กำหนดสำหรับผ้าแต่ละผืน บนผ้าเดินด้ายที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้างประมาณ 2-3 เมตร ยาว 4-8 เมตร ตามแต่ละท้องถิ่น ผ้าเดินด้ายมีเสาหลักเพื่อหรือหลักคั่น ตั้งไว้เพื่อใช้คล้องเส้นด้ายยืน เริ่มจากการนำเส้นด้ายจากหลอดด้ายตามจำนวนที่กำหนด เช่น 50 หลอด มาโยงคล้องไปที่หลักเสาด้านใดด้านหนึ่ง แล้วดึงโยงเส้นด้ายไปคล้องกับหลักเสา อีกหลักหนึ่งที่อยู่ตรงข้าม จากนั้นทำการโยงเส้นด้ายคล้องสลับ

กลับไปมาระหว่างหลักเพื่อทั้งสองด้านบนผ้าเดินด้าย เมื่อได้ความยาวที่ต้องการจะทำการขมวดเส้นด้ายขึ้นแต่ละเส้น ให้มีลักษณะเป็นบ่วง เรียกขั้นตอนนี้ว่า “การไขว้เส้นด้าย” แล้วทำการโยงคล้องเส้นด้ายไปตามหลักเพื่อย้อนกลับมาที่จุดเริ่มต้น นับเป็น 2 เที้ยว หรือ 1 หลบ ซึ่งเป็นหน่วยนับที่ใช้เรียกกันโดยทั่วไปในการทอผ้าพื้นบ้าน ดังนั้น การโยงคล้องเส้นด้ายขึ้น 1 หลบ จะได้จำนวนเส้นด้ายตามจำนวนหลอดด้ายที่โยง เช่น เส้นด้าย 50 เส้น แต่กระบวนการทอผ้าจะมีกำหนดเส้นด้ายขึ้นไว้ เช่น 400, 600 หรือ 800 เส้นตามแต่ละชนิดผ้า (Mangkara, 2016) ดังนั้น ในการค้นหูกจะต้องทำการโยงคล้องเส้นด้ายไปมาหลายหลบเพื่อให้ได้จำนวนตามที่กำหนดไว้

จากนโยบายส่งเสริมผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ และกระแสความนิยมที่ให้ความสำคัญด้านคุณค่า การสร้างสรรค์ วัฒนธรรม และการช่วยเหลือสังคม ทำให้สินค้าหัตถกรรมสิ่งทอที่มีกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม และวิสาหกิจชุมชน เป็นผู้ผลิตหลักมีแนวโน้มความต้องการของสินค้าหัตถกรรมสิ่งทอเพิ่มมากขึ้น แต่ในการพัฒนาสินค้าหัตถกรรมสิ่งทอ ตลอดจนถึงอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย (Auekarn *et al.*, 2014) ยังประสบปัญหาด้านต่าง ๆ โดยปัญหาหลักคือด้านการผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต จากวิธีการค้นหูกเส้นด้ายขึ้นสำหรับการทอผ้า ผู้ปฏิบัติงานจะต้องเดินโยงคล้องเส้นด้ายไปมาหลายเที้ยว เช่น การค้นหูกให้ได้เส้นด้ายขึ้นยาว 150 เมตร โยงเส้นด้ายจำนวน 40 หลอด ต้องการเส้นด้ายจำนวน 600 เส้น ระยะห่างหลักเพื่อบนผ้าเดินด้าย 3 เมตร ผู้ปฏิบัติงานจะต้องเดินโยงคล้องเส้นด้ายคิดเป็นระยะทางประมาณ 2.25 กิโลเมตร เป็นต้น ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความเมื่อยล้าเป็นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถทำการค้นหูกเส้นด้ายขึ้นได้หลาย ๆ ครั้งต่อวัน เพราะผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ และขั้นตอนการค้นหูก

เส้นด้ายขึ้นต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ส่งผลให้ผลิตผ้าทอมือพื้นบ้านได้ปริมาณน้อยและใช้เวลานาน Nithikarnjanatharn *et al.* (2016) พัฒนาเครื่องค้นหูกเส้นไหม โดยใช้ข้อมูลกลุ่มสตรีทอผ้าไหมจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดสุรินทร์ พบว่าอุปกรณ์ค้นหูกเส้นไหมของวิสาหกิจชุมชน มีลักษณะและวิธีการทำงานไม่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ ผู้ปฏิบัติงานต้องเอื้อม ก้ม และโยกตัวซ้ายขวา ส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้า เวลาการค้นหูกเส้นไหมสำหรับการทอผ้าไหมจำนวน 17 ผืน เท่ากับ 57.17 วินาทีต่อรอบ และอัตราการเต้นของหัวใจ 112.60 ครั้งต่อนาที และเครื่องจัดเรียงเส้นไหม พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีการทำงานตามหลักการยศาสตร์ เวลาเฉลี่ยการค้นหูกเส้นไหมสำหรับการทอผ้าไหมจำนวน 19 ผืน เท่ากับ 67.28 วินาทีต่อรอบ และอัตราการเต้นหัวใจ 94.88 ครั้งต่อนาที ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น 10.52 เปอร์เซ็นต์ และการใช้พลังงานของผู้ปฏิบัติงานลดลง 29.08 เปอร์เซ็นต์ Chaodon *et al.* (2020) พัฒนาเครื่องค้นฝ้ายมัดหมี่ระบบอัตโนมัติ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า AC ขนาด 500 วัตต์ เป็นต้นกำลังของเครื่องค้นเส้นฝ้ายมัดหมี่ ซึ่งถูกควบคุมความเร็วในการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ระบบใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำ ติดตั้งเซนเซอร์อินฟราเรดไว้ที่จุดหมุนของกงล้อเก็บเส้นด้ายให้ตรวจนับจำนวนรอบการหมุน ทำให้สามารถควบคุมจำนวนรอบเส้นด้ายและระยะเส้นด้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ปฏิบัติงานสามารถป้อน จำนวนรอบ ระยะการขยับแต่ละช่วง และจำนวนกลุ่มเส้นด้าย ที่จะจัดเรียงบนกงล้อค้นฝ้ายสำหรับทำมัดหมี่ได้ Rithinyo *et al.* (2017) พัฒนาเครื่องค้นหูกเส้นไหม โดยอาศัยเทคนิคการคิดหาวิธีการปรับปรุง ด้วยเทคนิค ECRS โดยใช้เฉพาะ E, C และ S คือ E-Eliminate มุ่งเน้นตัดทอนขั้นตอนการทำงานและลดการเคลื่อนไหวที่ทำให้เกิดความสูญเปล่า C-Combine มุ่งเน้นรวมการทำงานคล้ายคลึงกัน

เข้าด้วยกัน และ S-Simplify มุ่งเน้นการปรับปรุงวิธีการคันหูกเส้นไหมให้ง่ายขึ้น พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคันหูกแบบเดิม สามารถลดเวลาการคันหูกเส้นไหมลงได้ร้อยละ 56.45 – 67.01 และลดการใช้พลังงานของผู้ปฏิบัติงานลงได้ร้อยละ 17.35 – 31.59 ตามขนาดของผืนผลิตภัณฑ์ Mangkara (2016) ได้มีการพัฒนาเครื่องคันหูกแบบกึ่งอัตโนมัติ ได้มีการออกแบบ เพลากลางเป็นกงล้อม้วนด้วยรูปทรงกากบาท ทำหน้าที่เป็นแกนให้เส้นด้ายมาพันสามารถหมุนได้ 2 ทิศทางทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา โดยมีมอเตอร์ทำหน้าที่ส่งกำลัง ร่วมกับพูลเลย์สายพาน และชุดเฟืองทดแบบเฟืองหนอน ซึ่งช่วยลดความเมื่อยล้าจากการเดินโยงเส้นด้ายของผู้ปฏิบัติงานได้

จากที่กล่าวมาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงพัฒนาเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน ให้สะดวกต่อการใช้งาน ใช้จำนวนผู้ปฏิบัติงานที่น้อยลง และลดระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินคันหูกสำหรับการเตรียมเส้นด้ายขึ้นของการทอผ้าพื้นบ้าน

วิธีดำเนินการวิจัย

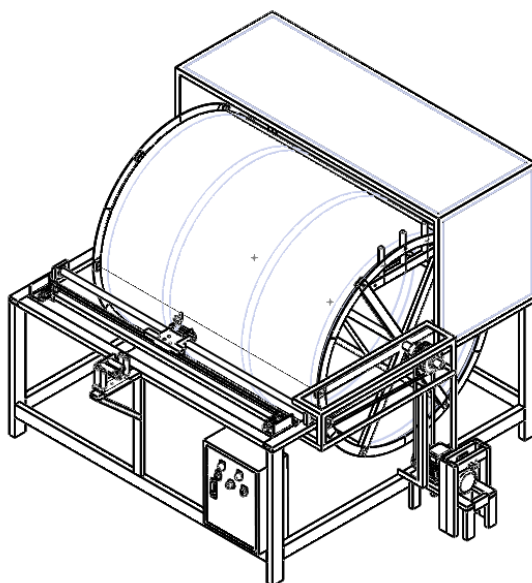
1. การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการคันหูกของกลุ่มทอผ้าพื้นบ้าน

ศึกษาข้อมูลวิธีการทำงาน เวลาการคันหูก และจำนวนผู้ปฏิบัติงานสำหรับการทอผ้า โดยใช้ข้อมูลกลุ่มสตรีทอผ้าไททรงดำ บ้านเขาหัวจัน ตำบลห้วยยางโทน อำเภอลำทะลุ จังหวัดราชบุรี การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยอาศัยการสังเกตและการสัมภาษณ์ (Joungtrakul *et al.*, 2021) สำหรับเป็นข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังการพัฒนาเครื่องคันหูก

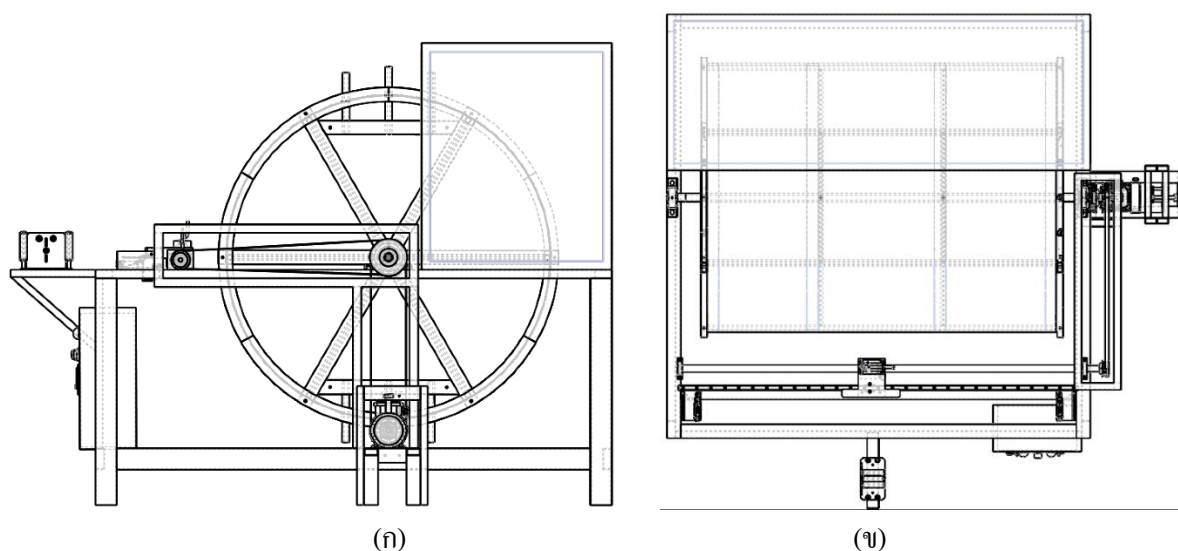
2. ออกแบบและพัฒนาเครื่องคันหูก

การออกแบบและพัฒนาเครื่องคันหูกแบบการคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน ได้ใช้แนวคิดหลักสำคัญในการออกแบบเครื่องมือคันหูกคือ 1) การออกแบบเครื่องคันหูกให้ใช้งานง่าย ลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานในการเดินด้ายคันหูกน้อยกว่าการใช้วิธีการเดินด้ายคันหูกแบบเดิมของชาวบ้าน 2) การออกแบบเครื่องคันหูกที่ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องเดินกลับไป-มาระหว่างการเดินด้ายคันหูก 3) การออกแบบเครื่องคันหูกให้ผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาการคันหูกน้อยกว่าวิธีการเดินคันหูกดั้งเดิมของชาวบ้าน

การออกแบบเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน ดังภาพที่ 1-2 นำไปสู่การจดอนุสิทธิบัตร เลขที่คำขอ 1803000577 สิทธิบัตรไทย เลขที่ 17686 (Srisuk, 2021)



ภาพที่ 1 เครื่องดันแบบการคั่นหูกแบบกงล้อ หมุนทรงกระบอกแนวนอน (Srisuk, 2021)

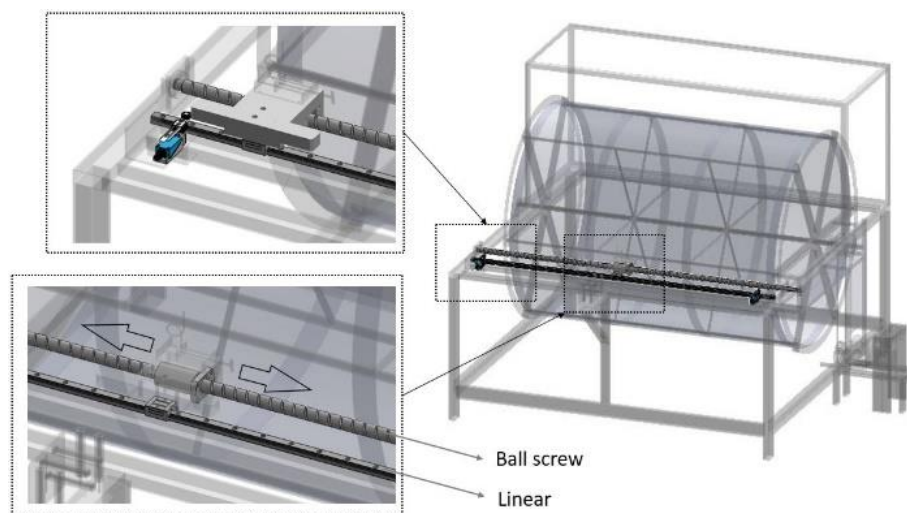


ภาพที่ 2 เครื่องดันแบบการคั่นหูกแบบกงล้อ หมุนทรงกระบอกแนวนอน

(ก) ภาพด้านข้าง และ (ข) ภาพด้านบน (Srisuk, 2021)

การออกแบบของเครื่องคั่นหูกแบบกงล้อ หมุนทรงกระบอกแนวนอน เป็นการออกแบบแบบกึ่งอัตโนมัติ คือบางขั้นตอนจำเป็นต้องใช้ผู้ดูแลเครื่องจำนวน 1 คน เพื่อทำการควบคุมการทำงานเครื่องและการไขว้เส้นด้าย แล้วทำการเดินเครื่องย้อนกลับไปยังอีกฝั่งหนึ่ง ตัวเครื่องมีขนาดสูงสุด คือ

$1820 \times 1820 \times 1630$ มิลลิเมตร³ โครงสร้างเครื่องคั่นหูกแบบกงล้อ หมุนทรงกระบอกแนวนอน ใช้เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมแบนสีดำความหนา 2.3 - 3.2 มิลลิเมตร เนื่องจากหาได้ง่ายตามท้องตลาด มีราคาถูกลงและสามารถประกอบขึ้นรูปได้ง่าย



ภาพที่ 3 เครื่องต้นแบบการคันหูกแบบกงล้อ แสดงการเคลื่อนที่ของบอลสกรูและรางเลื่อน

การออกแบบใบมีดเตอร์กระแสดับ กำลัง 1 แรงม้า 0.75 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้พู่เล็หมุน เพื่อส่งกำลังผ่านสายพานมายังบอลสกรู ทำให้บอลสกรูหมุน ส่งผลให้ตลับลูกปืนที่ติดตั้งยึดติดกับลูกบล็อกของรางเลื่อน เคลื่อนที่ไปพร้อมกันในแนวแกนของบอลสกรูอยู่บริเวณหน้าของเครื่องคันหูก ดังภาพที่ 3 โดยการหมุนของกงล้อและบอลสกรูทำงานสอดคล้องกันโดยอาศัยสายพานและพู่เลย์

3. การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคันหูก

ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวอน ด้านเวลาการคันหูก จำนวนผู้ปฏิบัติงาน และระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินคันหูกเส้นด้ายยืน สำหรับการเตรียมเส้นด้ายยืน เปรียบเทียบกับวิธีการเดินคันหูกดั้งเดิมของชาวบ้าน

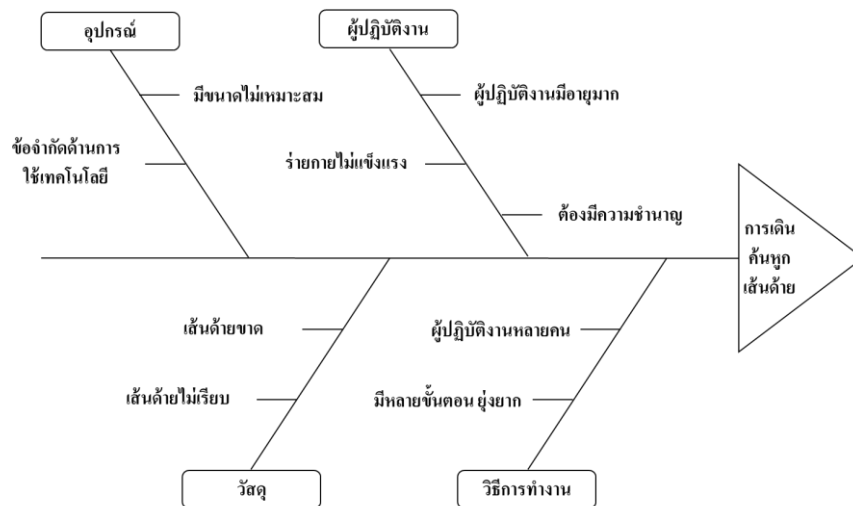
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการคันหูกของกลุ่มทอผ้าพื้นบ้าน

กลุ่มสตรีทอผ้าไททรงดำ บ้านเขาหัวจัน ตำบลห้วยยางโทน อำเภอลำทะลุ จังหวัดราชบุรี

พบว่า สมาชิก กลุ่มสตรีทอผ้าไททรงดำ เป็นเพศหญิง จำนวน 30 คน อายุระหว่าง 50-70 ปี มีเส้นด้ายยาว 4 เมตร มีหลักเพื่อทั้งหมด 36 หลัก ด้านละ 18 หลัก เดินด้ายจำนวน 10 หลบ หรือ 20 เที้ยว เส้นด้ายจำนวน 84 หลอด ใช้เวลาเฉลี่ยการเดินคันหูกทั้งหมด 37 นาที โดยจับเวลาเฉพาะการเดินคันหูกเท่านั้น ไม่รวมการเก็บไขว้เส้นด้ายทุกเส้นในแต่ละหลบ ชาวบ้านทอผ้าขาวม้ายาว 144 เมตรต่อม้วน ตัดแบ่งได้ผ้าขาวม้ายาวผืนละ 2 เมตร จำนวน 65 ผืน มีรายได้จากการทอผ้าขาวม้า 6,500 บาทต่อม้วน หรือ 100 บาทต่อผืน โดยใช้เวลาทอ 20-60 วันต่อม้วน เนื่องจากการทอผ้าเป็นรายได้เสริมของชาวบ้าน ที่อาศัยช่วงเวลาว่างในแต่ละวันทำการทอผ้า

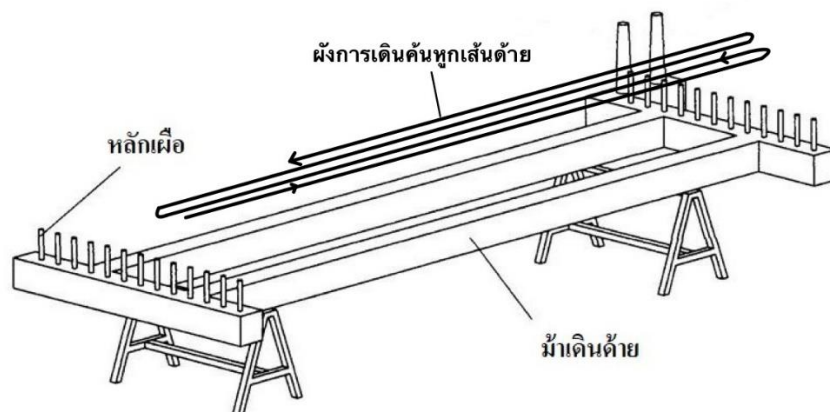
จากการสังเกตพบว่าระยะการเดินของชาวบ้านกลุ่มสตรีทอผ้าไททรงดำ เทียบกับการเดินด้ายของผู้อื่น กรณีที่ใช้ความยาวเส้นด้ายเท่ากัน จะมีระยะเดินน้อยกว่า เนื่องจากกลุ่มสตรีทอผ้าไททรงดำ ใช้คนในการทำการเดินคันหูกเส้นด้ายจำนวน 4-5 คน ดังตารางที่ 1 ซึ่งมีจำนวนคนมากกว่าที่อื่น โดยการแบ่งหน้าที่ดังนี้ หน้าที่เดินคันหูก 1 คน หน้าที่ช่วยคล้องเส้นด้ายยืนที่หลักไขว้ 2 คน และหน้าที่คุมม้วนเส้นด้าย 1-2 คน ส่งผลให้คนที่ทำหน้าที่เดินคันหูกไม่ต้องเดินไปบริเวณด้านข้างของม้วนเส้นด้าย



ภาพที่ 4 ฟังก้างปลาแสดงการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการคั่นหูกเส้นด้ายขึ้น

จากภาพที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการคั่นหูกเส้นด้ายขึ้น (Wongwian *et al.*, 2021) พบว่าปัญหาสำคัญของการเดินด้ายคั่นหูก คือ ผู้ปฏิบัติงานเดินด้ายคั่นหูก มี 5 คน อายุเฉลี่ย 52 ปี ระยะทางที่ต้องเดินเพื่อคั่นหูกเส้นด้ายขึ้น เท่ากับความยาวของม้วนคั่นหูกคือ 4 เมตร x จำนวนหลักไขว้ 36 หลัก x จำนวนเที้ยวหรือรอบคือ 20 เที้ยว (10 หลบ) เท่ากับ 2.88 กิโลเมตร ดังภาพที่ 5 ทำให้เกิดความเมื่อยล้า (Rithinyo

et al., 2017) ส่งผลให้ต้องมีการสลับเปลี่ยนผู้ปฏิบัติงานหน้าที่เดินคั่นหูก และใช้จำนวนผู้ปฏิบัติงานหลายคนทำหน้าที่เดินคั่นหูกและช่วยคล้องเส้นด้ายขึ้นที่หลักไขว้รวม 3 คน โดยทำการเดินด้ายคั่นหูกสัปดาห์ละ 1 ครั้ง หรือเท่ากับ 4 ครั้งต่อเดือน ส่งผลให้โอกาสสร้างรายได้ลดลง เนื่องจากสูญเสียเวลาจากการเดินคั่นหูกแทนการทอผ้า



ภาพที่ 5 แสดงม้วนเดินด้ายและฝักรเดินคั่นหูกเส้นด้าย (Mangkara, 2016)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องปั่นหูกแบบเดิม และ เครื่องปั่นหูกแบบกึ่งอัตโนมัติ
เส้นด้ายจำนวน 84 หลอด

การเดินด้ายปั่นหูกแบบเดิม	เครื่องปั่นหูก
	
ผู้ปฏิบัติงาน จำนวน 3 คน แบ่งหน้าที่เดินด้าย 1 คน 2 คน หน้าที่ช่วยคล้องเส้นด้ายขึ้นที่หลักไขว้	ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 1 คน สามารถควบคุมการทำงานของ ของเครื่องปั่นหูกแทนการเดินด้าย
	
ลักษณะเส้นด้ายที่ได้จากการเดินปั่นหูกแบบเดิม	ลักษณะเส้นด้ายที่ได้จากเครื่องปั่นหูก

2. ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบการปั่น หูกแบบกึ่งอัตโนมัติทรงกระบอกรูปวงรี

เครื่องต้นแบบการปั่นหูกแบบกึ่งอัตโนมัติ
ทรงกระบอกรูปวงรี มีหลักการทำงานการเคลื่อนที่
อยู่สองส่วนหลัก ๆ คือการเคลื่อนที่ของส่วนกึ่ง
(แบบหมุน) และการเคลื่อนที่ของบอลสกรูพร้อมราง
เลื่อน (แบบแนวแกน) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ทำงาน
สอดคล้องกัน เนื่องจากต้นกำเนิดมาจากแหล่งที่มา
เดียวกันคือ มอเตอร์ไฟฟ้า (Mangkara, 2016;
Swangpol *et al.*, 2018; Chaodon *et al.*, 2020) ที่
ขับเคลื่อนผ่านสายพานและพูลเลย์เชื่อมต่อกัน ทำให้
ระยะห่างระหว่างชุดเส้นด้ายของแต่ละรอบเท่ากัน

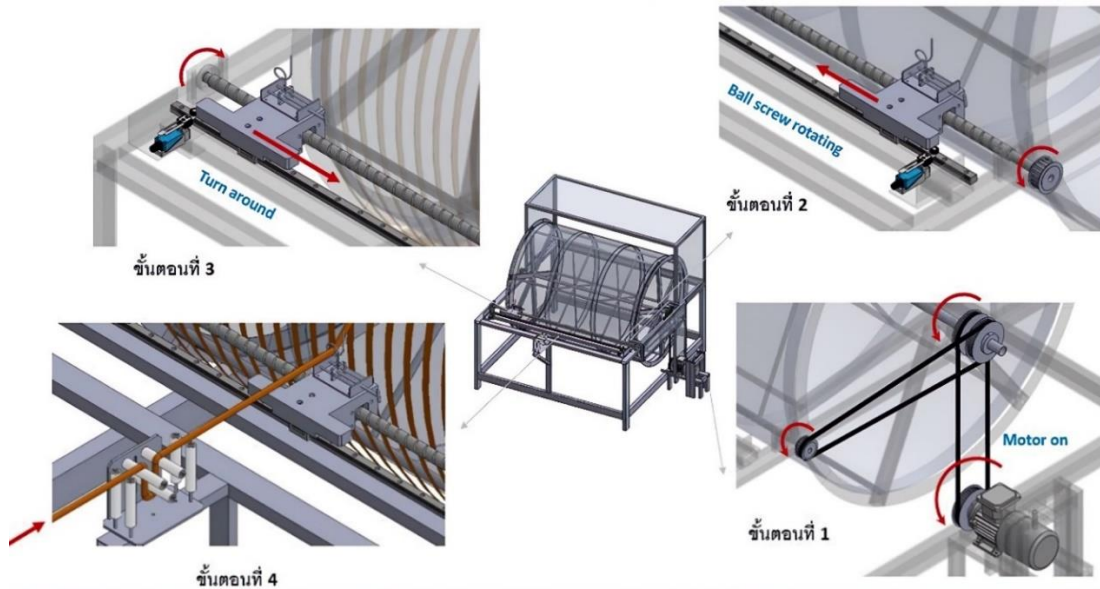
สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ
ดังนี้ แสดงในภาพที่ 6

ขั้นตอนที่ 1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
กำลัง 1 แรงม้า 0.75 กิโลวัตต์ เริ่มหมุนทิตทวนเข็มนาฬิกาส่งกำลังไปยังกึ่งล้อ ทำให้ชุดกึ่งล้อหมุนพร้อมกับชุดเส้นด้ายที่ได้ทำการผูกยึดติดไว้กับขอบรอบวงของกึ่งล้อด้านขวา ในขณะที่เดียวกันบอลสกรูก็หมุนตามกึ่งล้อ เนื่องจากที่ปลายเพลลาของกึ่งล้อและปลายบอลสกรูถูกออกแบบให้มีพูลเลย์ ติดตั้งสายพานเพื่อทำให้กึ่งล้อและบอลสกรูทำงานสอดคล้องกัน

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อบอลสกรูหมุนส่งผลให้ด้ายถูกปั่นเคลื่อนที่ โดยที่ด้ายถูกปั่นจะติดตั้งยึดติดกับ

ลูกบดของดางเลื่อน (Linear) ทำให้ลูกบดและ
ตลับลูกปืนเคลื่อนที่ไปพร้อมกันในแนวแกน ทำให้
ชุดปรับระยะของเส้นด้ายที่ติดอยู่กับรางเลื่อน

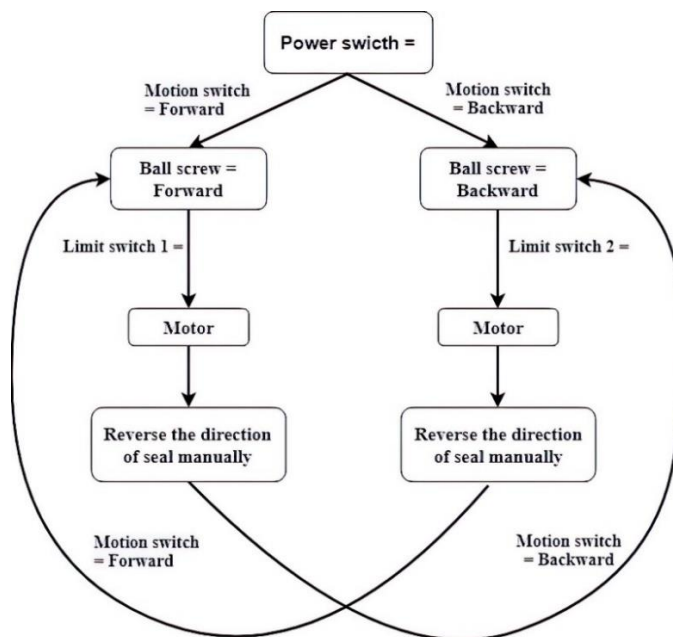
เคลื่อนที่ไปทางซ้ายพร้อมกับพาชุดเส้นด้ายให้กรอ
จนเต็มกงล้อนับเป็น 1 เที้ยว



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องคันหูกแบบกงล้อนหมุนทรงกระบอกแนวนอน

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อชุดปรับระยะของเส้นด้ายเคลื่อนที่ไป
ทางซ้ายสุดทางชนกับลิวิตสวิทช์ ทำให้มอเตอร์หยุด
ทำงาน เมื่อมอเตอร์หยุดทำงานผู้ปฏิบัติงานทำการ
เก็บไขว้เส้นด้ายแล้วยึดเส้นด้ายไว้กับขอบรอบวงของ
กงล้อด้านซ้าย แล้วทำการสั่งให้มอเตอร์ทำงาน โดยที่

การทำงานดังภาพที่ 7 โดยมอเตอร์จะหมุนทิศตาม
เข็มนาฬิกาทำให้ชุดปรับระยะเส้นด้ายเคลื่อนที่ไปยัง
ด้านขวาพร้อมกับชุดเส้นด้ายให้กรอจนเต็มกงล้อนับ
เป็นเที้ยวที่ 2 หรือครบ 1 หลบ



ภาพที่ 7 แผนขั้นตอนกระบวนการทำงานของระบบสวิตช์

ขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-3 จนกว่าจะได้จำนวนเส้นด้ายที่ต้องการ โดยที่การกรอแต่ละรอบนั้นสามารถทำการปรับระยะชุดปรับระยะเส้นด้ายเพื่อไม่ให้ชุดเส้นด้ายซ้อนทับกันมากได้

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน

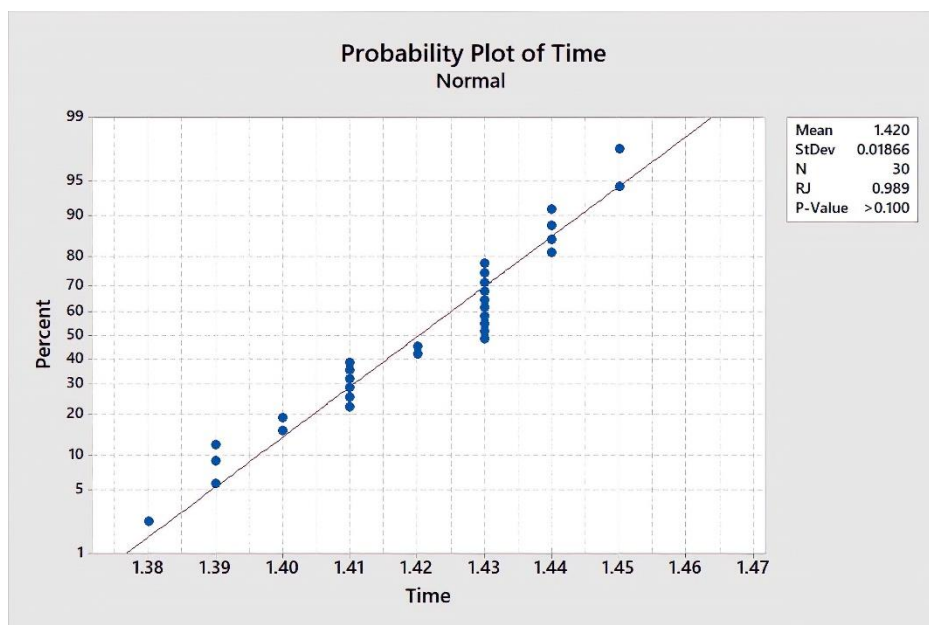
ผลการทดสอบการทำงานเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน มีดังนี้ 1) ระยะเวลาในการคันหูก 2) จำนวนผู้ปฏิบัติงานที่ต้องใช้ในการควบคุมเครื่อง และ 3) ระยะทางผู้ปฏิบัติงานต้องเดินคันหูกเส้นด้ายขึ้น เปรียบเทียบกับการคันหูกแบบวิธีการเดิมของชาวบ้าน โดยการทดสอบเครื่องคันหูกด้วยจำนวนเส้นด้าย 84 หลอด จับเวลาทดสอบโดยการวัดการเดินเครื่องไป 5 เที้ยว และเดินเครื่องกลับ 5 เที้ยว ทำซ้ำเช่นนี้จนครบ จำนวน 30 เที้ยว พบว่า

- การทดสอบระยะเวลาการทำงานเครื่องคันหูก พบว่าเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยการคันหูกที่ 1.42 วินาทีต่อเที้ยว โดยจับเวลาเฉพาะการทำงานของเครื่องคันหูกเท่านั้น ไม่รวมการเก็บไขว้เส้นด้ายที่ความเร็วรอบของกงล้อโดยประมาณที่ 23.3 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 2

- ระยะเวลาในการคันหูกของเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน พบว่าเครื่องคันหูกใช้เวลาประมาณ 35 นาที เปรียบเทียบเวลาการคันหูกแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้านกับการคันหูกของเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน พบว่า เวลาการคันหูกด้วยเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน ลดลงเท่ากับร้อยละ 5.4 และผลการวิเคราะห์ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบการกระจายตัวของเวลาการคันหูกด้วย Shapiro-Wilk พบว่า ค่า p-value มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าข้อมูลเวลาการคันหูก มีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ดังภาพที่ 8

ตารางที่ 2 แสดงผลเวลาของเครื่องคันหูกใช้ในการทำการคันหูกแต่ละเที่ยว ที่ความเร็วรอบของกงล้อโดยประมาณ 23.3 รอบต่อนาที จำนวนการเดินด้ายที่ 84 หลอด

	ระยะเวลา (นาทีต่อเที่ยว)										เฉลี่ย
	เที่ยว 1	เที่ยว 2	เที่ยว 3	เที่ยว 4	เที่ยว 5	เที่ยว 6	เที่ยว 7	เที่ยว 8	เที่ยว 9	เที่ยว 10	
ครั้งที่ 1	1.43	1.44	1.41	1.39	1.42	1.4	1.43	1.43	1.41	1.44	1.420
ครั้งที่ 2	1.45	1.43	1.39	1.42	1.43	1.43	1.41	1.45	1.43	1.4	1.424
ครั้งที่ 3	1.41	1.38	1.43	1.43	1.41	1.39	1.44	1.41	1.44	1.43	1.417
เวลาเฉลี่ย											1.420
SD											0.0186



ภาพที่ 8 การทดสอบการกระจายตัวของเวลาการคันหูกด้วยเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน

- จำนวนผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมเครื่องคันหูกและการคันหูก พบว่าเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอน สามารถทำงานเสร็จสิ้นทุกขั้นตอนด้วยผู้ปฏิบัติงาน 1 คน เปรียบเทียบจำนวนผู้ปฏิบัติงานคันหูกแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้านกับการคันหูกของเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน พบว่าจำนวนผู้ปฏิบัติงานคันหูกด้วยเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน ลดลงเท่ากับร้อยละ 66.66 เมื่อเทียบกับการคันหูกแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้านที่ใช้จำนวนผู้ปฏิบัติงาน 3 คน ดังตารางที่ 3 อธิบายได้ว่าปรับปรุง

เครื่องมือทดแทนการคันหูกแบบวิธีการดั้งเดิม โดยการใช้ระบบแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอนร่วมกับมอเตอร์ ส่งผลให้ใช้จำนวนผู้ปฏิบัติงานน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mangkara (2016); Rithinyo *et al.* (2017); Chaodon *et al.* (2020) โดยผู้ปฏิบัติงานเดินด้ายคันหูก 2 คน มีรายได้เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 10 จากการทดแทนการเดินด้ายคันหูก หรือประมาณ 650 บาทต่อคนต่อเดือน ดังตารางที่ 4 และการคำนวณค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน เป็นเวลา 35

นาที่ จำนวน 4 ครั้งต่อเดือน ที่มอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสสลับ (AC) กำลัง 1 แรงม้า 0.75 กิโลวัตต์ พบว่า

มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าประมาณ 2 หน่วยต่อเดือน คิด
เป็น 15.79 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 3 แสดงผลการทำงานเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอกแนวนอนเทียบกับการคันหูกแบบวิธีการ
ดั้งเดิมของชาวบ้าน

	จำนวนคน ปฏิบัติงาน	จำนวน หลัก	จำนวน หลบ	ความยาวของ เส้นด้ายที่ได้	ระยะทางการ เดิน	ระยะเวลาเดิน คันหูก
ชาวบ้าน	3	36	10	144 ม.	2.88 กม.	37 นาที
เครื่องคันหูก	1	2	10	143 ม.	-	35 นาที

ตารางที่ 4 แสดงรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการทอผ้าแทนการเดินด้ายคันหูก และรายจ่ายจากการทำงานของเครื่องคันหูก
แบบกงล้อหมุน ที่เวลาทอผ้า 40 วันต่อม้วน และเดินด้ายคันหูก 4 ครั้งต่อเดือน

	ทอผ้า 1 ม้วน (บาท)	คำนวณ รายได้ต่อวัน (บาท)	จำนวนครั้ง การเดินด้ายคัน หูก (เดือน)	รายได้ต่อเดือน เพิ่มขึ้น (บาท)	รายได้ต่อเดือน เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	ค่าไฟฟ้าต่อ เดือน (บาท)
รายได้	6,500	162.5	4	650	10	
รายจ่าย						15.79

- ระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินในการเดิน
ด้ายคันหูก พบว่า ผู้ปฏิบัติงานเครื่องคันหูกแบบกงล้อ
หมุนทรงกระบอกแนวนอนไม่จำเป็นต้องเดินคันหูก
เส้นด้าย เปรียบเทียบระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดิน
คันหูกแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้านกับการคันหูก
ของเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน พบว่า ระยะทางที่
ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินคันหูกด้วยเครื่องคันหูกแบบกง
ล้อหมุน ลดลงเท่ากับร้อยละ 100 เมื่อเปรียบเทียบการ
คันหูกแบบวิธีการเดิมของชาวบ้าน ที่ใช้ผู้ปฏิบัติงาน
ต้องเดินเป็นระยะทางประมาณ 2.88 กิโลเมตร ดัง
ตารางที่ 3 อธิบายได้ว่าระบบการเคลื่อนที่ของส่วน

กงล้อ (แบบหมุน) และการเคลื่อนที่ของบอลสกรู
พร้อมรางเลื่อน (แบบแนวแกน) ซึ่งทั้งสองส่วน
ทำงานสอดคล้องกัน รวมกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า
ขับเคลื่อนผ่านสายพานและพูลเลย์เชื่อมต่อกัน ทำให้
สามารถลดระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินลงได้
ส่งผลลดความเมื่อยล้าของคนเดินคันหูก ซึ่ง
สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mangkara (2016);
Rithinyo *et al.* (2017); Swangpol *et al.* (2018);
Chaodon *et al.* (2020) เนื่องจากผู้ปฏิบัติสามารถนั่ง
ควบคุมการทำงานของเครื่องคันหูกแทนการเดินด้าย
คันหูกได้

ตารางที่ 5 แสดงความยาวม้วนผ้าขาวม้า และจำนวนผืนผ้าขาวม้า จากเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุนทรงกระบอก แนวนอนเทียบกับการคันหูกแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้าน ที่ผ้าขาวม้ายาวผืนละ 2 เมตร และอัตราสูญเสียความยาวผืนผ้าจากการตัดแบ่ง ร้อยละ 9.72

	ความยาวของ เส้นด้ายที่ได้ (เมตร)	จำนวน ผ้าขาวม้า (ผืน)	รวมความยาว ผ้าขาวม้า (เมตร)	จำนวนเศษผ้า เหลือ (เมตร)	รายได้ต่อเดือน ลดลง (ร้อยละ)
ชาวบ้าน	144	65	130	-	
เครื่องคันหูก	143	64	128	1	1.5

- ความยาวเส้นด้ายยืนที่ได้จากการคันหูก พบว่าความยาวเส้นด้าย จากเครื่องคันหูกแบบกงล้อ หมุนทรงกระบอกแนวนอนเท่ากับ 143 เมตร ซึ่งได้ สั้นกว่าการคันหูกแบบวิธีการเดิมของชาวบ้าน ร้อยละ 0.69 เมื่อเปรียบเทียบการคันหูกแบบวิธีการ เดิมของชาวบ้าน ดังตารางที่ 5 เนื่องจากม้วนผ้าขาวม้า ยาว 143 เมตรต่อม้วน ตัดแบ่งผ้าขาวม้าได้จำนวน 64 ผืนผ้า ยาวผืนละ 2 เมตร มีอัตราสูญเสียความยาวผืน ผ้าจากการตัดแบ่ง ร้อยละ 9.72 มีเศษผ้าขาวม้า เหลือ 1 เมตร ส่งผลให้ชาวบ้านมีรายได้จากการทอผ้า ลดลงเท่ากับร้อยละ 1.5 ต่อเดือน แต่ชาวบ้านมีโอกาส สร้างรายได้เพิ่มขึ้นจากการนำเศษผ้าขาวม้า 1 เมตร มาทำผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก เช่น พวงกุญแจ หรือ กระเป๋าเก็บเศษเหรียญ เพื่อชดเชยรายได้ที่ลดลงแทน การทอผ้าได้

สรุป

เครื่องคันแบบเครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน ทรงกระบอกแนวนอน อาศัยกงล้อทรงกระบอกทำ หน้าที่ม้วนเส้นด้ายมาพันรอบกงล้อทรงกระบอกจน ได้ตามความยาวที่ต้องการ ซึ่งเครื่องคันหูกแบบกงล้อ หมุน ใช้เวลาประมาณ 35 นาที สามารถลดเวลาการ คันหูกเส้นด้ายยืน ลงเท่ากับร้อยละ 5.4 เมื่อ เปรียบเทียบกับแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้าน และ ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของเวลาการคันหูก

พบว่า ค่า p-value มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าข้อมูล เวลาการคันหูก มีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 90

ผลการเปรียบเทียบจำนวนผู้ปฏิบัติงานคัน หูก พบว่าสามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานคันหูกด้วย เครื่องคันหูกแบบกงล้อหมุน ลงเท่ากับร้อยละ 66.66 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบวิธีการดั้งเดิมของชาวบ้าน

ผลการเปรียบเทียบระยะทางที่ผู้ปฏิบัติงาน ต้องเดินคันหูกเส้นด้ายยืน พบว่าสามารถลดระยะทาง ที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเดินคันหูกเส้นด้ายยืน ลงเท่ากับ ร้อยละ 100 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบวิธีการดั้งเดิม ของชาวบ้าน

สามารถสร้างโอกาสให้ผู้ปฏิบัติงานเดินด้าย คันหูก 2 คน มีรายได้เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 10 จาก การทอผ้าแทนการเดินด้ายคันหูก หรือประมาณ 650 บาท/คน/เดือน

เส้นด้ายยืนที่ได้จากเครื่องคันหูกแบบกงล้อ หมุนทรงกระบอกแนวนอน สั้นกว่าการคันหูกแบบ วิธีการเดิมของชาวบ้าน อาจส่งผลให้ชาวบ้านมี รายได้จากการทอผ้าลดลงแต่ชาวบ้านมีโอกาสสร้าง รายได้เพิ่มขึ้นจากการทำเป็นผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก จากเศษผ้าขาวม้าเพื่อชดเชยรายได้ที่ลดลงแทนการ ทอผ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จาก กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี งบประมาณ 2556 ขอบพระคุณชุมชนหมู่บ้าน วัฒนธรรมไทยทรงดำ บ้านหัวเขาจีน และคุณจรูญ พารมณี รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานนี้ แต่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย ที่ได้มีส่วนช่วยให้งานวิจัยดังกล่าวสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Auekarn, C., Ngamsnit, S., Pinyoanuntapong, N. and Lertphanich, P. 2014. The guidelines for thai textile industrial promotion and development for global competition. **Journal of Graduate Studies Yalaya Alongkorn Rajabhat University** 8(1): 35-50.
- Chaodon, K., Pimsalee, T. and Phummiphan, N. 2020. A Development of an Automatic Handmade Mudmee Cotton Machine. **Vocational Education Innovation and Research Journal** 4(1): 10-16.
- Joungtrakul, J., Na-Nan, K., Chaiyasoonthorn, W., Prawatmuang, R., Tharaphutthi, P., Tanwongwan, S., Meensuk, S. and Thongkalaya, B. 2021. An Alternative Approach to Developing an In-Depth Interview Guide for Data Collection in Qualitative Research. **Journal of Management and Marketing** 8(2): 1-16.
- Mangkara, S. 2016. **The Semi Automatic Thread Winding Machine**. Thai petty patent No. 12124. (in Thai)
- Nithikarnjanatham, J., Rithinyo, M., Taysongnoen, K. and Mayai, A. 2016. **Research Report on Control system for the process of cocoon silk of the community enterprises silk**. Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- Nualkhaw, T. 2007. Textile weaving with loom specific of Ta Mhuk pattern: a case study of weaving activity group, Ban Prakha, Prakha sub-district, Khuan-khanum district. Graduate Diploma Program (Graduate Volunteer), Thammasat University. (in Thai)
- Nuejantha, N., Wongkasem, K. and Poomsaad, N. 2018. Machine Development for Weaving and Pattern Recognition, pp. 314-320. **In 14th Mahasarakham University Research Conference**. Mahasarakham, Thailand. (in Thai)
- Phasuk, S. 2002. **Handwoven Thaisilk**. Odeon Store, Bangkok. (in Thai)
- Rithinyo, M., Lonkuntos, N., Ounthaisong, A. and Insorn, W. 2017. The Development of Silk Weft Preparation Machine by ECRS Technique. **UBU Engineering Journal** 10(2): 52-61.
- Rittibunyanan, S. 2013. Change of hand-woven fabric from consumption-oriented to market-oriented: case of Ban Song Plueay, tambon Hai Yong, Phang Khon district, Sakon Nakhon province. Graduate Diploma Program (Graduate Volunteer), Thammasat University.
- Srisuk, S. 2021. **Horizontal Warping Wheel Machine**. Thai petty patent No. 17686. (in Thai)
- Sumankere, S. and Promlawan, K. 2007. **Research Report on Development Weaving Room and Addition Heddle about 6, 8, 10**

Heddles. Rajamangala University of Technology

Rhra Nakhon, Bangkok. (in Thai)

Swangpol, T., Soottitayaylarkul, P., Polsawat, A.,

Boonma, N., Noramat, S., Wongcharearn, S.

and Viboonkittanakom, D. 2018. Development

of semi-automatic traditional silk weaving

machines for small and medium enterprise.

Apheit Journal 7(1): 104-119.

The Queen Sirikit Institute of Sericulture. 2009.

Thai Silk: Cultural Heritage. Institute,

Bangkok. (in Thai)

Wongwian, C., Sagulpongmalee, K. and Inyasri, C.

2021. Propeller Mass Reduction of the

Electric Motor in Ring-spinning Machine in

Textile Industry for Energy Saving. **Thai**

Industrial Engineering Network Journal

7(2): 111-117.

การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์/คิวปริกออกไซด์คอมโพสิตโดยวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้สลายโรดามีนบีด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์

Synthesis of ZnO/CuO Composite by Microwave Method for Photocatalytic Degradation of Rhodamine B

พงศ์เทพ จันทรสันเทียะ¹ อัจฉริยพร จันทรหงษ์^{2*} ชีรภัทร นพนรินทร์² และ เอมอน วันเอก³

Pongthep Jansanthea¹, Atchariyaporn Janhong^{2*}, Teerapat Nopnarin² and Aimon Wanaek³

Received: 4 November 2021, Revised: 24 October 2022, Accepted: 28 November 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์/คิวปริกออกไซด์คอมโพสิต (ZnO/CuO) ที่มีความเป็นผลึกสูงและเฟสความบริสุทธิ์สูงโดยปราศจากสิ่งเจือปนด้วยวิธีไมโครเวฟ เพื่อนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำรงแสงในการสลายโรดามีนบี กระบวนการสังเคราะห์โดยใช้ซิงค์อะซิเตตและคิวปริกอะซิเตตเป็นสารตั้งต้น ผสมให้เข้ากันและตกตะกอนจนเป็นสารแขวนลอย แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟ 450 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาทีตามด้วยกระบวนการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกหมู่ฟังก์ชัน สัณฐานวิทยา และธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD), เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR), เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), และเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์ (EDS) พบว่าผลึกของ ZnO/CuO เป็นเฟสผสมระหว่างเฮกซะโกนอลซิงค์ออกไซด์และโมโนคลินิกคิวปริกออกไซด์ หมู่ฟังก์ชันประกอบด้วยพันธะ Zn-O และ Cu-O สัณฐานวิทยามีลักษณะเป็นเม็ดจับตัวเป็นก้อนซึ่งมีขนาดอนุภาค 0.25 x 0.47 ไมโครเมตร มีธาตุองค์ประกอบได้แก่ซิงค์ ทองแดง และออกซิเจน ปริมาณร้อยละ 35.8, 32.6 และ 15.8 ตามลำดับ การสังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟส่งผลให้เกิดสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ดีสำหรับปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO เช่น เฟสที่มีความบริสุทธิ์สูง ความเป็นผลึกสูง และความสม่ำเสมอของอนุภาคสูง ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพการสลายโรดามีนบีด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO กระทำภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลต การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโรดามีนบี ด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลต -

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

¹ Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Mueang, Uttaradit 53000, Thailand.

² สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

² Program in Chemistry, Faculty of Education and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Mueang, Uttaradit 53000, Thailand.

³ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

³ Program in Physics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Mueang, Uttaradit 53000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): u61031520123@uru.ac.th

วิธีเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี พบว่า ZnO/CuO มีประสิทธิภาพการสลายโรดามีนบีร้อยละ 80.68 ในเวลา 240 นาที และมีค่าคงที่อัตราเท่ากับ 0.0065 ต่อนาที

คำสำคัญ: คิวปริกออกไซด์, ซิงค์ออกไซด์, คอมโพสิต, ไมโครเวฟ, โรดามีนบี

ABSTRACT

Zinc oxide/cupric oxide (ZnO/CuO) composite with a high crystallinity and purity phase without impurity was successfully synthesized via a microwave method for use as a photocatalyst in the degradation of rhodamine B. The synthesis process used zinc acetate and cupric acetate as precursors. The suspensions were treated via microwave irradiation at 450 W for 10 min followed by a constant-temperature calcination process at 300°C for 3 h. The phase transitions, functional group, morphologies, and elemental compositions of the resulting synthesized powders were characterized via X-ray powder diffraction, Scanning Electron Microscopy, and Energy dispersive X-ray spectroscopy. ZnO/CuO crystals were found to be mixed phases of hexagonal zinc oxide and monoclinic cupric oxide. The functional group is composed of Zn-O and Cu-O bonds. The morphology is agglomerate granular with a particle size of 0.25 x 0.47 μm . The elemental compositions contain Zn, Cu, and O with 35.8%, 32.6%, and 15.8%, respectively. The experimental findings showed that the microwave method is the cause of favorable chemical and physical properties for the photocatalytic powder reaction, such as high purity phases, high crystallinity, and high uniformity of the ZnO/CuO powders. The photocatalytic degradation of rhodamine B using these ZnO/CuO powders under UV light illumination was studied. The rhodamine B concentration analysis was done using UV-Vis spectrophotometry. The highest rhodamine B degradation efficiency by the ZnO/CuO was 80.68 % in 240 min at a kinetic rate constant of 0.0065 min^{-1} .

Key words: cupric oxide, zinc oxide, composite, microwave, rhodamine B

บทนำ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้อุตสาหกรรมเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากจะเป็นผลดีแล้วความก้าวหน้าทางเทคโนโลยียังส่งผลเสียคือ การปล่อยของเสียจากอุตสาหกรรมเสียของสิ่งของต่าง ๆ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งถูกส่งไปยังระบบนิเวศโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน นับเป็นปัญหาสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ (Widiyandari *et al.*, 2018)

ปัจจุบันมีกระบวนการที่ใช้บำบัดน้ำเสียและกำจัดสารอินทรีย์ที่ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น แต่บางกระบวนการมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง หรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาช้า ดังนั้นจึงมีการค้นหาวิธีการใหม่เพื่อใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียดังกล่าว วิธีที่กำลังเป็นที่นิยมและเป็นทางเลือกใหม่ก็คือ ปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ (Photocatalytic) โดยอาศัย 2 องค์ประกอบ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และพลังงานแสง (Photo Energy) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่

ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทโลหะออกไซด์ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2), เพอร์ไรท์ออกไซด์ (Fe_2O_3), ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และคิวปริคออกไซด์ (CuO) เป็นต้น แต่สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการในการใช้งาน (Vejjakul, 2012) เทคนิคการนำวัสดุมาประกอบกันเป็นวัสดุผสมหรือคอมโพสิต (Composite) เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ โดยช่วยลดช่องว่างแถบพลังงาน (Bandgap Energy) เพิ่มความเสถียรของปฏิกิริยา และเพิ่มปริมาณของอนุภาคที่ออกฤทธิ์ในปฏิกิริยา (Widiarti *et al.*, 2017)

ซิงค์ออกไซด์และคิวปริคออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เมื่อนำตัวเร่งทั้งสองชนิดมาผสมกันเป็นวัสดุผสม (ZnO/CuO) ทำให้ช่วยเสริมสมบัติที่ดีของสารแต่ละตัวทั้งสมบัติเชิงแสงและสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถือเป็นสมบัติที่ดีในการเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสง (Sakib *et al.*, 2019) โดยพื้นฐานโครงสร้างและสมบัติของ ZnO บริสุทธิ์ เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการออกซิเดชันสูง ราคาประหยัด และไม่เป็นพิษ มีช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ เหมาะสมในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (Shekofteh-Gohari *et al.*, 2018) ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสง CuO บริสุทธิ์ เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p-type ที่มีช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 1.2-1.4 อิเล็กตรอนโวลต์ มีสมบัติพิเศษทางเคมีและกายภาพที่หลากหลาย มีสมบัติการดูดกลืนแสงที่สูง มีเสถียรภาพในสภาวะอุณหภูมิสูง และมีราคาถูก จึงนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ (Srikosol and Mekkala, 2014) จากสมบัติของ ZnO และ CuO ที่กล่าวมานั้นการนำตัวเร่งทั้งสองชนิดมาผสมกันจะทำให้ได้เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งวิธีในการสังเคราะห์ ZnO/CuO สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธี

ไฮโดรเทอร์มอล โซล-เจล และไมโครเวฟ (Das and Srivastava, 2018) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การสังเคราะห์ด้วยวิธีไมโครเวฟมีข้อดีหลายประการ เช่น ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ค่อนข้างสั้น เป็นวิธีที่ง่าย ใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ และทำให้ได้สารประกอบที่มีความบริสุทธิ์สูง (Jha, 2021)

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการสังเคราะห์ ZnO/CuO โดยวิธีไมโครเวฟเพื่อใช้สลายโรดามีนบี ซึ่งเป็นตัวแทนสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ ZnO/CuO โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์ ตลอดจนศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีทั้งหมดในการทดลองนี้เป็นรีเอเจนต์เกรดวิเคราะห์ ประกอบด้วยซิงค์อะซิเตต (Zn(AC)_2 , 99.5% v/v, Loba Chemie, India), คิวปริคอะซิเตต (Cu(AC)_2 , 98% v/v, Loba Chemie, India), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , 99% v/v, Loba Chemie, India) และ โรดามีนบี ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, 99.9%, Loba Chemie, India) สำหรับกระบวนการสังเคราะห์โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้ซิงค์อะซิเตต 2.2 กรัม และคิวปริคอะซิเตต 2.0 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน และนำไปกวนที่ 70 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.016 โมลาร์ ลงไปที่ละหยดจนครบ 100 มิลลิลิตร ในเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อให้เกิดตะกอนโดยสมบูรณ์ ขั้นตอนต่อมา นำสารแขวนลอยที่ได้ไปให้

ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมากรองและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ทำให้แห้งโดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง สุดท้ายนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยกระบวนการเผาแคลไซน์นี้เพื่อให้แน่ใจว่าอนุภาคของสารตั้งต้นที่เหลือบางส่วนจะได้รับการออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ และเพื่อกำจัดสารตั้งต้นส่วนเกินที่เหลือ (Jansanthea *et al.*, 2021b) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผง ZnO/CuO ส่วนการสังเคราะห์ ZnO บริสุทธิ์ ดำเนินการสังเคราะห์โดยใช้ซิงค์อะซิเตต 2.2 กรัม เพียงตัวเดียวละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร และนำไปกวนที่ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการตกตะกอนให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กรองและอบแห้ง โดยใช้สภาวะเดียวกับการสังเคราะห์ ZnO/CuO ส่วน CuO บริสุทธิ์ สามารถสังเคราะห์ได้ตามขั้นตอนการสังเคราะห์ ZnO บริสุทธิ์ โดยเปลี่ยนจากซิงค์อะซิเตต 2.2 กรัม เป็นคิวปริกอะซิเตต 2.0 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจหาลักษณะเฉพาะโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD, Bruker, Advance D-8, USA), เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR, Perkin Elmer, Spectrum RXI, England), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, JEOL/JSM-5410LV, Japan) และเครื่องวัดการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ (EDS, Oxford/IncaPentaFETx3, UK) การศึกษาประสิทธิภาพการสลายโรดามีนบีโดยปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ ตรวจสอบโดยทำปฏิกิริยาในรีแอกเตอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ประกอบด้วยสารละลายโรดามีนบี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ปริมาณ 0.05 กรัม (1 กรัมต่อลิตร) โดยรีแอกเตอร์จะถูกเก็บไว้ในกล่องดำเพื่อป้องกันรังสี

จากภายนอก สำหรับแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ใช้หลอดฆ่าเชื้อ (UV-C germicidal lamps, Synrania, G6W, Japan) จำนวน 2 หลอด จัดวางในแนวตั้งทั้งสองด้านของกล่องดำ ในการทดสอบแต่ละครั้งรีแอกเตอร์จะนำไปปรับสมดุลการดูดซับ (Adsorption-Desorption Equilibrium) ด้วยการอัตราโชนิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ในการทำปฏิกิริยารีแอกเตอร์จะถูกกวนตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กและเก็บตัวอย่างปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทุก ๆ 30 นาที และกรองผ่านตัวกรองโซริงค์ขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร (MS® MCE Syringe, Membrane Solution, USA) เพื่อนำสารแขวนลอยออก ความเข้มข้นของโรดามีนบีวัดค่าโดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS, PG Instruments/T90+, UK) (Jansanthea *et al.*, 2021a)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีไมโครเวฟที่กำลังไฟ 450 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาศึกษาลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพการสลายสารโรดามีนบีได้ผลดังนี้

1. ลักษณะทั่วไปของตัวเร่งปฏิกิริยา

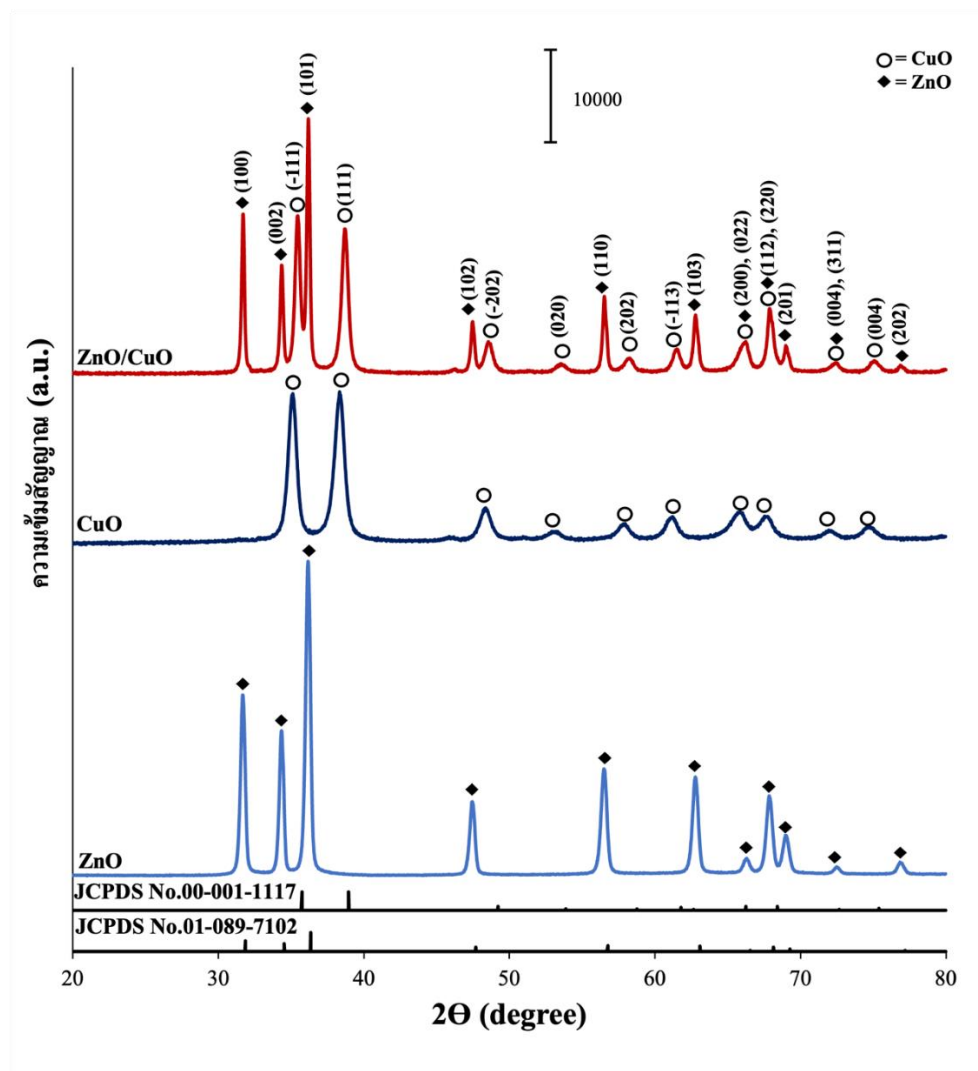
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์โดยวิธีไมโครเวฟ ได้แก่ ZnO, CuO และ ZnO/CuO มีลักษณะทั่วไปเป็นผง เนื้อละเอียดสีขาว ดำ (Shinde *et al.*, 2021) และน้ำตาลดำ ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์โดยวิธีไมโครเวฟ ผลแสดงดังภาพที่ 1 รูปแบบ XRD

ของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO พบพีกหลักที่มีระนาบการเลี้ยวเบน (100), (002) และ (101) ที่ 31.85° , 34.552° และ 36.358° ตามลำดับ แสดงโครงสร้างผลึกของเฮกซะโกนอล ZnO เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 01-089-7102 (Yousaf *et al.*, 2021) รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuO มีพีกหลักของโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก CuO แสดงระนาบการเลี้ยวเบน (-111), (111) และ (-202) ที่ 35.74° , 38.95° และ 49.21° ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 00-001-1117 (Nabila and Kannabiran, 2018) ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา

ZnO/CuO พบว่าพีกการเลี้ยวเบนของตัวอย่างสอดคล้องกับระนาบผลึกเฮกซะโกนอล ZnO และโมโนคลินิก CuO ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang *et al.* (2013) ที่สังเคราะห์ ZnO/CuO โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ยอดแหลมสูงของพีกแสดงว่าตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกสูง และไม่พบพีกอื่น ๆ ของสารปนเปื้อน แสดงถึงความบริสุทธิ์ของเฟส ซึ่งสมบัติดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งในปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ (Das and Srivastava, 2017)

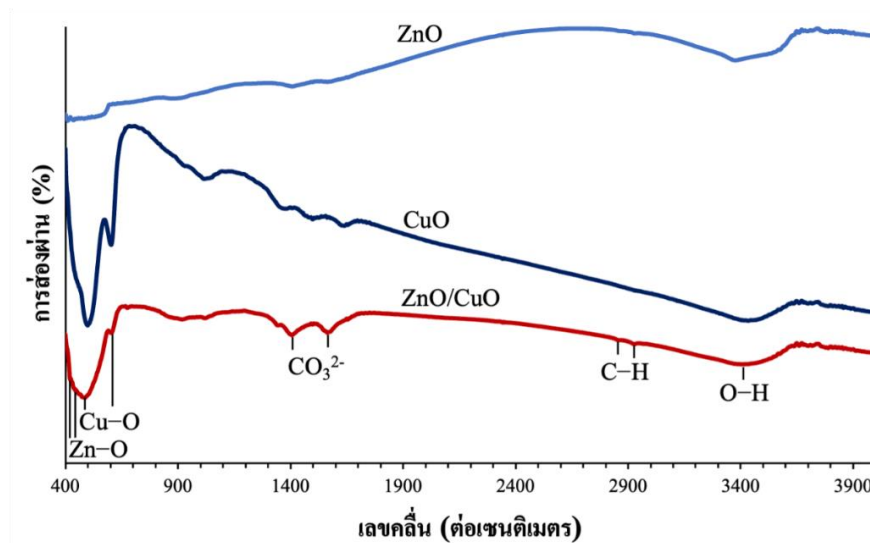


ภาพที่ 1 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยา

3. การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอรัมอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอรัมอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ในช่วง 400-4000 ต่อเซนติเมตร ที่อุณหภูมิห้อง ผลแสดงดังภาพที่ 2 ตัวอย่าง ZnO บริสุทธิ์ ปรากฏพีกหลักแสดงพันธะ Zn-O ที่ 419 และ 448 ต่อเซนติเมตร (Chitra and Annandurai, 2013) ส่วนตัวอย่าง CuO บริสุทธิ์ปรากฏพีกหลักแสดงพันธะ Cu-O ที่ 498 และ 602 ต่อเซนติเมตร (Karthik *et al.*, 2011) และตัวอย่าง ZnO/CuO ปรากฏพีกที่ 436, 450, 498, 602, 1406,

1562, 2859, 2929 และ 3414 ต่อเซนติเมตร ซึ่งแสดงพันธะของ Zn-O ที่ 436 และ 450 ต่อเซนติเมตร พันธะของ Cu-O ที่ 498 และ 602 ต่อเซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบพันธะของ CO_3^{2-} ที่ 1406, 1562 ต่อเซนติเมตร ซึ่งมักจะปรากฏในสเปกตรัมเมื่อตัวอย่างของเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอรัมอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีถูกเตรียมและวัดในอากาศ (Sundar *et al.*, 2018) ส่วนพีกที่ 2859 และ 2929 ต่อเซนติเมตร แสดงหมู่ฟังก์ชัน C-H ซึ่งเป็นไปได้ว่าเกิดจากสารตั้งต้นที่เหลือ และหมู่ฟังก์ชัน -OH สามารถสังเกตได้ที่มีความถี่ 3000-3500 ต่อเซนติเมตร (Chitra and Annandurai, 2013)

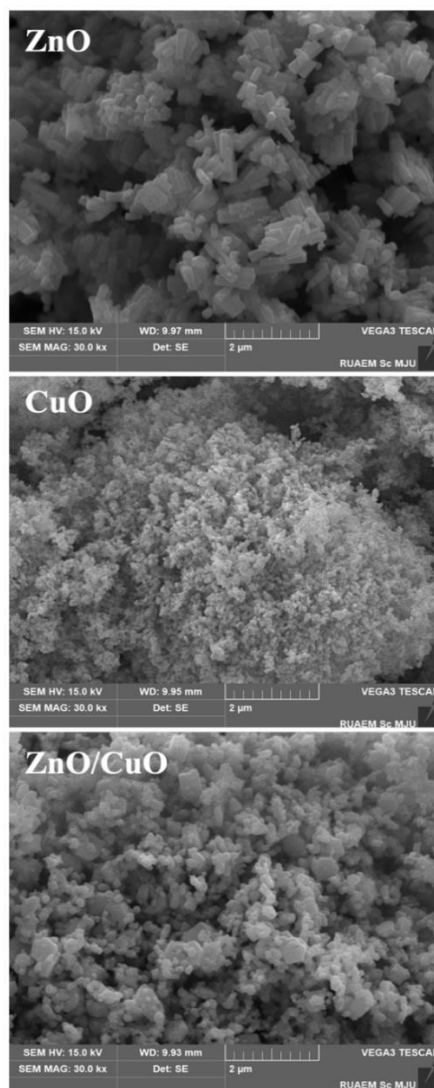


ภาพที่ 2 FTIR สเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา

4. การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30000 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ ผลแสดงดังภาพที่ 3 อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO มีลักษณะคล้ายเมล็ดพืชจับตัวเป็นก้อน (Abdollahi *et al.*, 2021) มีขนาดอนุภาค 0.19 x 0.45 ไมโครเมตร ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา CuO มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

การรวมตัวทำให้มีช่องว่างขนาดเฉพาะ มีขนาดอนุภาคเป็นเกล็ดระดับนาโนเมตร (Hwa *et al.*, 2019) และตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO มีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดสม่ำเสมอเกาะกันเป็นก้อนขนาด 0.25 x 0.47 ไมโครเมตร ซึ่งลักษณะสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Shinde *et al.* (2021) ที่สังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนและเผาแคล-ไซน์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

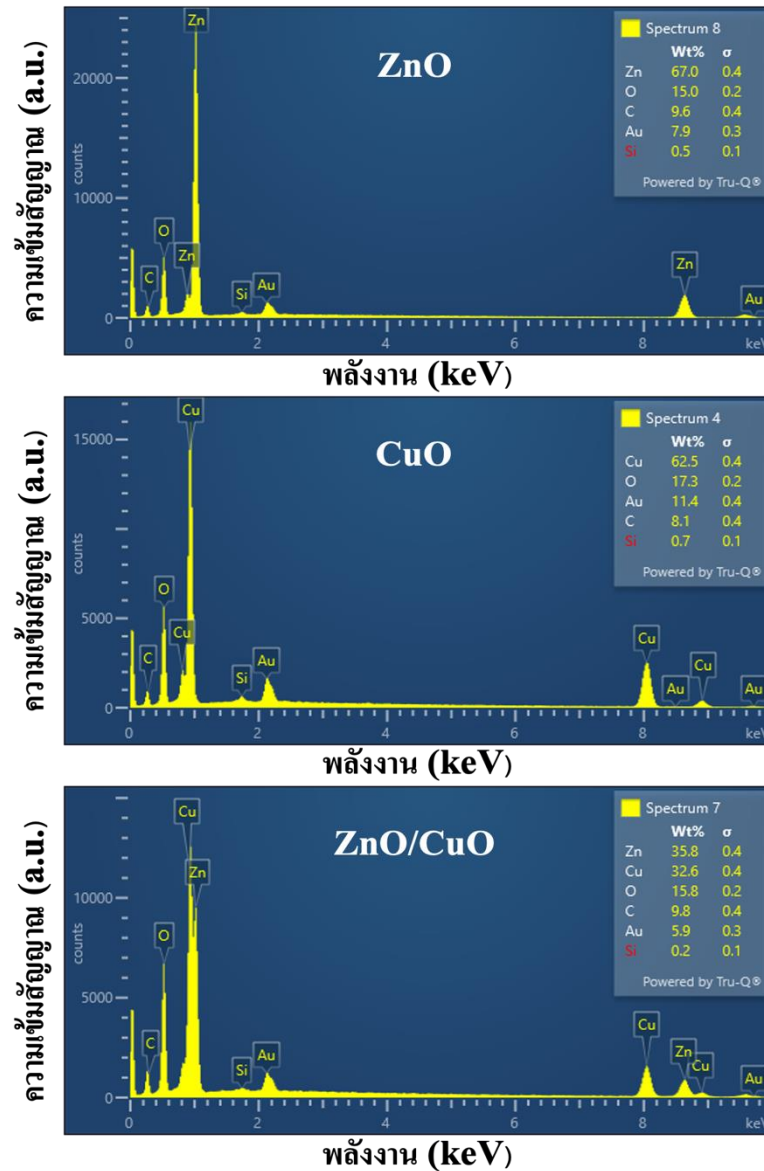


ภาพที่ 3 SEM ไมโครกราฟของตัวเร่งปฏิกิริยา

5. การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา ผลแสดงดังภาพที่ 4 EDS สเปกตรัมของ ZnO แสดงให้เห็นว่ามีธาตุสังกะสี (Zn) และธาตุออกซิเจน (O) (Yang *et al.*, 2021) เป็นองค์ประกอบ ปริมาณร้อยละ 67.0 และ 15.0 ตามลำดับ โดยอัตราส่วน Zn:O เท่ากับ 1.03 : 0.93 หรือประมาณ 1:1 ตามทฤษฎี ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา CuO มีธาตุทองแดง

(Cu) และธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (Hwa *et al.*, 2019) ปริมาณร้อยละ 62.5 และ 17.3 ตามลำดับ ในอัตราส่วน 0.99 : 1.0 และตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO โดยมีองค์ประกอบของธาตุสังกะสี ทองแดง และออกซิเจน ปริมาณร้อยละ 35.8, 32.6 และ 15.8 ตามลำดับ นอกจากนี้จะพบธาตุทอง (Au) คาร์บอน (C) และซิลิกอน (Si) ซึ่งธาตุทองมาจากสารที่ใช้เคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้า ธาตุคาร์บอนมาจากเทปคาร์บอน และซิลิกอนอาจเป็นสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ในกระบวนการวิเคราะห์

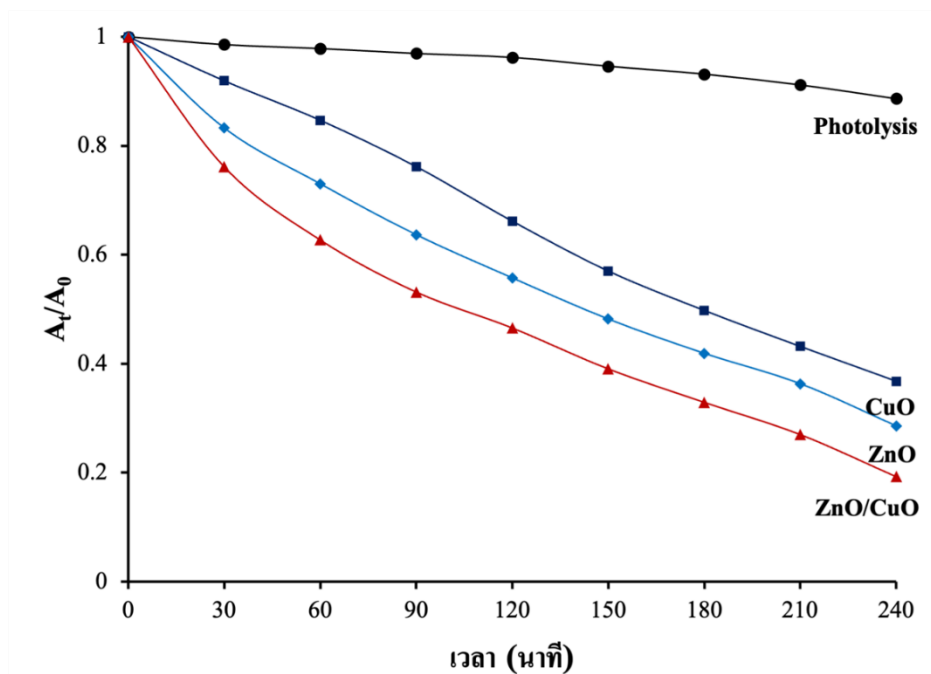


ภาพที่ 4 EDS สเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา

6. การทดสอบประสิทธิภาพการสลายโรดามีนบีของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดสอบประสิทธิภาพการสลายโรดามีนบีของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของโรดามีนบีเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวเร่ง

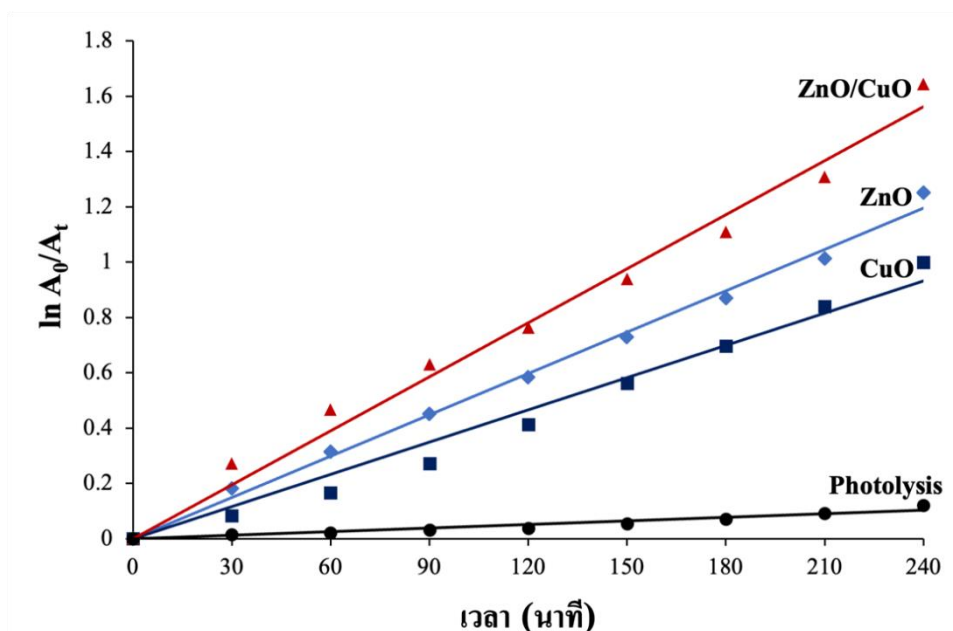
ปฏิกิริยา 1.0 กรัมต่อลิตร ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต แสดงโดยพล็อตระหว่าง A_t/A_0 กับเวลา (Sahu and Kar, 2019) โดย A_t คือค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาใด ๆ และ A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาเริ่มต้น ผลแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการย่อยสลายโรคาบิ่นของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการสลายโรคาบิ่นของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO, ZnO, CuO, และโฟโตไลซิส มีประสิทธิภาพการสลายอยู่ที่ร้อยละ 80.68, 71.4, 63.19 และ 11.4 ตามลำดับ ส่วนจลนศาสตร์การเกิดปฏิกิริยา (Kinetics) แสดงโดยการพล็อตระหว่าง $\ln A_0/A_t$ กับเวลา (Jin *et al.*, 2016) (ภาพที่ 6) อัตราการสลายโรคาบิ่นของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO, ZnO, CuO, และโฟโตไลซิส มีค่าคงที่อัตราการสลายเท่ากับ 0.0065, 0.0050, 0.0039 และ 0.0004 ต่อนาที ตามลำดับ จลนศาสตร์ของการย่อยสลายโรคาบิ่นเป็นไปตามกฎจลนศาสตร์อันดับที่ 1 (First Order) (Mukwevho *et al.*, 2019) ค่าคงที่อัตราจลนศาสตร์สูงสุดมาจากตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO โดยเรียงลำดับความสามารถของการเร่งปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ของตัวอย่างได้ดังนี้

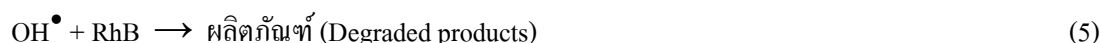
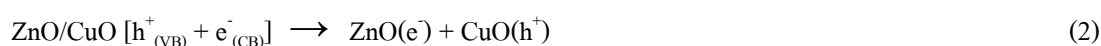
ZnO/CuO > ZnO > CuO > โฟโตไลซิส โดยจะเห็นว่าประสิทธิภาพการสลายโรคาบิ่นของ ZnO/CuO มีประสิทธิภาพมากกว่า ZnO และ CuO ร้อยละ 9.28 และ 17.49 ตามลำดับ และมีค่าคงที่อัตราการสลายคิดเป็น 16.25 เท่าของโฟโตไลซิส เหตุผลที่ประสิทธิภาพการย่อยสลายของ ZnO/CuO ดีกว่า ZnO และ CuO เพราะว่าการนำวัสดุมาคอมโพสิตกันจะช่วยลดอัตราการกลับมารวมตัวกันใหม่ระหว่างอิเล็กตรอน-โฮล ทำให้อิเล็กตรอนสามารถถ่ายโอนไปยังผิวหน้าของตัวเร่งและทำปฏิกิริยารีดอกซ์เพื่อสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยสปีชีส์ที่ออกฤทธิ์ในการสลาย ได้แก่ อนุมูลไฮดรอกซิล และอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (Chen *et al.*, 2002; Li and Wang, 2010)

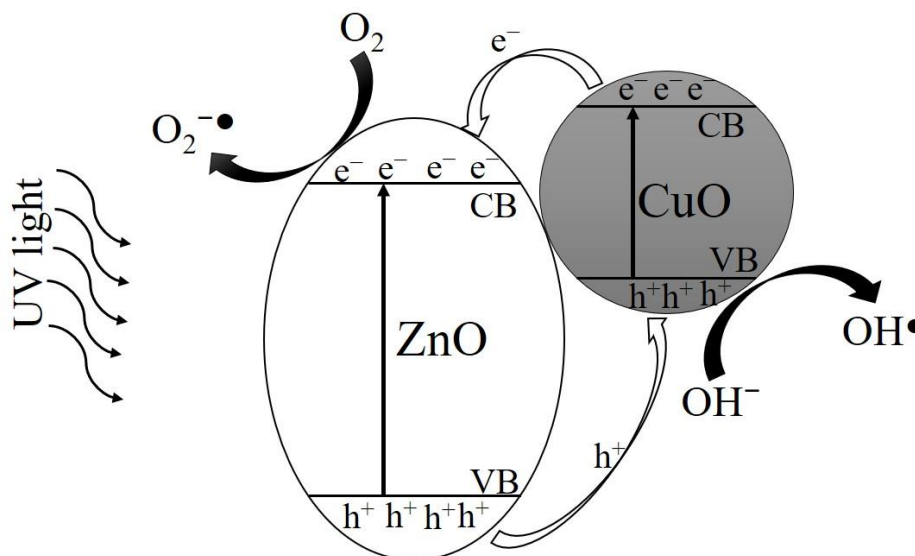


ภาพที่ 6 กราฟจลนศาสตร์การสลายโรดามีนบีของตัวเร่งปฏิกิริยา

แผนผังกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (e^-) และโฮล (h^+) ของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO/CuO แสดงดังภาพที่ 7 เริ่มจาก ZnO และ CuO สามารถถูกกระตุ้นด้วยการฉายแสงอัลตราไวโอเลตเพื่อผลิตอิเล็กตรอนและโฮลในคอนดักชันแบนด์ (Conduction Band, CB) และวาเลนซ์แบนด์ (Valence Band, VB) ตามลำดับ การคอมโพสิตของ ZnO/CuO ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนย้ายจาก CB ของ CuO ไปยัง CB ของ ZnO ได้ ในขณะที่โฮลก็เคลื่อนย้ายจาก VB ของ ZnO ไปยัง VB ของ CuO ซึ่งส่งผลให้มีการแยกอิเล็กตรอนและโฮลในวัสดุ

เซมิคอนดักเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการนี้สามารถลดการกลับมารวมตัวกันใหม่ระหว่างอิเล็กตรอน-โฮล (Electron-hole Recombination) ดังนั้น อิเล็กตรอนใน CB ของ ZnO สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) ได้ผลิตกันซ์เป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ($O_2^{\bullet-}$) ในขณะเดียวกันโฮลใน VB ของ CuO ก็สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้ผลิตกันซ์เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) ซึ่งทั้ง 2 สปีชีส์มีฤทธิ์ในการสลายสารโรดามีนบี ปฏิกิริยาการสลายแสดงดังสมการ (1-5) (Fouda *et al.*, 2020)





ภาพที่ 7 กลไกการถ่ายเทประจุที่เป็นไปได้ของ ZnO/CuO ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

ความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ของเฟส และ ความสม่ำเสมอทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้อยู่ในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสังเคราะห์อื่น ๆ เช่น วิธีโซล-เจล เพาแคลไซน์ที่ 500 องศาเซลเซียส (Widiarti *et al.*, 2017; Kavitha *et al.*, 2020) พบว่าวิธีไมโครเวฟที่ใช้ ร่วมกับการเพาแคลไซน์ที่ 300 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์ ZnO/CuO ที่มีความเป็นผลึกสูง กว่า ข้อดีทั่วไปของการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ เหนือการให้ความร้อนแบบทั่ว ๆ ไป คือการเร่งอัตราการ เกิดปฏิกิริยาสูงเนื่องจากอัตราการให้ความร้อน สูง ทั้งยังใช้พลังงานต่ำและอุณหภูมิต่ำในการ สังเคราะห์ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว (Ambrozic *et al.*, 2011) สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของ ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับสมบัติเฉพาะและการคอมโพสิต กันของ ZnO/CuO ตัวอย่างเช่น Chang *et al.* (2013) กล่าวว่า ZnO/CuO มีประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโต แคลทาไลติกส์เป็น 6 เท่าของ ZnO บริสุทธิ์ และ Sakib *et al.* (2019) รายงานว่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา โฟโตแคลทาไลติกส์ของ CuO/ZnO มากกว่า ZnO บริสุทธิ์ คิดเป็นร้อยละ 17 นอกจากนี้ การเพิ่ม

ประสิทธิภาพของ ZnO/CuO ในการสลายโรดามีนบี ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคลทาไลติกส์สามารถทำได้โดย การปรับค่า pH ของสารละลาย ปรับค่าความเข้มข้น ของสีย้อมโรดามีนบี และปรับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ให้เหมาะสม (Kumaresan *et al.*, 2020) การต่อยอด ผลงานวิจัยนี้สามารถดำเนินการได้ดังเช่น การศึกษา ช่วงการดูดกลืนแสงของตัวเร่งปฏิกิริยา การทดสอบ ผลของการเผาต่อสมบัติและประสิทธิภาพในการเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสง การหาขนาดผลึกเฉลี่ย การศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดของปฏิกิริยาโฟโตแคลทาไลติกส์และการทดสอบสมบัติอื่น ๆ เป็นต้น

สรุป

กล่าวโดยสรุป ZnO/CuO สามารถสังเคราะห์ ได้ด้วยวิธีไมโครเวฟร่วมกับการเพาแคลไซน์เพื่อช่วย เพิ่มความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ของเฟส และกำจัด สารตั้งต้นส่วนเกินเมื่อเทียบกับวิธีการไมเพาแคลไซน์ ผลจากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าความเป็นผลึก ความ บริสุทธิ์ของเฟส และความสม่ำเสมอของสัณฐาน วิทยา มีผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโต แคลทาไลติกส์ในการสลายสีย้อมโรดามีนบี โดยที่การ

วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงให้เห็นถึงความ
เป็นผลึกสูงและความบริสุทธิ์ของเฟสสูง เทคนิค
ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปียืนยัน
หมู่ฟังก์ชันของพันธะระหว่าง Zn-O และ Cu-O ส่วน
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเทคนิคการกระจาย
พลังงานรังสีเอกซ์แสดงความสม่ำเสมอของสัณฐาน
วิทยาและธาตุองค์ประกอบของ ZnO/CuO อาจกล่าว
โดยสรุปได้ว่าการคอมโพสิตกันเป็นวัสดุผสมของ
ZnO/CuO ที่สังเคราะห์โดยวิธีไมโครเวฟทำให้มี
ประสิทธิภาพปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ในการ
สลายโรดามีนบี ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลต
และอาจใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้บำบัดสาร
มลพิษอื่น ๆ ในสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย
จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม
(ววน.) Thailand Science Research and Innovation
(TSRI) ประจำปีงบประมาณ 2565 และขอขอบคุณ
หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ในการสนับสนุน
เครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Abdollahi, B., Najafidoust, A., Asl, E.A. and
Sillanpaa, M. 2021. Fabrication of ZIF-8
metal organic framework (MOFs)-based
CuO-ZnO photocatalyst with enhanced
solar-light-driven property for degradation
of organic dyes. **Arabian Journal of
Chemistry** 14(12): 103444.
- Ambrozic, G., Orel, Z.C. and Zigon, M. 2011.
Microwave-assisted non-aqueous synthesis
of ZnO nanoparticles. **Materials and
Technology** 45(3): 173-177.
- Chang, T., Li, Z., Yun, G., Jia, Y. and Yang, H. 2013.
Enhanced photocatalytic activity of ZnO/CuO
nanocomposites synthesized by hydrothermal
method. **Nano-Micro Letters** 5(3): 163-168.
- Chen, C., Li, X., Ma, W., Zhao, J., Hidaka, H. and
Serpone, N. 2002. Effect of transition metal
ions on the TiO₂-assisted photodegradation
of dyes under visible irradiation: a probe for
the interfacial electron transfer process and
reaction mechanism. **Journal of Physical
Chemistry B** 106(2002): 318-324.
- Chitra, K. and Annandurai, G. 2013. Antimicrobial
activity of wet chemically engineered
spherical shaped ZnO nanoparticles on food
borne pathogen. **International Food Research
Journal** 20(1): 59-64.
- Das, S. and Srivastava, V.C. 2017. Synthesis and
characterization of ZnO/CuO nanocomposite
by electrochemical method. **Materials Science
in Semiconductor Processing** 57: 173-177.
- Das, S. and Srivastava, V.C. 2018. An overview of
the synthesis of CuO-ZnO nanocomposite
for environmental and other applications.
Nanotechnology Reviews 7(3): 267-282.
- Fouda, A., Salem, S.S., Wassel, A.R., Hamza, M.F.
and Shaheen, T.I. 2020. Optimization of
green biosynthesized visible light active
CuO/ZnO nano-photocatalysts for the
degradation of organic methylene blue dye.
Heliyon 6(9): e04896.
- Hwa, K.Y., Karuppaiah, P., Gowthaman, N.S.K.,
Balakumar, V., Shankar, S. and Lim, H.N.

2019. Ultrasonic synthesis of CuO nanoflakes: A robust electrochemical scaffold for the sensitive detection of phenolic hazard in water and pharmaceutical samples. **Ultrasonics - Sonochemistry** 58: 104649.
- Jansanthea, P., Kanthabangharn, J., Chomkitichai, W., Ketwaraporn, J., Saovakon, C., Wansao, C., Wanaek, A., Kraivuttinun, P., Pookmanee, P. and Phanichphant, S. 2021a. Temperature-controlled synthesis and photocatalytic properties of ZnO-SnO₂ nanocomposites. **Journal of the Australian Ceramic Society** 57: 579-588.
- Jansanthea, P., Saovakon, C., Chomkitichai, W., Ketwaraporn, J., Maneeponga, S., Chaiwonga, N., Jaiseea, K., Wansao, C., Wanaeka, A. and Pookmanee, P. 2021b. Thiamethoxam insecticide degradation with a leaf-like cupric oxide monoclinic structure synthesized via the microwave method. **Russian Journal of Inorganic Chemistry** 66(5): 667-678.
- Jha, A. 2021. **Nanofibers Synthesis, Properties and Applications: Microwave assisted synthesis of organic compounds and nanomaterials**. IntechOpen, London.
- Jin, C., Ge, C., Jian, Z. and Wei, Y. 2016. Facile synthesis and high photocatalytic degradation performance of ZnO-SnO₂ hollow spheres. **Nanoscale Research Letters** 11: 526.
- Karthik, K., Jaya, N.V., Kanagaraj, M. and Arumugam, S. 2011. Temperature-dependent magnetic anomalies of CuO nanoparticles. **Solid State Commun** 151(7): 564-568.
- Kavitha, K., Rao, T.S. and Suvarna, R.P. 2020. Synthesis and characterization of ZnO-CuO nanocomposites. **AIP Conference Proceedings** 2269: 030078.
- Kumaresan, N., Sinthiya, M.M.A., Ramamurthi, K., Babu, R.R. and Sethuraman, K. 2020. Visible light driven photocatalytic activity of ZnO/CuO nanocomposites coupled with rGO heterostructures synthesized by solid-state method for RhB dye degradation. **Arabian Journal of Chemistry** 13(2): 3910-3928.
- Li, B. and Wang, Y. 2010. Facile synthesis and photocatalytic activity of ZnO-CuO nanocomposite. **Superlattices Microstructures** 47(5): 615-623.
- Mukwevho, N., Fosso-Kankeu, E., Waanders, F., Kumar, N., Ray, S.S. and Mbianda, X.Y. 2019. Photocatalytic activity of Gd₂O₃·ZnO-CuO nanocomposite used for the degradation of phenanthrene. **SN Applied Sciences** 1: 10.
- Nabila, M.I. and Kannabiran, K. 2018. Biosynthesis, characterization and antibacterial activity of copper oxide nanoparticles (CuO NPs) from actinomycetes. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 15(1): 56-62.
- Sahu, K. and Kar, A.K. 2019. Morphological, optical, photocatalytic and electrochemical properties of hydrothermally grown ZnO nanoflowers with variation in hydrothermal temperature. **Materials Science in Semiconductor Processing** 104: 104648.

- Sakib, A.A.M., Masum, S.M., Hoinkis, J., Islam, R. and Molla, M.A.I. 2019. Synthesis of CuO/ZnO nanocomposites and their application in photodegradation of toxic textile dye. **Journal of Composites Science** 3(3): 91.
- Shekofteh-Gohari, M., Habibi-Yangjeh, A., Abitorabi, M. and Rouhi, A. 2018. Magnetically separable nanocomposites based on ZnO and their applications in photocatalytic processes: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology** 48(10-12): 806-857.
- Shinde, R.S., More, R.A., Adole, V.A., Koli, P.B., Pawar, T.B., Jagdale, B.S., Desale, B.S. and Sarnikar, Y.P. 2021. Design, fabrication, antitubercular, antibacterial, antifungal and antioxidant study of silver doped ZnO and CuO nano candidates: A comparative pharmacological study. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry** 4: 100138.
- Srikosol, J. and Mekkala, W. 2014. Synthesis of copper oxide nanomaterials by hydrothermal method. **Graduate School Phichayatas** 9: 106-112. (in Thai)
- Sundar, S., Venkatachalam, G. and Kwon, S.J. 2018. Biosynthesis of copper oxide (CuO) nanowires and their use for the electrochemical sensing of dopamine. **Nanomaterials** 8(10): 823.
- Vejjakul, N. 2012. Titanium dioxide with photocatalysis to remove organic compounds in water. **Journal of Materials Technology** 67: 26-30. (in Thai)
- Widiarti, N., Sae, J.K. and Wahyuni, S. 2017. Synthesis CuO-ZnO nanocomposite and its application as an antibacterial agent. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 172: 012036.
- Widiyandari, H., Umiati, N.A.K. and Herdianti, R.D. 2018. Synthesis and photocatalytic property of zinc oxide (ZnO) fine particle using flame spray pyrolysis method. **Journal of Physics** 1025: 012004.
- Yang, D., Ramu, A.G., Lee, Y., Kim, S., Jeon, H., Sathishkumar, V.E., Al-Mohaimeed, A.M., Al-onazi, W.A., Algarni, T. and Choi, D. 2021. Fabrication of ZnO nanorods based gas sensor pattern by photolithography and lift off techniques. **Journal of King Saud University-Science** 33: 101397.
- Yousaf, S., Zulfiqar, S., Din, M.I., Agboola, P.O., Aboud, M.F.A., Warsi, M.F. and Shakir, I. 2021. Solar light irradiated photocatalytic activity of ZnO-NiO/rGO nanocatalyst. **Journal of Materials Research and Technology** 12: 999-1009.

ผลของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อการฟอกฆ่าเชื้อ และการชักนำยอด ของต้นอ่อนกล้วยหอมทองในสภาพปลอดเชื้อ

Effect of Sodium Hypochlorite on Sterilization and Shoot Induction of *In Vitro* Gros Michel

อภิรยา เทพสุคนธ์* ประรณนา หมัดเสน และ บรรจง อุปแก้ว

Apiraya Thepsukhon*, Prathana Meadsen and Bunjong Oupkaew

Received: 29 June 2022, Revised: 7 October 2022, Accepted: 9 November 2022

บทคัดย่อ

กล้วยหอมทองเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย โดยทั่วไปการขยายพันธุ์นิยมการใช้หน่อ และสามารถเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อเพิ่มจำนวนต้นพันธุ์ที่ปลอดโรค และมีความสม่ำเสมอของสายพันธุ์ได้ งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ที่แตกต่างกันต่อการฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของหน่อกล้วยหอมทอง โดยกรรมวิธีที่ 1 NaOCl 10 % ตามด้วย 5 % กรรมวิธีที่ 2 NaOCl 20 % ตามด้วย 10 % และกรรมวิธีที่ 3 NaOCl 30 % ตามด้วย 20 % สำหรับการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของเบนซิลอะดีนีน (BA) ต่อการชักนำการเกิดยอดของต้นอ่อนกล้วยหอมทองบนอาหารสังเคราะห์ Murashige and Skoog (MS) 4 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า NaOCl ความเข้มข้น 30 % ตามด้วย 20 % ให้การรอดชีวิต (100%) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับความเข้มข้น 20 % ตามด้วย 10 % (91.67%) หลังจากเพาะเลี้ยงบนอาหาร MS เป็นเวลา 1 เดือน สำหรับความเข้มข้นของ BA พบว่า การไม่เติม BA ทำให้ต้นอ่อนมีการเจริญเติบโตทางลำต้นดีที่สุด แต่ไม่พบการเกิดยอดรวม หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือน โดยมีความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และความยาวราก 6.60, 5.82, 2.47 และ 11.27 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วน BA ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำการเกิดยอดใหม่ได้สูงที่สุด 4 ยอด หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือน

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช, การฟอกฆ่าเชื้อ, เบนซิลอะดีนีน, การเกิดยอดรวม

ABSTRACT

Musa acuminata cv. Gros Michel is originated from the Southeast Asia region. It is considered as an economically important fruit tree in Thailand. The suckers are commonly used for propagation and plant tissue culture for increasing new pathogen-free plants and genetic uniformity. This research was divided into 2 experiments. The first experiment investigated the effectiveness of different concentrations of sodium hypochlorite on surface sterilization of sucker including treatment 1 10 % NaOCl followed by 5 %, treatment 2 20 % NaOCl followed by 10 % and treatment 3 30 % NaOCl followed by 20 %. The second experiment examined 4 concentration levels of BA at 0, 2.5, 5.0, and 7.5 mg/l. The results revealed that NaOCl at 30% followed by 20% showed no statistically significant difference in survival (100%) compared to NaOCl at 20% followed by 10% (91.67%) after one month of cultivation on MS medium. In experiment 2, at 0 mg/l BA showed the best growth in terms of plant height, leaf length, leaf width, and root length at 6.60, 5.82, 2.47, and 11.27 cm, respectively after three months of cultivation. However, multiple shoot formation was not obtained after culturing for 3 months. The culture medium with 5 mg/l BA could induce multiple shoots, with the observation of four new shoots after culturing for three months.

Key words: *Musa acuminata*, plant tissue culture, sterilization, benzyladenine, multiple shoot induction

บทนำ

กล้วยหอมทอง (*Musa acuminata*) หรือ Gros Michel banana เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีอายุหลายปี จัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย นิยมบริโภคผลกันแพร่หลาย สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย สามารถส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศได้เป็นจำนวนมาก (Silayoi, 2015) โดยในปี 2564 มีปริมาณการส่งออก 7,118.2 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกจำนวน 222.45 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2022) ปกติการปลูกกล้วยจะนิยมใช้หน่อ แต่การจะได้หน่อใหม่เป็นต้นแม่พันธุ์จะต้องใช้ระยะเวลานานในการขยายพันธุ์ และต้องใช้ต้นแม่พันธุ์เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ หน่อใหม่ที่ได้จะมีการเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ จึงประสบปัญหาการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ไม่พร้อมกัน ทำให้ส่งผลต่อการ

จำหน่ายผลผลิตทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้น การใช้ต้นพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะทำให้ได้ต้นใหม่จำนวนมากที่ตรงตามสายพันธุ์ ต้นที่ได้มีความสม่ำเสมอ ปราศจากแมลงศัตรูพืช และโรคพืช (Daungban *et al.*, 2017; Dechpala *et al.*, 2019)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นเทคนิคการขยายพันธุ์พืชแบบไม่อาศัยเพศ โดยการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของพืชมาทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อ ปกติในธรรมชาติส่วนต่าง ๆ ของพืชที่เจริญเติบโตจะมีเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ติดอยู่ที่ผิวของพืชด้วย ดังนั้น ขั้นตอนการฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวของชิ้นส่วน จึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนได้สำเร็จ (Goswami and Handique, 2013) การใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟอกฆ่าเชื้อที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของต้นพันธุ์ และชิ้นส่วนที่จะนำมาฟอกฆ่าเชื้อที่อาจจะมีการ

ปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน (Pirela *et al.*, 2020) ดัชนีพันธุ์ในธรรมชาติที่ปลูกในดินจะมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ มากกว่าดัชนีพันธุ์ปลูกแบบไม่ใช้ดิน (Mahawan *et al.*, 2012) โดยทั่วไปการฟอกฆ่าเชื้อขึ้นส่วนของพืชนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite; NaOCl) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาไม่แพง (Dumani *et al.*, 2007; Zand *et al.*, 2012; Pais *et al.*, 2016) จากการศึกษาการใช้ NaOCl ในการฟอกฆ่าเชื้อของหน่อกล้วยชนิดต่าง ๆ พบว่ามีการใช้ NaOCl ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาในการฟอกที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ NaOCl 30 % แช่ 30 นาที ตามด้วย NaOCl 15 % แช่ 30 นาที (Hannarong, 2013) การใช้ NaOCl 15 % แช่ 20 นาที ตามด้วย NaOCl 5 % แช่ 5 นาที (Sudhanyaratana *et al.*, 2016) และการใช้ NaOCl 10 % แช่ 20 นาที ตามด้วย NaOCl 5 % แช่ 10 นาที (Dechpala *et al.*, 2019) เป็นต้น จากการศึกษาการฟอกฆ่าเชื้อที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่า การใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาในการฟอกฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการปนเปื้อนของขึ้นส่วนที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และอัตราการรอดชีวิตที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งการใช้ความเข้มข้นของ NaOCl ที่เหมาะสมกับขึ้นส่วนของกล้วยแต่ละชนิดจึงจำเป็นต้องมีศึกษาให้แน่ชัด เพื่อไม่ให้ NaOCl ในปริมาณมากเกินไปจนมีความจำเป็น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต

ปัจจุบันสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulator) กลุ่มไซโตไคนินสังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น เบนซิลอะดีนีน (benzyladenine; BA), ไทเดิซุรอน (thidiazuron; TDZ) และ ไคเนติน (kinetin) เป็นต้น นิยมนำมาใช้ในการชักนำการเกิดยอดรวมของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยบทบาทของไซโตไคนินจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของตา

ข้าง และชักนำการเกิดยอดใหม่ได้ดี แต่จะลดการเจริญเติบโตในส่วนของคุณตาเจริญปลายยอด (Jafari *et al.*, 2011) ช่วยในการแบ่งเซลล์และสร้างยอดจากตาข้างได้อย่างรวดเร็ว ช่วยเพิ่มจำนวนยอดและการเจริญของยอด แต่การตอบสนองของไซโตไคนินแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับพันธุ์กรรมของพืชนั้นด้วย (Techapinyawat, 2005) จากการศึกษาชนิดของไซโตไคนินต่อการตอบสนองการเจริญเติบโตของพืชพบว่าการใช้ TDZ จะต้องใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ ส่วนการใช้ BA จะต้องใช้ที่ความเข้มข้นสูง (Gubbuk and Pekmezci, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่า BA ให้การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดีกว่าไซโตไคนินชนิดอื่น (Chuengpanya *et al.*, 2022) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาความเข้มข้นของ NaOCl ที่เหมาะสมในการฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของหน่อกล้วยหอมทอง และความเข้มข้นของ BA ที่แตกต่างกันต่อการชักนำการเกิดยอดของต้นกล้วยหอมทองในสภาพปลอดเชื้อ

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของ NaOCl ต่อการฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของหน่อกล้วยหอมทอง

เก็บตัวอย่างหน่อกล้วยหอมทองจากสวนกล้วยหอมทอง หมู่บ้านแวนโค้ง อ.เชิงคี จ.พะเยา นำหน่อกล้วยหอมทองระยะใบดาบมาล้างทำความสะอาด ลอกกาบใบออก 3-4 กาบใบ นำขึ้นส่วนมาตัดแต่งให้มีความยาวประมาณ 6 เซนติเมตร โดยขึ้นส่วนที่นำไปฟอกต้องเป็นส่วนที่ติดกับลำต้นใต้ดิน ทำการลอกกาบใบออกจนเหลือประมาณ 5 กาบใบ จากนั้นนำมาฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวโดยเตรียมจากสารละลายเข้มข้น NaOCl 10% แล้วนำมาเจือจางตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยกรรมวิธีที่ 1 NaOCl 10 % แช่เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย 5 % แช่เป็นเวลา 10 นาที กรรมวิธีที่ 2 NaOCl 20 % แช่เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย 10 %

เขย่าเป็นเวลา 10 นาที และกรรมวิธีที่ 3 NaOCl 30 % เขย่าเป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย 20 % เขย่าเป็นเวลา 10 นาที โดยทุกขวดเติมสารลดแรงดึงผิว Tween 20 ปริมาตร 100 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิตร แล้วนำมาล้างน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจำนวน 3 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที จากนั้นนำชิ้นส่วนมาตัดแต่งโดยการลอกกาบใบออก 2-3 กาบใบ จนชิ้นส่วนมีขนาดความกว้าง 2 เซนติเมตร และมีความยาว 3 เซนติเมตร ตัดเนื้อเยื่อผ่านจุดเจริญปลายยอดให้ได้ 4 ชิ้นส่วนต่อหน่อ นำแต่ละชิ้นส่วนไปวางเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต วางเลี้ยงในห้องที่มีการควบคุมแสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ นาน 14 ชั่วโมงต่อวัน และควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ชิ้นส่วน เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 1 เดือน ทำการเก็บบันทึกข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนเชื้อรา และ เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของ BA ต่อการชักนำยอดรวมและการเจริญเติบโตของต้น

คัดเลือกต้นอ่อนกล้วยหอมทองที่เพาะเลี้ยงในขวดบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่มีอายุ 2 เดือน มีความสูงประมาณ 3 เซนติเมตร มาเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร วางเลี้ยงในห้องที่มีการควบคุมแสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ นาน 14 ชั่วโมงต่อวัน และควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ชิ้นส่วน เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือน ทำการเก็บ

ข้อมูลความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนใบ ขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก จำนวนราก และจำนวนหน่อ เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 ผลความเข้มข้นของ NaOCl ต่อการฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของหน่อกล้วยหอมทอง

หลังจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนหน่อที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลาย NaOCl ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เป็นเวลา 1 เดือน พบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต และ เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนเชื้อราของชิ้นส่วนที่ศึกษา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียของชิ้นส่วนที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) การใช้สารละลาย NaOCl เข้มข้น 30, 20 และ 10 % เขย่าเป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย สารละลาย NaOCl 20, 10 และ 5 % เขย่าเป็นเวลา 10 นาที ให้การรอดชีวิต 100, 91.67 และ 66.67% และมีการปนเปื้อนของเชื้อราและแบคทีเรีย 0, 8.33 และ 8.33% ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1 (ก)-(ค)) สอดคล้องกับงานทดลองของ Hannarong (2013) ที่ใช้สารละลาย NaOCl 30 % เขย่าเป็นเวลา 30 นาที ตามด้วย สารละลาย NaOCl 15 % เขย่าเป็นเวลา 30 นาที พบการรอดชีวิตของชิ้นส่วนสูงที่สุด เท่ากับ 100% จากการเปรียบเทียบการฟอกฆ่าเชื้อของข้อมันเหน็บด้วยไฮเตอร์ที่มีส่วนประกอบของ NaOCl 6 % พบว่าการใช้ไฮเตอร์ที่ความเข้มข้น 15 % เป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยไฮเตอร์ 10 % เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ชิ้นส่วนมีการรอดชีวิตและปลอดเชื้อ 100 % รองลงมาได้แก่การใช้ไฮเตอร์ที่ความเข้มข้น 10 % เป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยไฮเตอร์ 5 % เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ชิ้นส่วนมีการรอดชีวิตและปลอดเชื้อ 90 %

ตามลำดับ ส่วนการใช้ไฮเตอร์ที่ความเข้มข้น 20 % เป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยไฮเตอร์ 15 % เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ชิ้นส่วนมีปลอดเชื้อ 100 % แต่มีการรอดชีวิตเพียง 30 % (Sookruksawong, 2022) จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ชนิดของชิ้นส่วนพืช ความเข้มข้นของ NaOCl และระยะเวลาที่ใช้ในการฟอกฆ่าเชื้อที่มีผลต่อการรอดชีวิตของชิ้นส่วนและการปลอดเชื้อ การฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนจำนวน 2 ครั้ง จะมีโอกาสทำให้ชิ้นส่วนปลอดเชื้อได้มากขึ้น แต่ควรคำนึงถึงชนิดของชิ้นส่วน เพราะมีความสำคัญในการฟอกฆ่าเชื้อ โดยชิ้นส่วนที่หนาหรือแข็งอาจใช้ความเข้มข้นของ NaOCl ที่สูงและใช้เวลาในการฟอกฆ่าเชื้อมานานได้ ซึ่งความเข้มข้นของ NaOCl ที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและชิ้นส่วน

เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อ NaOCl ที่แตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ NaOCl 30 % เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย NaOCl 20 % เป็นเวลา 10 นาที ในการฟอกฆ่าเชื้อหน่อกล้วยหอมทอง ถือว่าเป็นความเข้มข้นที่สูง แต่เนื่องด้วยลักษณะชิ้นส่วนที่นำมาทำการฟอกฆ่าเชื้อมีโคนกาบใบห่อหุ้มอยู่หนาหลายชั้น จึงไม่ทำลายเนื้อเยื่อและจุดเจริญตาข้างของหน่อกล้วยหอมทอง ทำให้ชิ้นส่วนมีการรอดชีวิตทั้งหมด แต่หากใช้ NaOCl ที่ความเข้มข้นมากกว่า 30 % ก็อาจจะทำให้ได้ชิ้นส่วนที่ปลอดเชื้อได้เช่นกัน แต่อาจเกิดการตายของเนื้อเยื่อชิ้นส่วนที่ฟอกส่งผลให้การรอดชีวิตลดลง นอกจากนี้ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายการฟอกฆ่าเชื้อได้

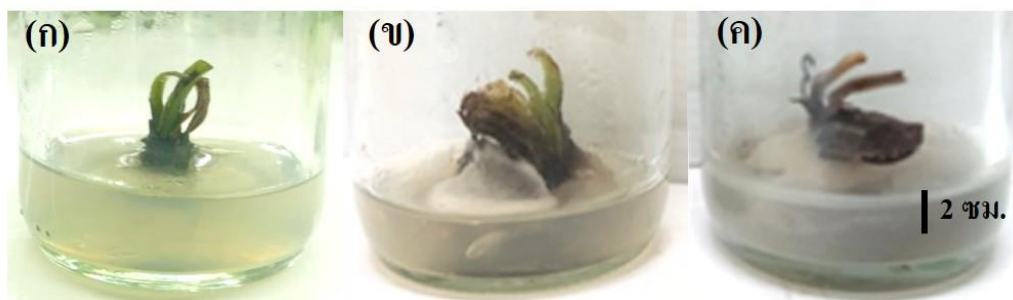
ตารางที่ 1 การรอดชีวิตและการปนเปื้อนของเชื้อรา และแบคทีเรียของชิ้นส่วนกล้วยหอมทองหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ในสภาพปลอดเชื้อเป็นเวลา 1 เดือน

	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของ NaOCl		การรอดชีวิต (%)	การปนเปื้อนของเชื้อรา (%)	การปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย (%)
	(ครั้งที่ 1)	(ครั้งที่ 2)			
T ₁	10	5	66.67 ^b	25.00 ^a	8.33
T ₂	20	10	91.67 ^a	8.33 ^b	0.00
T ₃	30	20	100.00 ^a	0.00 ^c	0.00
F-test			*	*	ns
C.V. (%)			13.69	63.96	20.89

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 1 ลักษณะของชิ้นส่วนหน่อกล้วยหอมทองหลังการเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อเป็นเวลา 1 เดือน
(ก) ชิ้นส่วนที่รอดชีวิต; (ข) ชิ้นส่วนที่มีการปนเปื้อนของเชื้อรา; (ค) ชิ้นส่วนที่มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย

การทดลองที่ 2 ผลของความเข้มข้นของ BA ต่อการชักนำยอดรวม

เมื่อเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนหน่อของต้นกล้วยหอมทองบนอาหารสูตร MS เติม BA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ต้นอ่อนกล้วยหอมทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ปราศจากการเติม BA มีการเจริญเติบโตทางลำต้นดีกว่าอาหารสูตร MS ที่เติม BA ทุกความเข้มข้น (2.5, 5 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไม่ว่าจะเป็นด้านความสูง ความยาวใบ ความกว้างใบ ขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก และจำนวนราก โดยในเดือนที่ 3 ให้ผลการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ ความยาวราก และจำนวนราก เฉลี่ย 12.47, 5.82, 2.47, 11.27 เซนติเมตร และ 13.33 รากตามลำดับ (ตารางที่ 2 และ 3) สอดคล้องกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยหินบนสูตรอาหาร MS ที่ไม่เติม BA ซึ่งพบว่า ต้นอ่อนกล้วยหินมีการเจริญเติบโตและเปอร์เซ็นต์การเกิดราก และจำนวนรากมากที่สุด (Tudses *et al.*, 2019) โดยปกติในธรรมชาติพืชจะมีการสร้างฮอร์โมนขึ้นเองภายในต้นพืช และมีผลต่อการตอบสนองในการเจริญเติบโตและพัฒนาของเซลล์ รวมไปถึงการชักนำการเกิดยอดหรือรากได้ ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างปริมาณฮอร์โมนภายในพืช หากทำการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ลงในอาหารที่เพาะเลี้ยงก็จะส่งผลต่อการตอบสนองและระดับปริมาณฮอร์โมนภายในของพืชด้วยเช่นกัน จึงทำให้พืชสามารถตอบสนองต่อการชักนำการสร้างยอดรวม การเจริญเติบโตของยอดหรือรากได้ (White *et al.*, 2000; Mercier *et al.*, 2003) จากการเติม BA (2.5, 5 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ลงในอาหาร MS พบการเกิดยอดรวมในต้นอ่อนกล้วยหอมทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่มีการเติม BA ทุกระดับความเข้มข้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของ BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการเกิดยอดมากที่สุดเฉลี่ย 4 ยอดต่อต้นอ่อนที่เพาะเลี้ยง รองลงมาได้แก่ BA ความเข้มข้น 2.5 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ย 3 และ 2.33 ยอด ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 2) แต่ผลการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของต้นอ่อนน้อยกว่าต้นอ่อนที่ไม่เติม BA โดยส่วนมากต้นอ่อนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BA มีรากสั้น และจำนวนรากน้อย การเปลี่ยนแปลงของต้นอ่อนในลักษณะนี้เป็นผลมาจากบทบาทของไซโตไคนินที่ชะลอการเจริญของปลายยอด และชักนำการเกิดตาข้าง (Madhulatha *et al.*, 2004) ซึ่งการเจริญเติบโตของต้นและรากของพืชขึ้นอยู่กับความสมดุลของปริมาณออกซิน และไซโตไคนิน หากอัตราส่วนของออกซินต่อไซโตไคนินเหมาะสม เนื้อเยื่อพืชจะเจริญไปเป็นต้นและรากที่สมบูรณ์ หากในรากพืชมีปริมาณไซโต

ไคนินมากเกินไปมีผลยับยั้งการยืดตัวของเซลล์รากได้ (Techapinyawat, 2005) จึงทำให้ต้นอ่อนกล้วยหอมทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติม BA มีการเจริญเติบโตของลำต้น และรากที่ดีกว่าต้นอ่อนกล้วยหอมทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA

จากผลของความเข้มข้นของ BA ที่แตกต่างกันต่อการชักนำการเกิดยอดรวมของต้นอ่อนกล้วยหอมทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS พบว่า BA ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำการเกิดยอดรวมในกล้วยหอมทองได้สูงที่สุดคือ 4 ยอด สอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ BA ต่อการชักนำการเกิดยอดใหม่ในกล้วยหลายชนิด เช่น Selakorn (2016) รายงานว่า การเติม BA ความเข้มข้น 0, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหาร MS ต่อการเพาะเลี้ยงกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน พบว่า การเติม BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำการเกิดยอดรวมสูงสุด 3.00 ยอด โดยให้ความสูงต้น 4.22 เซนติเมตร มีจำนวนใบ 2.4 ใบ มีความกว้างใบ และความยาวใบ 0.62 และ 1.64 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ การเติม BA 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดรวม 1.8 ยอด Boonmee and Te-chato (2007) กล่าวว่า การเติม BA ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรลงในอาหาร MS สามารถชักนำการเกิดยอดรวม

ในกล้วยน้ำว้า ให้จำนวนยอด 2.43 ยอด ให้ความสูงต้น 1.64 เซนติเมตร และให้น้ำหนักสด 0.41 กรัม Yensai and Suraninpong (2014) ศึกษาผลของ BA ต่อการชักนำการเกิดยอดรวมของกล้วยช้างในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า การเติม BA ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอด 5.77 ยอด ให้ความสูงต้น 1.78 เซนติเมตร และให้จำนวนใบ 1.97 ใบ ดังนั้น การใช้ความเข้มข้นของ BA ที่เหมาะสมต่อการชักนำการเกิดยอดใหม่ของต้นอ่อนกล้วยหอมทอง จะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพและจำนวนของต้นอ่อนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์ได้ดีขึ้น ทำให้ได้ต้นพันธุ์ที่แข็งแรง ปลอดโรค เหมาะสำหรับการเพาะปลูกเพื่อการค้า เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีและสม่ำเสมอ และจากการรายงานของ Thanakronpaisan *et al.* (2019) ใช้ BA ร่วมกับไคโตซานในการเพาะเลี้ยงกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน ในอาหารสูตร MS พบว่า การใช้ BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไคโตซาน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นอ่อนมีจำนวนยอด (9.8 ยอด) จำนวนตา (2.25 ตา) และจำนวนราก (2.67 ราก) สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าไคโตซานช่วยกระตุ้นการพัฒนาของยอดและรากได้ ดังนั้น หากนำมาใช้กับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นอ่อนกล้วยหอมทองอาจจะให้ผลสอดคล้องกันซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 2 ความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และจำนวนใบของต้นอ่อนกล้วยหอมทองในสภาพปลอดเชื้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่มีการเติม BA ที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ความเข้มข้น ของ BA (มล./ล.)	ความสูงต้น (ซม.)			ความยาวใบ (ซม.)			ความกว้างใบ (ซม.)			จำนวนใบ (ใบ)		
	เดือน			เดือน			เดือน			เดือน		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	6.60 ^a	11.33 ^a	12.47 ^a	4.21 ^a	4.80 ^a	5.82 ^a	1.65 ^a	2.32 ^a	2.47 ^a	5.00 ^{ab}	6.67	7.33
2.5	3.67 ^b	6.83 ^b	7.37 ^b	3.29 ^b	3.86 ^{ab}	4.24 ^b	1.51 ^{ab}	1.53 ^b	1.61 ^b	5.67 ^a	7.00	8.00
5	4.57 ^b	6.50 ^b	7.03 ^b	2.87 ^b	3.63 ^b	4.37 ^b	1.03 ^b	1.39 ^b	1.70 ^b	4.67 ^b	6.00	6.67
7.5	4.50 ^b	6.17 ^b	6.50 ^b	2.64 ^b	3.93 ^{ab}	4.39 ^b	1.03 ^b	1.57 ^b	1.72 ^b	5.33 ^{ab}	6.00	7.00
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns
C.V. (%)	21.24	27.33	16.22	11.83	13.85	12.01	23.82	15.69	14.15	9.68	19.61	24.55

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

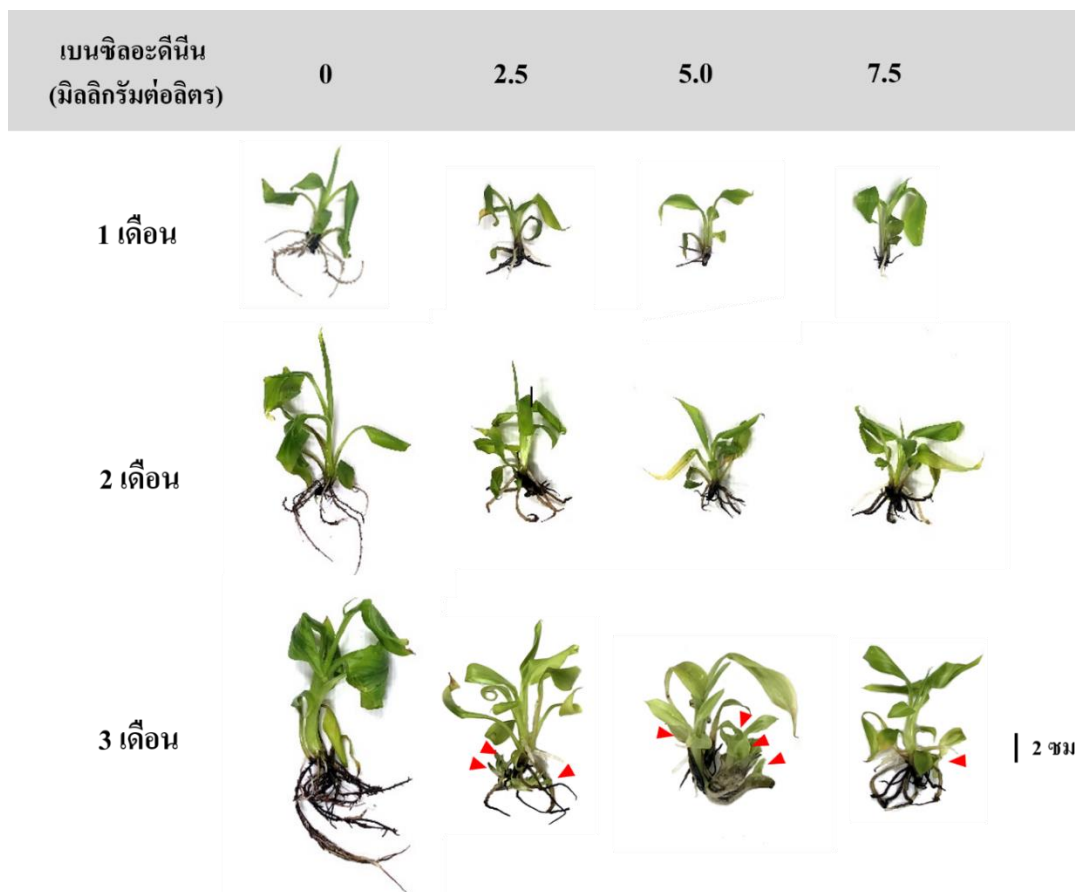
ตารางที่ 3 ความยาวราก จำนวนราก และจำนวนยอดใหม่ของต้นอ่อนกล้วยหอมทองในสภาพปลอดเชื้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่มีการเติม BA ที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 3 เดือน

ความเข้มข้นของ BA (มล./ล.)	ความยาวราก (ซม.)			จำนวนราก (ราก)			จำนวนยอดรวม (ยอด)		
	เดือน			เดือน			เดือน		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	7.67 ^a	10.07 ^a	11.27 ^a	6.00 ^a	9.00	13.33	0.00	0.00	0.00 ^c
2.5	2.67 ^b	4.10 ^b	5.03 ^b	4.67 ^{ab}	9.33	10.33	0.00	0.00	3.00 ^{ab}
5	2.47 ^b	3.50 ^b	3.67 ^b	4.33 ^b	9.67	9.33	0.00	0.00	4.00 ^a
7.5	2.83 ^b	3.50 ^b	3.93 ^b	4.00 ^b	11.00	11.00	0.00	0.00	2.33 ^b
F-test	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	20.40	26.55	16.21	17.19	20.94	22.27	0.00	0.00	52.83

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 2 ต้นอ่อนกล้วยหอมทองในสภาพปลอดเชื้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่มีการเติม BA ที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 1 2 และ 3 เดือน (ลูกศรสีแดง = ยอดใหม่)

สรุป

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl ต่อการฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวของหน่อต้นกล้วยหอมทอง พบว่าความเข้มข้น 20 % เช้าเป็นเวลา 20 นาที ตามด้วยความเข้มข้น 10 % เช้าเป็นเวลา 10 นาที ให้การรอดชีวิตของชิ้นส่วน 91.67% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการฟอกฆ่าเชื้อหน่อกล้วยหอมทอง สำหรับความเข้มข้นของ BA ต่อการชักนำการเกิดยอดรวมของต้นอ่อนกล้วยหอมทองบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS พบว่า BA 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ชักนำการเกิดจำนวนยอดใหม่ได้มากที่สุด 4 ยอด ส่วนสูตรอาหาร MS ที่ปราศจากเติม BA ให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของพืชดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณเพื่อการวิจัยจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี อุปกรณ์และครุภัณฑ์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เอกสารอ้างอิง

- Boonmee, O. and Te-chato, S. 2007. Somaclonal variation in tissue culture of banana cv. 'Kluai Num Wa' [*Musa* (ABB group)]. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 29(Suppl. II): 219-228. (in Thai)

- Chuengpanya, R., Muangkroot, A., Jenjittikul, T., Thammasiri, K., Umpunjun, P., Viboonjun, U. and Chuenboonngarm, N. 2022. *In Vitro* Propagation and Genetic Fidelity Assessment of *Hedychium longicornutum* Griff. ex Baker, a Vulnerable Zingiberaceous Plant of Thailand. **Applied Science and Technology** 22(6): 1-21.
- Daungban, S., Pumisitapon, P. and Topoonyanont, N. 2017. Effects of explants division by cutting, concentrations of TDZ and number of sub-culture cycles on propagation of ‘Kluai Hom Thong’ banana in a temporary immersion bioreactor system. **Thai Journal of Science and Technology** 6(1): 89-99.
- Dechpala, P., Pithayawutwinit, T. and Pensuk, V. 2019. Effect of coconut water and BA on shoot induction of *Musa* (ABB group) ‘Namwa Mali-Ong’ cultured in vitro. **Journal of Agricultural Production** 1(1): 69-76. (in Thai)
- Dumani, A., Yoldas, O., Isci, A.S., Köksal, F., Kayar, B. and Polat, E. 2007. Disinfection of artificially contaminated resilon cones with chlorhexidine and sodium hypochlorite at different time exposures. **Journal of Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology** 103(3): 82-85.
- Goswami, N.K. and Handique, P.J. 2013. In Vitro sterilization protocol for micropropagation of *Musa* (AAA group) ‘Amritsagar’ *Musa* (AAB group) ‘Malbhog’ and *Musa* (AAB group) ‘Chenichampa’ Banana. **Indian Journal of Applied Research** 3(6): 51-54.
- Gubbuk, H. and Pekmezci, M. 2006. *In vitro* propagation of banana (*Musa* spp.) using thidiazuron and activated charcoal. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science** 56(1): 65-69.
- Hannarong, N. 2013. **Banana Propagation by Tissue Culture**. New Knowledge. Available Source: http://www.ppsf.doe.go.th/web_km/index_km.html, March 20, 2022. (in Thai)
- Jafari, N., Othman, R.Y. and Khalid, N. 2011. Effect of benzylaminopurine (BAP) pulsing on *in vitro* shoot multiplication of *Musa acuminata* (banana) cv. Berangan. **African Journal of Biotechnology** 10(13): 2446-2450.
- Madhulatha, P., Anbalagan, M., Sayachandran, J. and Sakthivel, N. 2004. Influence of liquid pulse treatment with growth regulators on *in vitro* propagation of banana (*Musa* spp. AAA). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture** 76(2): 189-192.
- Mahawan, T., Kacwsuralikhi, C. and Pongchawee, K. 2012. Effect of sodium hypochlorite on surface sterilization of Little Star *Pogostemon helferi* Hook. f., pp. 375-383. *In the proceedings of the 50th Kasetsart university: Animal, Veterinary Medicine, Fisher conference*. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Mercier, H., Souza, B.M., Kraus, J.E., Hamasaki, R.M. and Sotta, B. 2003. Endogenous auxin and cytokinin contents associated with shoot formation in leaves of pineapple cultured *in vitro*. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 15(2): 107-112.
- Murashige, T. and Skoog, F. 1962. A revised medium for growth and bioassays with tobacco tissue. **Physiologia Plantarum** 15(3): 473-497.

- Office of Agricultural Economics. 2022. **Kluai hom**. Production. Available Source: <http://mis-app.oae.go.th/product/kluaihom>, August 18, 2022. (in Thai)
- Pais, A.K., Silva, A.P., Souza, J.C., Teixeira, S.L., Ribeiro, J.M., Peixoto, A.R. and Paz, C.D. 2016. Sodium hypochlorite sterilization of culture medium in micropropagation of *Gerbera hybrida* cv. Essandre. **African Journal of Biotechnology** 15(36): 1995-1998.
- Pirela, C.M., Maggiolo, S. and Yévenes, I. 2020. Determination of sodium hypochlorite concentrations in the activation of the irritant by passive technique with ultrasonic, during the ex vivo endodontic protocol. **International journal of interdisciplinary dentistry** 13(3): 132-134.
- Selakorn, O. 2016. Propagation of banana {Musa (ABB group) Namwa Mali-Ong} through tissue culture, pp 193-198. **In Proceeding of the 14th Naresuan Agriculture**. Phitsanulok, Thailand. (in Thai)
- Silayoi, B. 2015. **Banana**. 4th ed. Kasetsart University Press., Bangkok. (in Thai)
- Sookruksawong, S. 2022. Sterilization and Low-Cost Tissue Culture Techniques of *Dioscorea bulbifera*, pp 1-8. **In Proceeding of the 10th Plant Genetic Conservation Project Under the Royal Initiation of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn**. Nakhon Si Thammarat, Thailand. (in Thai)
- Sudhanyaratana, N., Aoki, S. and Rattana, K. 2016. Tissue culture and the analysis of ploidy stability of *Musa* (ABB) ‘Namwa Mali-Ong’.
- SUD Research Journal Sciences and Technology** 9(3): 1-14. (in Thai)
- Techapinyawat, S. 2005. **Plant Physiology**. 4th ed. Chamchuree Products CO., LTD., Bangkok. (in Thai)
- Thanakronpaisan, K., Kongbangkerd, A., Premjet, S. and Premjet, D. 2019. Effect of BA and chitosan on *In vitro* Growth of *Musa* (ABB Group) ‘Kluai Namwa Mali-Ong’. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology** 24(1): 1-6.
- Tudses, N., Phungbunhan, K. and Audta, L. 2019. Effects of BA and NAA on growth and development of *Musa sapientum* (ABB group) cv ‘Kluai Hin’ in vitro and effects of substrate on growth in vivo. **King Mongkut's Agricultural Journal** 37(2): 262-273. (in Thai)
- White, C.N., Proebsting, W.M., Hedden, P. and Rivin, C.J. 2000. Gibberellins and seed development in maize I. Evidence that gibberellin/abscisic acid balance governs germination versus maturation pathways. **Plant Physiol** 122(4): 1081-1088.
- Yensai, P. and Suraninpong, P. 2014. Effect of benzyladenine and thidiazuron on multiple shoot induction in “Kluai Chang” *In Vitro*. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(Suppl. III): 157-161. (in Thai)
- Zand, V., Salem-Milani, A., Shahi, S., Akhi, M.T. and Vazifekhah, S. 2012. Efficacy of different concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine in disinfection of contaminated Resilon cones. **Medicina Oral, Patologia Oral, Cirugia Bucal** 17(2): 352-355.

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของขยะพลาสติกบนหาดทราย 3 หาด ในจังหวัดระยอง

Size Relationships of Plastic Debris on 3 Sandy Beaches in Rayong Province

พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์* กชกร อมาตยกุล และ วริศรา สุรภักดิ์

Puntip Wisespongpan*, Kochakorn Amatayakul and Warissara Surapakdee

Received: 15 April 2022, Revised: 20 November 2022, Accepted: 28 December 2022

บทคัดย่อ

หาดทรายเป็นพื้นที่รองรับขยะจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ และจากการพัดพาโดยคลื่นลมและกระแสน้ำ โดยขยะพลาสติกเป็นขยะกลุ่มหลักที่มีการสะสมบนชายหาด สามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามขนาดที่แตกต่าง คือ macroplastic : MAP (>25 มิลลิเมตร) mesoplastic : MEP (5-25 มิลลิเมตร) large microplastic : LMP (1-5 มิลลิเมตร) และ small microplastic : SMP (<1 มิลลิเมตร) ในการศึกษาครั้งนี้ได้หาปริมาณขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ ที่พบในเขตน้ำขึ้นน้ำลง 2 เขตบนหาดทราย 3 หาดจากจังหวัดระยอง ได้แก่ หาดอ่าวมะขามป้อม หาดสวนสน และหาดมาบตาพุด พบว่าแต่ละพื้นที่ที่มีปริมาณขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยขยะพลาสติกกลุ่ม MAP, MEP และ SMP พบมากที่สุดในหาดอ่าวมะขามป้อม มีรูปแบบหลักเป็นพลาสติกที่แตกหักและเส้นใย ในขณะที่ขยะพลาสติกกลุ่ม LMP พบมากที่สุดที่หาดมาบตาพุด ส่วนใหญ่เป็นเม็ดพลาสติกประเภท polypropylene สิ่งที่น่าสนใจ คือ ขยะ LMP ที่มีรูปแบบเส้นใยส่วนใหญ่เป็นประเภท polyethylene จึงน่าจะมีที่มาจากอวนและเชือก ในขณะที่ขยะ SMP ที่มีรูปแบบเส้นใยส่วนใหญ่เป็นประเภท cotton ผสม rayon หรือ nylon จึงน่าจะมาจากเสื้อผ้าและหลอดมระหว่างซักผ้า การศึกษานี้พบความสัมพันธ์ระหว่าง MAP และ SMP ($r = 0.642$) ในหาดทรายทั้ง 3 หาด และในหาดสวนสนพบความสัมพันธ์ระหว่าง MEP และ LMP ($r = 0.719$) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างขยะพลาสติกขนาดใหญ่และไมโครพลาสติกนั้น อาจใช้ในการคาดคะเนการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหาดทรายได้ง่ายและรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไมโครพลาสติกในตะกอนทรายและในกระเพาะปูหนุมาน (*Matuta victor*) ($r = 0.882$) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ปูหนุมานเป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหาดทรายได้

คำสำคัญ: ขยะทะเล, พลาสติก, ไมโครพลาสติก, หาดทราย, ระยอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Department of Marine Science, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): ffisptp@ku.ac.th

ABSTRACT

Sandy beaches are hotspots for accumulation of marine debris from direct human activities as well as those transported by the wind and currents. Plastic is the most common type of debris found on beaches, and this plastic debris can be divided into 4 different size classes: macroplastic (MAP, >25 mm), mesoplastic (MEP, 5-25 mm), large microplastic (LMP, 1-5 mm), and small microplastic (SMP, <1 mm). In this study, we analyzed the amount of plastic debris in the intertidal zone of 3 beaches in Rayong Province: Ao Makhampom, Suanson and Maptaphut. The results showed that different areas had significantly different amounts of plastic debris ($p < 0.05$). The greatest amount of MAP, MEP and SMP was found on Ao Makhampom beach; most of which were fragments and fibers. LMP, however, were most commonly found on Maptaphut beach; most of them were polypropylene pellets. Interestingly, the vast majority of fiber type -LMPs were polyethylene and were likely from fishing nets and ropes. On the other hand, most of fiber type-SMPs were made of cotton blended with other synthetic polymers, rayon and nylon. These small fibers were perhaps from clothing and laundry activities. The relationships between MAP and SMP ($r = 0.642$) on all 3 beaches, and between MEP and LMP ($r = 0.719$) for Suanson beach were found. Such relationship between large plastic debris and microplastics could be used for rapid prediction of microplastic contamination on sandy beaches. In addition, a correlation was found between the microplastic content in sand sediments and in stomach of moon crab (*Matuta victor*) ($r = 0.882$), indicating the possibility of using moon crab as a bioindicator of contamination of microplastics on sandy beaches.

Key words: marine debris, plastic, microplastic, sandy beach, Rayong

บทนำ

ขยะทะเล (marine debris) เป็นหนึ่งในปัญหามลพิษทางทะเลที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมทางทะเลตั้งแต่ระดับประเทศ ระดับภูมิภาค ไปจนถึงระดับโลก (GESAMP, 2015; UNEP, 2016) นอกจากนี้ประเทศไทยยังถูกจัดให้เป็นผู้ทิ้งขยะลงสู่ทะเลอันดับ 6 ของโลก (Jambeck *et al.*, 2015) โดยขยะพลาสติกถือว่าเป็นขยะที่มีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มขยะทะเลทั้งหมดบนโลก (Derraik, 2002; Li *et al.*, 2016) ขยะทะเลในประเทศไทยที่ถูกทิ้งในอันดับต้น ๆ ก็ล้วนแต่เป็นขยะพลาสติก เช่น ขวดพลาสติก ถุงพลาสติก โฟม ห่อบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ และเศษพลาสติก (Department of Marine and Coastal

Resources, 2022) ขยะพลาสติกเป็นขยะที่ย่อยสลายได้ยาก เมื่อลงสู่ทะเลแล้วส่วนใหญ่สามารถแตกหักเป็นขนาดที่แตกต่างกันไปจนถึงขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ ไมโครพลาสติก ขยะพลาสติกขนาดใหญ่และไมโครพลาสติกส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลมากมาย ทั้งจากการกินเข้าไปหรือพันเกี่ยวบนลำตัว และจากพิษที่มาจากสารเติมแต่งต่าง ๆ โดยเฉพาะไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กซึ่งยากต่อการรวบรวมและกำจัด และยังแพร่กระจายพบทั้งในน้ำทะเล ตะกอน และในสิ่งมีชีวิต รวมทั้งแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างตั้งแต่ชายฝั่งไปจนถึงทะเลลึก ไมโครพลาสติกส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล เช่น ขัดขวาง

ทางเดินอาหาร ทำให้บริโภคอาหารได้น้อยลง ลดภูมิคุ้มกัน ส่งผลต่อระบบการเจริญเติบโตและระบบสืบพันธุ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายทางชีวภาพและโครงสร้างของประชาคมในระบบนิเวศทางทะเล นอกจากนี้ไมโครพลาสติกยังสามารถดูดซับ ปลดปล่อย และเคลื่อนย้ายสารพิษจากสิ่งแวดล้อม เช่น PCBs โลหะหนัก รวมทั้งเชื้อโรคต่าง ๆ ด้วย (Derraik, 2002; Browne *et al.*, 2011; Cole *et al.*, 2011; GESAMP, 2015; Li *et al.*, 2016; Auta *et al.*, 2017) และในขณะนี้มีรายงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงผลกระทบของไมโครพลาสติกที่มีต่อมนุษย์โดยตรงด้วย (Campanale *et al.*, 2020) นอกจากนี้ปัญหาขยะทะเลยังส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยว รวมทั้งผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคมอีกมากมาย (UNEP, 2016)

ขยะพลาสติกส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากแผ่นดิน โดยเฉพาะจากการทิ้งโดยชุมชนอุตสาหกรรมต่าง ๆ กิจกรรมประมง และกิจกรรมการท่องเที่ยว จากนั้นไหลตามแม่น้ำหรือถูกพัดพาโดยคลื่นลมกระแสน้ำ สุดท้ายลงสู่ทะเล และมักจะไปรวมตัวอยู่ตามหาดทราย การใช้ประโยชน์ของมนุษย์ที่แตกต่างกันบริเวณชายฝั่งทะเล ส่งผลให้หาดทรายเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่มีการสะสมและปนเปื้อนของขยะพลาสติกมากที่สุด (Barnes *et al.*, 2009; Browne *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2016; Bozzeda *et al.*, 2021) ขยะพลาสติกที่มากสะสมบนหาดทรายส่วนใหญ่ย่อยสลายได้ยาก มักแตกหักเป็นขนาดเล็กด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น คลื่นลม แสงอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ ความชื้น และจุลชีพ (Barnes *et al.*, 2009) ทำให้ขยะพลาสติกมีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดมากกว่า 25 มิลลิเมตร (macroplastic) ขนาด 5-25 มิลลิเมตร (mesoplastic) ขนาด 1-5 มิลลิเมตร (large microplastic) และขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร (small microplastic) (Lee *et al.*,

2015; Bozzeda *et al.*, 2021) พลาสติกที่แตกหักเหล่านี้จะสะสมตัวอยู่ในตะกอนทราย ซึ่งมีขนาดเล็กยิ่งมีความเป็นพิษ ยิ่งดูดซับสารพิษจากสิ่งแวดล้อมยังสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตมากขึ้น และยังเก็บรวบรวมได้ยาก (Browne *et al.*, 2013; Heo *et al.*, 2013) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่บ่งชี้ว่าไมโครพลาสติกที่สะสมในหาดทรายสามารถส่งผ่านไปสะสมในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนหาดทราย เช่น ไข่เดือนทะเล ปูลม และจักจั่นทะเล (Browne *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2019; Horn *et al.*, 2019)

การศึกษาขยะพลาสติกส่วนใหญ่ให้ความสนใจไมโครพลาสติกมากที่สุด เนื่องจากความเป็นพิษที่สามารถถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหารมายังมนุษย์ได้ แต่การศึกษาไมโครพลาสติกซึ่งยากที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ ต้องมีขั้นตอนการแยกจากตะกอนทรายหรือสิ่งมีชีวิต การสกัดส่วนที่เป็นอินทรีย์สารออก และที่สำคัญ คือ มีการปนเปื้อนในระหว่างขั้นตอนได้ง่าย ในขณะที่การศึกษาพลาสติกขนาดใหญ่ที่แตกหักใช้เพียงตะแกรงร่อน และสามารถใช้ตาเปล่าในการคัดแยกได้ ซึ่งไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ก็มาจากการแตกหักของพลาสติกขนาดใหญ่ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมุ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ บนหาดทราย 3 หาดในจังหวัดระยองที่มีการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์แตกต่างกัน โดยศึกษาปริมาณ รูปร่าง สี ขนาด และชนิดของโพลิเมอร์ และที่สำคัญ คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลาสติกขนาดใหญ่และไมโครพลาสติก ซึ่งจะทำให้สามารถระบุหาดทรายที่มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่ซับซ้อน และคนในท้องถิ่นก็สามารถดำเนินการได้เอง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของไมโครพลาสติกในตะกอนทรายและในปูหนุมานที่พบได้ในหาดทราย เพื่อพัฒนา

หนูมานในการเป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อน (bioindicators) ของไมโครพลาสติกจากสิ่งมีชีวิตที่พบในหาดทราย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ลักษณะของหาดทรายที่ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างและการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์

ศึกษาชนิด ปริมาณ และการแพร่กระจายของขยะทะเลรวมและขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ บนหาดทราย 3 หาดในจังหวัดระยอง (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นหาดที่มีขนาดตะกอนทราย ความลาดชัน และคลื่นลมแตกต่างกัน รวมทั้งมีการเข้าใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ (ภาพที่ 2)

1) หาดอ่าวมะขามป้อม (N 12°38'38" E; 101°38'46") เป็นหาดทรายแบบผสมขนาดใหญ่ ด้านเหนือของอ่าวเป็นหาดทรายปนเลน ความลาดชันต่ำ คลื่นลมน้อย ส่วนด้านใต้ของอ่าวเป็นหาดทรายละเอียด มีความลาดชันปานกลาง คลื่นลมน้อย มีการใช้ประโยชน์เป็นท่าเทียบเรือท่องเที่ยว ท่าเทียบเรือประมงพื้นบ้าน หมู่บ้านชาวประมง ชุมชนบ้านเรือนตลอดแนวหาด แต่นักท่องเที่ยวน้อย

2) หาดสวนสน (N 12°37'59"; E 101°28'39") เป็นหาดทรายละเอียดตอนบน ตอนล่างเป็นทรายปนเลน มีความลาดชันต่ำ คลื่นลมน้อย มีการใช้ประโยชน์หลักในการท่องเที่ยว บนชายหาดมีเตียงผ้าใบและนักท่องเที่ยวจำนวนมาก มีบ้านพัก ร้านอาหาร และท่าเทียบเรือประมงพื้นบ้าน

3) หาดมาบตาพุด ตั้งอยู่บริเวณชุมชนประมงบ้านตากวน-อ่าวประดู่ (N 12°40'15"; E 101°09'35") เป็น หาดทรายตอนบนเป็นทรายละเอียด ตอนกลางเป็นทรายหยาบ ความลาดชันสูง คลื่นลมค่อนข้างแรง มีการใช้ประโยชน์ในด้านประมงเป็นหลัก มีเรือประมงพื้นบ้าน ชุมชนบ้านเรือนที่อยู่อาศัย และนักท่องเที่ยวน้อย สิ่งที่แตกต่างกันจากอีกสองหาดที่ทำการศึกษา คือ มีนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

2. การกำหนดจุดสำรวจและเก็บตัวอย่างขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ

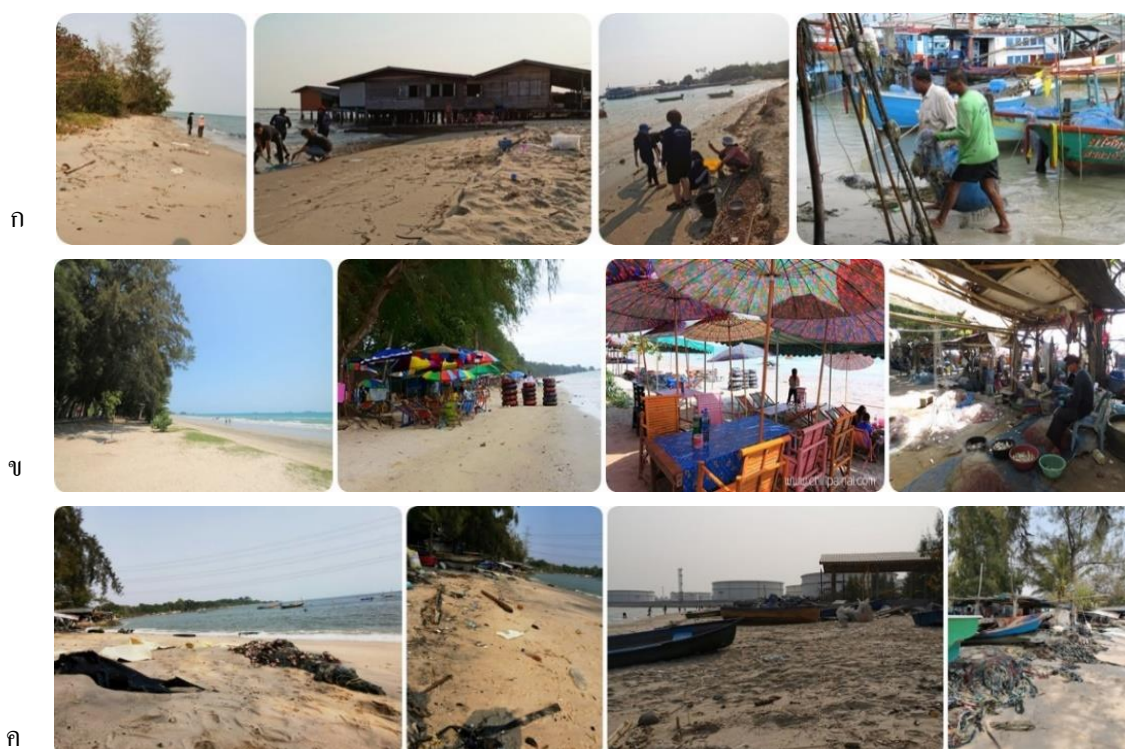
วางแผนเก็บตัวอย่าง (line transect) แต่ละหาดทรายเป็น 2 แนว ซึ่งเป็นแนวที่มีการสะสมตัวของขยะทะเล คือ ตอนบนหาดในเขตนํ้าขึ้นสูงสุด และแนวสูงสุดที่เป็นแนวซัดของคลื่นในเขตนํ้าขึ้นน้ำลง ซึ่งทั้งสองแนวห่างกันประมาณ 3 เมตร แต่ละแนวทำการเก็บตัวอย่าง 5 จุด แต่ละจุดห่างกัน 20 เมตร ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างขยะพลาสติกในแต่ละหาดรวม 10 จุดเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 3)

3. การศึกษาชนิด ปริมาณ และรูปแบบของขยะทะเลรวมและขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ

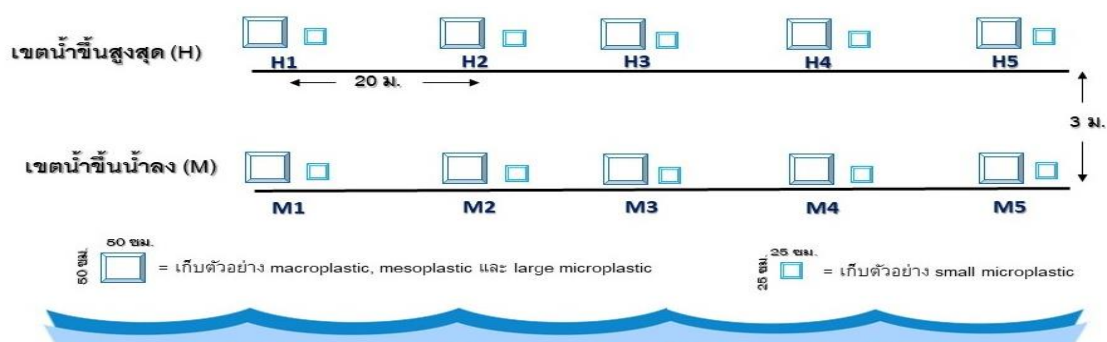
3.1 ศึกษาขยะทะเลรวมกำหนดพื้นที่ขนาด 5x5 เมตรในแต่ละจุดสำรวจนับจำนวนและแยกประเภทขยะทะเลทั้งหมดที่พบบนหาดทรายแต่ละหาดโดยแบ่งเป็น 4 รูปแบบหลัก คือ พลาสติก โฟม เส้นใย และอื่น ๆ (ขวดแก้ว ยาง เหล็ก) ชั่งน้ำหนักรวมของขยะทะเลทั้งหมด และคำนวณปริมาณเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร



ภาพที่ 1 ที่ตั้งของหาดทรายที่สำรวจและเก็บตัวอย่างขยะพลาสติกในจังหวัดระยอง ได้แก่ หาดมามาตพุด หาดสวนสน และหาดอ่าวมะขามป้อม



ภาพที่ 2 ลักษณะทั่วไปและการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์ที่แตกต่างกันในหาดทราย 3 หาด ในจังหวัดระยอง ได้แก่ หาดอ่าวมะขามป้อม (ก) หาดสวนสน (ข) และหาดมามาตพุด (ค)



ภาพที่ 3 การวางแผนสำรวจและเก็บตัวอย่างขยะพลาสติกแบ่งเป็น 2 แนว คือ เขตน้ำขึ้นสูงสุด และเขตน้ำขึ้นต่ำลง แต่ละเขตทำการเก็บตัวอย่าง 5 จุดเก็บตัวอย่าง

3.2 ศึกษาขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ วาง quadrat ขนาด 50 x 50 เซนติเมตรในแต่ละจุดสำรวจ และเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 3) จากนั้นชุดทรายลงไปลึกประมาณ 10 เซนติเมตร ร่อนทรายผ่านตะแกรงร่อนขนาด 25, 5 และ 1 มิลลิเมตร จำแนกขยะพลาสติกออกเป็น 3 ขนาด ตามวิธีของ Lee *et al.* (2015) คือ macroplastics (MAP) มีขนาดใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตร mesoplastic (MEP) มีขนาดระหว่าง 5-25 มิลลิเมตร และ large microplastics (LMP) มีขนาดระหว่าง 1-5 มิลลิเมตร คัดแยกขยะพลาสติกที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด นำไปจำแนกเป็นรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ intact (เม็ดพลาสติก, เม็ดโฟม) fragment (เศษถุงพลาสติก เศษขวดพลาสติก ชิ้นส่วนพลาสติกที่แตกหัก) foam (ฟองลอย ก้อนโฟม) fiber (เส้น เชือก อวน เส้นใยเส้นผ่า) ชั่งน้ำหนักพลาสติกแต่ละขนาด คำนวณปริมาณเป็นกรัมต่อตารางเมตร

3.3 การศึกษาไมโครพลาสติกกลุ่ม small microplastic (SMP) ในตะกอนทรายใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจาก Besley *et al.* (2017) ศึกษาขยะ SMP ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร โดยวาง quadrat ขนาด 25x25 เซนติเมตรในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 3) ใช้พลั่วขุดลงไปลึกประมาณ 5 เซนติเมตร นำตะกอนทรายมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักแห้งที่ได้ จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร แล้วชั่งทรายที่ผ่านตะแกรงมา 50 กรัม เติมน้ำเกลือเข้มข้น 200 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยเครื่อง magnetic stirrer เป็นเวลา 5 นาที ปิดฟอยล์ แล้ววางทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ที่มีขนาดรูพรุน 1.2 ไมครอน วางส่วนที่กรองแล้วทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงแล้วนำมากรองซ้ำอีกครั้ง นำกระดาษกรองไปส่องด้วยกล้องสเตอริโอ นับจำนวน วัดขนาด จำแนกสี และจำแนกรูปแบบของขยะ SMP เป็น 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ เส้นใย (fiber) แผ่นฟิล์ม (film) ชิ้นส่วนขนาด

เล็กที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (fragment) คำนวณปริมาณ SMP เป็นจำนวนชิ้นต่อตารางเมตร ทั้งนี้การวิเคราะห์ SMP ในการศึกษาที่มีการควบคุมการปนเปื้อนจากห้องปฏิบัติการ โดยการใช้น้ำ milli-Q มีการกรองสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ ใช้ฝาปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ และเก็บตัวอย่างในกล่องที่มีฝาปิดตลอดเวลา เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากอากาศ

3.4 การศึกษาไมโครพลาสติกกลุ่ม SMP ในปูหนูมาน ใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจาก Kühn *et al.* (2017) โดยเก็บตัวอย่างปูหนูมาน (*Matuta victor*) ซึ่งเป็นปูชนิดเด่นที่พบบริเวณหาดสวนสนจำนวน 10 ตัว วัดขนาดและชั่งน้ำหนัก จากนั้นผ่าเอาส่วนกระเพาะแยกออกมา นำส่วนกระเพาะไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยการเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% ลงไป 180 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1% อีก 20 มิลลิลิตร จากนั้นคนด้วยแท่งแก้วคนสารอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที และวางทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองบนกระดาษกรอง GF/C เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกในตะกอนทราย นับจำนวน วัดขนาด จำแนกสี และรูปแบบของขยะ SMP เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ SMP ในตะกอนทราย คำนวณปริมาณ SMP ในปูหนูมานเป็นจำนวนชิ้นต่อตัว

3.5 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณระหว่างขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ ทั้ง 4 กลุ่มและในปูหนูมาน ด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson correlation (r) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

4. การวิเคราะห์ประเภทของโพลีเมอร์พลาสติกด้วยวิธี Infrared Spectroscopy

ทำการตรวจสอบประเภทของโพลีเมอร์ในพลาสติกแต่ละขนาด เพื่อยืนยันการเป็นพลาสติกและ

ประเมินแหล่งที่มาด้วย FT-IR spectrometer (Perkin Elmer : Spectrum Two) โดยทำการศึกษาที่ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น (wave number) ระหว่าง 400-4000 cm^{-1} สุ่มตัวอย่างจากพลาสติกขนาดต่าง ๆ ที่มีขนาดสี่ และรูปร่างแตกต่างกันมาตรวจวัดประมาณ 30% ของตัวอย่างทั้งหมด เปรียบเทียบสเปกตรัมที่ได้กับ Reference spectra ของโพลีเมอร์พลาสติกประเภทต่าง ๆ ด้วยซอฟต์แวร์ Spectrum Touch™ ของเครื่อง FT-IR spectrometer

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติกกลุ่มต่าง ๆ แสดงด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนพลาสติกขนาดต่าง ๆ ระหว่างหาดทรายแต่ละหาด โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ โดยการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธี Tukey Post-Hoc test ความสัมพันธ์ระหว่างพลาสติกแต่ละขนาด ทดสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson correlation (r) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistic Standard V.27

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ปริมาณ รูปแบบ ประเภทโพลีเมอร์ และแหล่งที่มาของขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ

1.1 ขยะทะเลรวม

การใช้ประโยชน์พื้นที่หาดทรายโดยมนุษย์ที่แตกต่างกัน เช่น เป็นชุมชนบ้านเรือนที่อยู่อาศัย เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีกิจการบ้านพักและรีสอร์ท เป็นท่าเทียบเรือประมงพื้นบ้าน ตลอดจนเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม ทำให้หาดทรายแต่ละแห่งมีการปนเปื้อนของขยะทะเลที่แตกต่างกัน (Browne *et al.*,

2011; Li *et al.*, 2016; Pransilpa *et al.*, 2016; Bantiwivatkul *et al.*, 2018; Bozzeda *et al.*, 2021; Wangritthikrakun *et al.*, 2021) จากการศึกษาพบว่าหาดทราย 3 แห่งที่มีการใช้ประโยชน์โดยมนุษย์แตกต่างกันใน จ.ระยอง (ภาพที่ 2) มีปริมาณและรูปแบบของขยะทะเลรวมและขยะพลาสติกแต่ละขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1) โดยขยะทะเลรวมส่วนใหญ่มีรูปแบบหลัก คือ พลาสติกที่แตกหัก (ขวดน้ำ แก้วน้ำ กล่องเครื่องดื่ม ฝาขวดน้ำ) โฟม (กล่องโฟม ฟันลอย) และเส้นใย (อวนและเชือก) ซึ่งล้วนแต่ผลิตมาจากพลาสติก ดังนั้น ขยะพลาสติกจึงเป็นขยะทะเลกลุ่มหลักที่พบในหาดทราย 3 หาดใน จ.ระยอง (ภาพที่ 4 ก) โดยหาดอ่าวมะขามป้อมมีปริมาณขยะทะเลรวมมากที่สุด (0.90 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ในขณะที่หาดสวนสนมีปริมาณขยะทะเลรวมน้อยที่สุด (0.15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) (ตารางที่ 1)

ความแตกต่างของการใช้ประโยชน์หาดทรายทำให้ปริมาณขยะทะเลมีความแตกต่างกัน โดยหาดสวนสนเป็นแหล่งท่องเที่ยว จึงมีการรักษาทัศนียภาพในการจัดการเรื่องขยะ เช่น ไม่ทิ้งขยะลงบนชายหาด มีการเก็บขยะที่ถูกพัดพาโดยหน่วยงานท้องถิ่นทุกวัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาขยะทะเลบริเวณอุทยานแห่งชาติเขาแหลมหญ้า-เกาะเสม็ด ซึ่งผู้วิจัยได้สะท้อนให้เห็นว่าจำนวนนักท่องเที่ยวไม่สะท้อนปริมาณขยะได้อย่างแท้จริง โดยจำนวนขยะบนหาดที่มีการท่องเที่ยวน้อย กลับมีปริมาณขยะมากกว่าบริเวณที่มีการท่องเที่ยวหนาแน่น (Houbnarin *et al.*, 2018) ในขณะที่หาดอ่าวมะขามป้อมซึ่งเป็นหาดขนาดใหญ่มีนักท่องเที่ยวไม่มากนัก และนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เดินทางไปเที่ยวตามเกาะต่าง ๆ มากกว่าแต่มีขยะจำนวนมากที่เป็นของอุปโภคบริโภค จึงน่าจะมาจากชุมชนบ้านเรือนจำนวนมากในบริเวณอ่าวมะขามป้อม ซึ่งมี

การตั้งบ้านเรือนลงไปในพื้นที่หาดด้วย (ภาพที่ 2ก) ส่วนหาดมาบตาพุดมีชุมชนชาวประมงอยู่ตลอดแนวหาด และมีการนำกองอวนและเชือกขนาดใหญ่ที่ไม่ใช้งานแล้ว มาถมเป็นเขื่อนกันการทลายของฝั่ง (ภาพที่ 2ค) จึงพบขยะที่เป็นเศษอวนและเชือกจำนวนมาก (ภาพที่ 4ก) นอกจากปริมาณขยะทะเลจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาแล้ว ยังมีความสัมพันธ์ในทางตรงกับสภาพอากาศ ความเร็ว และทิศทางลม (Bantiwivatkul *et al.*, 2018) และช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณขยะเข้ามาสะสมบริเวณชายหาดมากขึ้นเนื่องจากขยะส่วนใหญ่มาพร้อมน้ำหลาก (Houbnarin *et al.*, 2018)

1.2 ขยะพลาสติกกลุ่ม MAP, MEP และ LMP

ขยะพลาสติกที่สะสมอยู่บนหาดทรายมักมีการแตกหักเป็นขนาดต่าง ๆ ด้วยอิทธิพลของแสงแดด อุณหภูมิ รังสียูวี คลื่นลม รวมทั้งจุลชีพ (Andrady, 2011; Barnes *et al.*, 2009) โดยขยะพลาสติกกลุ่ม MAP, MEP และ LMP เป็นกลุ่มพลาสติกที่ยังสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ขนาด 1-25 มิลลิเมตร) โดยพบว่าหาดทรายทั้ง 3 หาด และในเขตน้ำขึ้นน้ำลง 2 เขต มีปริมาณขยะพลาสติกกลุ่ม MAP และ LMP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นขยะกลุ่ม MEP ที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยขยะพลาสติกทั้ง 3 กลุ่มพบในเขตน้ำขึ้นสูงสุดมากกว่าเขตน้ำขึ้นน้ำลง (ตารางที่ 1 และ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Heo *et al.* (2013) ที่รายงานว่า ขยะพลาสติกขนาดเล็กมักสะสมในบริเวณตอนบนของหาดในเขตน้ำขึ้นสูงสุดมากกว่าในเขตตอนบนของเขตน้ำขึ้นน้ำลง

ขยะพลาสติกกลุ่ม MAP พบมากที่สุด ในหาดอ่าวมะขามป้อม (9.53 กรัมต่อตารางเมตร) (ตารางที่ 1) ส่วนใหญ่มีรูปแบบเป็น fragment (70.20%) ได้แก่ เศษถุงพลาสติก ขวดและภาชนะพลาสติกที่แตกหัก และเศษโฟมที่เป็นฟุ่นลอย (ภาพ

ที่ 4ข และ 6ก) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกประเภท polyethylene, polypropylene และ polystyrene (ตารางที่ 3) จึงสันนิษฐานว่าแหล่งที่มา คือ ชุมชนการท่องเที่ยว และการประมง ในขณะที่ในเขตน้ำขึ้นน้ำลงใน หาดสวนสนและหาดมาบตาพุดทั้งหมดเป็นขยะรูปแบบ fiber (100%) (ภาพที่ 6ก) และเป็นโพลิเมอร์ประเภท polyethylene และ nylon (ตารางที่ 3) จึงสันนิษฐานว่ามาจากเศษอวนและเชือกที่มาจากท่าเทียบเรือประมงพื้นบ้าน ซึ่งเป็นอาชีพหลักของชุมชนสองพื้นที่นี้ (ภาพที่ 2ข และ 2ค) ขยะพลาสติกที่พบในหาดทรายทั้ง 3 หาดนี้มีรูปแบบและแหล่งที่มาคล้ายคลึงกับที่พบบนหาดแหลมแม่พิมพ์ จ.ระยอง ที่ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกแข็งและเส้นใย และมีแหล่งที่มาจากกิจกรรมชายฝั่ง การพักผ่อน และกิจกรรมทางการประมง (Pransilpa *et al.*, 2016) และคล้ายคลึงกับบริเวณหาดทรายรีสวี่ จ.ชุมพร ที่มีรายงานว่าขยะส่วนใหญ่เป็นประเภทโฟม มีแหล่งที่มาจากกิจกรรมชายฝั่งการพักผ่อน และกิจกรรมทางการประมงเช่นกัน (Bantiwivatkul *et al.*, 2018)

ขยะพลาสติกกลุ่ม MEP ในหาดทรายทั้ง 3 หาดมีปริมาณแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่างจากพลาสติกกลุ่มอื่น ๆ โดยมีปริมาณระหว่าง 0.38-1.55 กรัมต่อตารางเมตร (ตารางที่ 1) ส่วนใหญ่เป็นรูปแบบ fragment ที่มาจากการแตกหักของพลาสติก ซึ่งมีสีสันทันหลากหลาย (ภาพที่ 4ค และ ภาพที่ 5ก) ส่วนใหญ่เป็นโพลิเมอร์ประเภท polyethylene, polyethylene plasticized #2, polypropylene, nylon และ poly (carbonate urethane) เป็นต้น (ตารางที่ 3) ขยะพลาสติกกลุ่ม MEP น่าจะมาจากการแตกหักของขยะพลาสติกกลุ่ม MAP

ขยะพลาสติกกลุ่ม LMP ซึ่งถือว่าเป็นไมโครพลาสติกขนาดใหญ่ (1-5 มม.) พบในหาดมาบตาพุดในเขตน้ำขึ้นสูงสุด (6.40 กรัมต่อตารางเมตร) สูงกว่า

หาดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) โดยรูปแบบของขยะพลาสติกกลุ่ม LMP ที่น่าสนใจที่สุดในการศึกษานี้ คือ เม็ดพลาสติก (plastic pellet) ประเภท polypropylene (ภาพที่ 4ง, 5ข และ ตารางที่ 3) ซึ่งพบเฉพาะสถานีหาดมาตาพุดทั้งเขตน้าขึ้นน้ำลงและน้ำขึ้นสูงสุด (ภาพที่ 6ค) โดยพบแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างตามแนวรอยคลื่นซัดของเขตน้าขึ้นสูงสุดบนหาดมาตาพุด (ภาพที่ 5ค) ซึ่งสันนิษฐานว่าแหล่งที่มา คือ โรงงานผลิตเม็ดพลาสติกที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาตาพุด ซึ่งอยู่ติดกับหาดมาตาพุดที่ทำการศึกษานี้ (ภาพที่ 2ค) เม็ดพลาสติกจัดเป็นไมโครพลาสติกปฐมภูมิ มีความแข็งและเหนียว ยากต่อการย่อยสลาย เม็ดพลาสติกเหล่านี้อาจถูกบริโภคโดยสัตว์บก เช่น เป็ดไก่ที่มีการเลี้ยงในบริเวณนั้น หรือถ้าถูกพัดพาไปในน้ำก็จะถูกกินโดยนกและสัตว์ทะเลต่าง ๆ ได้ และจะได้รับพิษจากเม็ดพลาสติก เช่นเดียวกับไมโครพลาสติก และถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารด้วย (Karlsson *et al.*, 2018) เม็ดพลาสติกยังสามารถดูดซับสารกลุ่ม POPs สูงกว่าในน้ำทะเลถึง 10^7 เท่า (Koelmans *et al.*, 2016) นอกจากนั้นยังมีรายงานการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่า เม็ดพลาสติกมักแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้าง โดยมีเม็ดพลาสติก

ปริมาณมหาศาลที่ล่องลอยไปรอบ ๆ บริเวณแหล่งต้นกำเนิด ซึ่งมาจากการรั่วไหลของเม็ดพลาสติกจากกระบวนการผลิต ขนส่ง เก็บรักษา นำไปใช้ประโยชน์ และการทำความสะอาดโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ซึ่งการปนเปื้อนไม่ได้มีเฉพาะชายหาดในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงาน แต่ยังถูกพัดพาไปยังชายหาดที่อยู่ห่างไกล ดังนั้น มาตรการในการป้องกันการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติกทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติควรอยู่ในระดับสูงและเร่งด่วน (Karlsson *et al.*, 2018) นอกจากนั้นยังพบว่ารูปแบบของขยะพลาสติกกลุ่ม LMP ที่พบบนหาดสวนสนเป็นรูปแบบโฟมประเภท poly (carbonate urethane) ที่แตกหัก ซึ่งมาจากทุ่นลอยที่ใช้ในการทำประมง และในหาดอ่าวมะขามป้อมมีหลายรูปแบบทั้งที่เป็นเศษพลาสติกที่แตกหักและเศษเม็ดโฟมที่เป็นเม็ดเดี่ยว ๆ (ภาพที่ 4ง และ 6ค)

มีรายงานการศึกษาขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ ในประเทศเกาหลีใต้ โดยพบขยะพลาสติกกลุ่ม LMP และ MEP เป็นรูปแบบโฟม (styrofoam) กว่า 90 % ซึ่งมีแหล่งที่มาจากทุ่นลอยที่ใช้ในการทำประมง โฟมที่เป็นทุ่นลอยมักแตกหักได้ง่ายกลายเป็นขยะกลุ่ม MEP และ LMP ได้ ส่วนกลุ่ม MAP ส่วนใหญ่เป็นประเภทเส้นใย (Lee *et al.*, 2015)

ตารางที่ 1 ปริมาณขยะทะเลรวมและขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ 4 กลุ่มบนหาดทราย 3 หาดใน จ.ระยอง

สถานีเก็บตัวอย่าง	ขยะพลาสติก				
	ขยะทะเลรวม (กก./ตร.ม.)	Macroplastic (MAP) (กรัมต่อตาราง เมตร)	Mesoplastic (MEP) (กรัมต่อตาราง เมตร)	Large microplastic (LMP) (กรัมต่อตาราง เมตร)	Small microplastic (SMP) (ชิ้นต่อตารางเมตร)
หาดอ่าว	0.90±0.45 ^a	9.53±8.62 ^a	1.55±3.42 ^{ns}	0.31±0.30 ^b	379.22±19.91 ^a
หาดสวนสน	0.15±0.06 ^b	2.59±3.03 ^b	0.38±0.69 ^{ns}	0.12±0.22 ^b	336.00±165.76 ^a
หาดมาตาพุด	0.45±0.09 ^{ab}	2.24±3.54 ^b	0.89±1.24 ^{ns}	3.24±4.89 ^a	142.47±0.53 ^b

* ตัวอักษร a, b ในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ns = แตกต่างอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 ปริมาณขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ ในเขตน้ำขึ้นน้ำลงที่แตกต่างกันบนหาดทราย 3 หาดใน จ.ระยอง

สถานีเก็บ ตัวอย่าง	เขตน้ำขึ้นน้ำลง	Macroplastic (MAP) (กรัมต่อตาราง เมตร)	Mesoplastic (MEP) (กรัมต่อตาราง เมตร)	Large microplastic (LMP) (กรัมต่อตาราง เมตร)	Small microplastic (SMP) (ชิ้นต่อตารางเมตร)
หาดอ่าว	เขตน้ำขึ้นสูงสุด	13.19±9.88 ^a	2.83±4.70 ^{ns}	0.36±0.30 ^b	416.00±228.25 ^a
มะขามป้อม	เขตน้ำขึ้นน้ำลง	5.88±6.01 ^{ab}	0.27±0.40 ^{ns}	0.26±0.32 ^b	342.42±30.92 ^{ab}
หาดสวนสน	เขตน้ำขึ้นสูงสุด	4.52±3.02 ^{ab}	0.44±0.73 ^{ns}	0.13±0.27 ^b	432.00±168.95 ^a
	เขตน้ำขึ้นน้ำลง	0.67±1.50 ^b	0.33±0.74 ^{ns}	0.11±0.19 ^b	240.00±101.19 ^{ab}
หาดมาบตาพุด	เขตน้ำขึ้นสูงสุด	4.35±4.13 ^{ab}	1.70±1.36 ^{ns}	6.40±5.37 ^a	185.67±6.40 ^{ab}
	เขตน้ำขึ้นน้ำลง	0.13±0.30 ^b	0.09±0.10 ^{ns}	0.08±0.11 ^b	99.22±6.29 ^b

* ตัวอักษร a, b ในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ns = แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4 ขยะทะเลที่พบในหาดทราย 3 หาดในจังหวัดระยอง ก. ขยะทะเลรวม ข. ขยะพลาสติกกลุ่ม macroplastic ค. ขยะพลาสติกกลุ่ม mesoplastic ง. ขยะพลาสติก กลุ่ม large microplastic



ภาพที่ 5 ก. รูปแบบของขยะพลาสติกกลุ่ม MEP ที่ส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนที่แตกหัก (fragment) และมีหลากสี

ข. รูปแบบของขยะพลาสติกกลุ่ม LMP ที่น่าสนใจคือ รูปแบบที่ไม่บุบสลาย (intact) คือ เม็ดพลาสติก (plastic pellet) ซึ่งพบแพร่กระจายเป็นแนวยาวตามรอยซัดของคลื่นในเขตน้ำขึ้นสูงสุด (ค)

1.3 ขยะไมโครพลาสติกกลุ่ม SMP ในตะกอนทราย

ไมโครพลาสติกเป็นขยะพลาสติกขนาดเล็กที่มีการศึกษามากที่สุด ด้วยขนาดที่เล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ยากต่อการเก็บรวบรวม และความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล รวมทั้งสามารถส่งผ่านมายังมนุษย์ผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ผลการศึกษาพบว่า ไมโครพลาสติกขนาดเล็กกลุ่ม SMP (<1 มิลลิเมตร) ในตะกอนทรายของหาดทราย 3 หาดใน จ.ระยอง และระหว่างเขตน้ำขึ้นสูงสุดและเขตน้ำขึ้นน้ำลง มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1 และ 2) และส่วนใหญ่มีรูปแบบ fiber (82.96-99.00%) (ภาพที่ 6ง) โดยในหาดอ่าวมะขามป้อมส่วนใหญ่เป็นเส้นใยสีแดง (58.42%) ในหาดสวนสนส่วนใหญ่เป็นเส้นใยสีขาว (33.04%) และเส้นใยสีน้ำเงินพบในปริมาณสูงสุดในหาดมาบตาพุด (50.98%) (ภาพที่ 7ก และ 8ก) ซึ่งแหล่งที่มาของขยะพลาสติกกลุ่ม SMP เหล่านี้น่าจะมาจากอวนและเชือก แต่จากการศึกษาโพลิเมอร์พบว่ากลุ่ม SMP ส่วนใหญ่เป็นประเภท cotton ผสม rayon, elastan หรือ nylon (ตารางที่ 3) ซึ่งน่าจะเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตเสื้อผ้า แสดงว่า SMP ที่เป็นเส้นใยในการศึกษานี้น่าจะมาจากน้ำทิ้งจากการซักเสื้อผ้าของชุมชนและรีสอร์ตท่องเที่ยวต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่เศษผ้าที่มาจากจากการซักผ้าก็เป็นแหล่งที่มาของไมโครพลาสติก

ประเภทเส้นใยได้เช่นเดียวกัน (GESAMP, 2015) โดยมีรายงานว่าเสื้อผ้าต่าง ๆ สามารถผลิตเส้นใยได้มากกว่า 1,900 ชิ้นต่อการซัก แสดงให้เห็นถึงปริมาณของไมโครพลาสติกประเภทเส้นใยจำนวนมากที่มาจากจากการซักเสื้อผ้า (Browne *et al.*, 2011)

สิ่งที่น่าสนใจคือ ขยะไมโครพลาสติกกลุ่ม LMP ที่เป็นไมโครพลาสติกขนาดใหญ่และมีรูปแบบเส้นใย มีแหล่งที่มาแตกต่างจาก SMP โดยส่วนใหญ่กลุ่ม LMP เป็นเส้นใยที่เป็นโพลิเมอร์ polyethylene ที่เป็นส่วนประกอบของอวนและเชือกที่เป็นเครื่องมือประมง ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเป็นเส้นใยที่เกิดจากการผูกของอวนหรือเชือก ซึ่งอวนและเชือกมีกระบวนการผลิตในการตีเกลียวถักทอ มีขนาดใหญ่ มีความแข็งแรงกว่า จึงต้องใช้เวลายาวนานในการแตกหักมากกว่าเส้นใยที่มาจากเสื้อผ้า

แหล่งที่มาของไมโครพลาสติกบนหาดทรายในประเทศไทยส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการประมง เช่น บริเวณหาดแหลมสมิหลา จังหวัดสงขลา หาดทรายรีศรี จังหวัดชุมพร และหาดแหลมสนอ่อน จังหวัดสงขลา พบ ไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นรูปแบบเส้นใย ที่มาจากการชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพของเครื่องมือประมง (Wangritthikrakun *et al.*, 2021; Maneechot *et al.*, 2018; Akkajit and Ruamkaew, 2019) ซึ่งคล้ายคลึงกับพื้นที่การศึกษานี้ ซึ่งทั้ง 3 หาดมีทำขึ้นอวนปูและอวนสัตว์น้ำ (ภาพที่

2) ทั้งนี้รูปแบบของไมโครพลาสติกที่มาจากกิจกรรมประมงยังขึ้นอยู่กับประเภทของการทำประมง เช่น ในเกาหลีใต้พบขยะไมโครพลาสติกเป็นรูปแบบชิ้นส่วนไร้รูปแบบถึง 96% ซึ่งมาจากการใช้โฟมและฟองน้ำเทียมในการเพาะเลี้ยงหอยนางรมและสาหร่ายเป็นปริมาณมาก (Lee *et al.*, 2015) นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังพบไมโครพลาสติกที่มีรูปแบบชิ้นส่วนไร้รูปแบบด้วย (ภาพที่ 7ข) โดยมีการพบโพลิเมอร์ประเภท 5% poly (ethylene terephthalate) (ตารางที่ 3) ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของขวดน้ำดื่มแบบ PET จึงสันนิษฐานว่าแหล่งที่มาน่าจะมาจากกิจกรรมการท่องเที่ยว

นอกจากการใช้ประโยชน์บนหาดทรายโดยมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น การทำประมง การท่องเที่ยว ชุมชนบ้านเรือน ที่มีผลต่อปริมาณไมโครพลาสติกแตกต่างกันแล้ว ปัจจัยที่มาจากธรรมชาติก็ยังมีผลต่อปริมาณไมโครพลาสติก เช่น คลื่นลม กระแสน้ำ ลักษณะรูปร่างหาดทราย และการพัดพามากับน้ำหลาก จากรายงานการศึกษาไมโครพลาสติกบริเวณหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต มีไมโครพลาสติกรูปแบบเส้นใย น้อยกว่ารูปแบบชิ้นส่วนไร้รูปแบบ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของชายหาดที่มีคลื่นลมแรง (Akkajit and Ruamkaew, 2019) และยังมีรายงานการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่าไมโครพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูงมักจะฝังอยู่ในหาดทรายที่มีความลาดชันสูงได้ลึกกว่าและพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ มักลอยตัวไปตามแนวคลื่นหรือฝั่งตัวโดยแรงคลื่น (Kerpen *et al.*, 2020) นอกจากนี้ ขนาด ความหนาแน่น และสี ล้วนมีผลต่อความเป็นพิษของไมโครพลาสติก ขนาดของไมโครพลาสติกยังสามารถบอกได้ว่ายิ่งขนาดเล็กยิ่งปนเปื้อนอยู่ในสิ่งมีชีวิตในส่วนต้นของห่วงโซ่อาหาร ยิ่งขนาดเล็กยิ่งดูดซับสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้ดี พลาสติกที่มีอายุมากมักจะมีสีคล้ำและมีแนวโน้มที่จะมีความเข้มข้น

ของสารพิษปนเปื้อนในไมโครพลาสติกมากกว่าพลาสติกที่มีสีคล้ำน้อยกว่าด้วย เป็นต้น (Cole *et al.*, 2011; GESAMP, 2015; Auta *et al.*, 2017)

1.4 ขยะไมโครพลาสติกกลุ่ม SMP ในปูหนุมาน

ปัญหาสำคัญของไมโครพลาสติก คือ การถ่ายทอดความเป็นพิษไปตามห่วงโซ่อาหารไปยังสิ่งมีชีวิตในทะเลและในที่สุดมายังมนุษย์ ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตบนหาดทราย มีพฤติกรรมการกินโดยวิธีการเก็บกินอินทรีย์สารในตะกอนทราย (deposit feeder) และเป็นสิ่งมีชีวิตที่ขุดรูอาศัยอยู่ในตะกอนทราย จึงทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะมีการสะสมไมโครพลาสติกไว้ในตัวสูงมาก การศึกษานี้จึงทำการศึกษาไมโครพลาสติกกลุ่ม SMP ในปูหนุมาน (*M. victor*) ที่เคลื่อนที่ขึ้นลงตามน้ำขึ้นน้ำลงในหาดสวนสนพบว่าไมโครพลาสติกส่วนใหญ่มีรูปแบบเส้นใย (99%) เช่นเดียวกับที่พบในตะกอนทราย และส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน (ภาพที่ 7ก และ 8ข) ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Wisespongpan *et al.* (2020) ที่พบว่าไมโครพลาสติกที่พบในปูที่เป็นอาหาร เช่น ปูม้า ปูทะเล มีรูปแบบเป็นเส้นใยและมีสีฟ้า ซึ่งคาดว่าแหล่งที่มาน่าจะมาจากอวนในลอนที่ใช้ในการทำประมงอวนจมปู ซึ่งมักมีสีน้ำเงินอ่อน

มีรายงานการศึกษาว่าปูหลากหลายชนิดในหาดทรายมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก เช่น ปูลม (*Ocypode quadrata*) ที่พบไมโครพลาสติกหลักรูปแบบเส้นใยมีสีฟ้าและดำ (Costa *et al.*, 2019) คล้ายคลึงกับที่พบในปูหนุมานในหาดสวนสนที่ทำการศึกษานี้ และในจักจั่นทะเล (*Emerita analoga*) พบไมโครพลาสติกที่คาดว่ามีการสะสมผ่านทางห่วงโซ่อาหารไปยังปลาและนกในหาดทรายด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่าการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในตะกอนทรายชายฝั่ง แสดงถึงความเสี่ยงของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นที่อาจจะกลืนกินไมโครพลาสติก ซึ่งไม่เพียงแต่มีความ

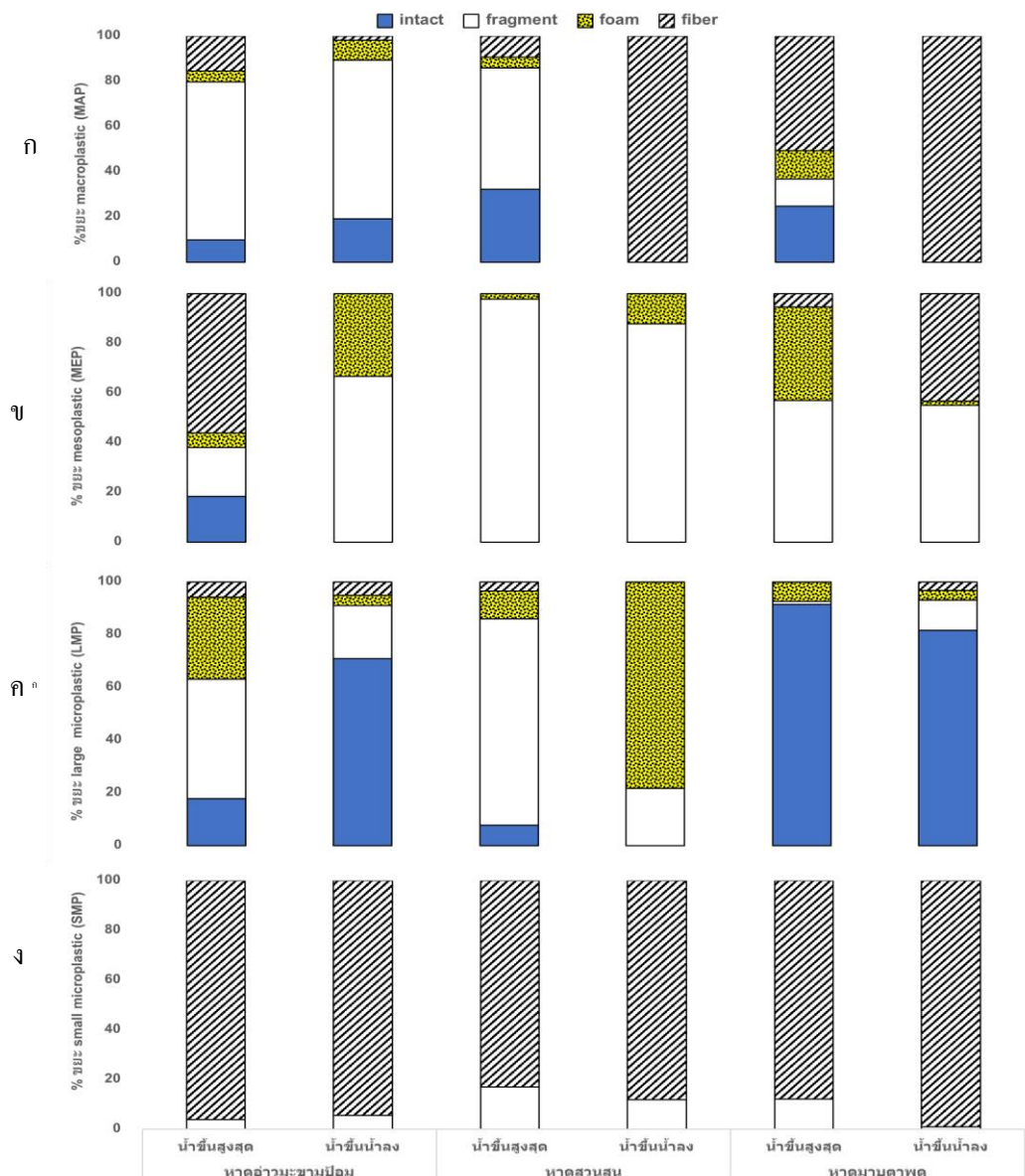
เสี่ยงต่อความหลากหลายทางชีวภาพ แต่ยังรวมถึง การเปลี่ยนแปลงของการถ่ายทอดพลังงานในสายใยอาหารด้วย (Horn *et al.*, 2019)

2. ประเภทโพลิเมอร์พลาสติกขนาดต่าง ๆ

การศึกษานี้พบว่าพลาสติกกลุ่มต่าง ๆ ที่พบในแต่ละหาคามีโพลิเมอร์ที่หลากหลายมาก (ตารางที่ 3) โดยกลุ่มโพลิเมอร์หลักที่พบเป็นประเภท polyethylene และ polypropylene ซึ่งเป็นวัสดุหลักในการผลิตถุง ขวด ท่อน้ำ ถัง และหลอด แต่ยังพบพลาสติกที่เป็นโพลิเมอร์ผสมและโพลิเมอร์ประเภทอื่น ๆ รวมทั้งสารเติมแต่ง (plasticizer) ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตโพลิเมอร์พลาสติกอีกหลายชนิด โดยกลุ่ม LMP มีความหลากหลายของโพลิเมอร์มากที่สุด และกลุ่ม SMP มี รูปแบบเป็นเส้นใยและเป็นโพลิเมอร์กลุ่ม cotton ผสมเส้นใยพลาสติกหลายประเภท เช่น rayon, nylon, elastan และ fabric polyethylene (ตารางที่ 3) ซึ่งหมายความว่าไมโครพลาสติกเหล่านี้น่าจะมาจากน้ำทิ้งจากการซักเสื้อผ้า ซึ่งกำลังเป็นแหล่งของไมโครพลาสติกที่ควรจับตามอง

เนื่องจากกิจกรรมการซักเสื้อผ้ามาจากทุกครัวเรือน และทุกกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของมนุษย์

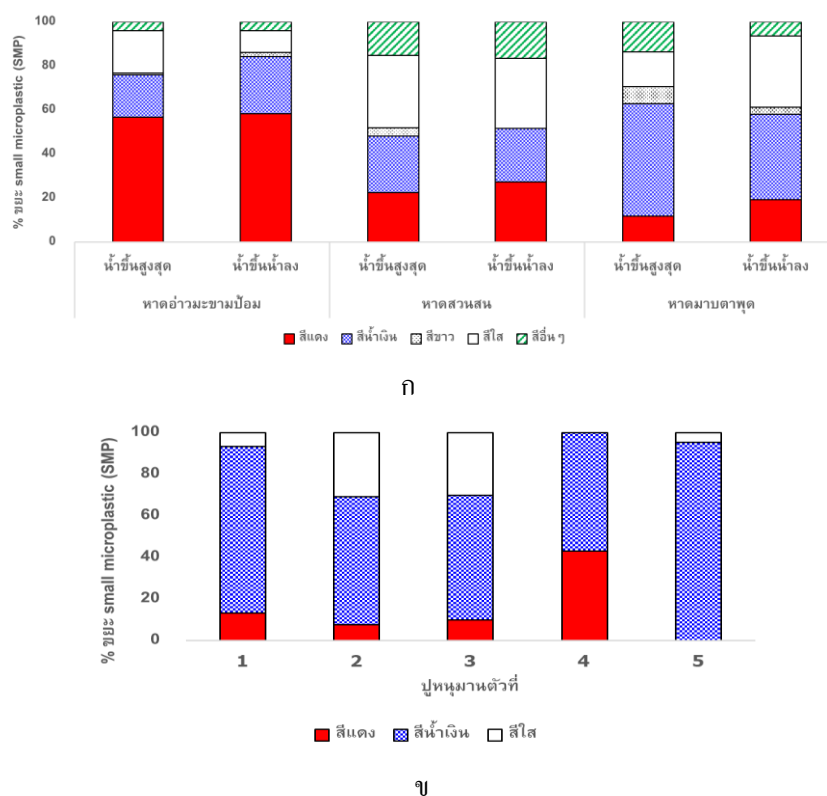
หาคทรายที่มีการปนเปื้อนของขยะขนาดต่าง ๆ มากที่สุด คือ หาคอ่าวมะขามป้อม ก็พบชนิดของโพลิเมอร์ที่หลากหลาย (ตารางที่ 3) สะท้อนให้เห็นถึงแหล่งที่มาของพลาสติกที่น่าจะมาจากหลายแหล่ง ความน่าสนใจในเรื่องของความหลากหลายของโพลิเมอร์พลาสติกที่ปนเปื้อนในหาคทราย สะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการผลิตพลาสติกในปัจจุบันนี้ ที่มีการใช้โพลิเมอร์ดัดแปลงและส่วนประกอบเติมแต่งมากมาย ซึ่งน่าจะส่งผลให้ยังมีสารปนเปื้อนมากขึ้น ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตก็จะยิ่งมากขึ้น (Sangrajrang *et al.*, 2013) และที่สำคัญความหลากหลายของโพลิเมอร์ คือ ปัญหาต่อกระบวนการกำจัดหรือการแยกประเภทก่อนนำไปรีไซเคิล ดังนั้นการแก้ปัญหาขยะพลาสติกควรแก้ไขตั้งแต่ต้นทางการผลิต คือ การจำกัดชนิดของวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกรวมทั้งสารเติมแต่งต่าง ๆ ให้มีความหลากหลายลดลง



ภาพที่ 6 ร้อยละของรูปแบบต่างๆ ของขยะพลาสติกขนาดต่างๆ ก. กลุ่ม Macroplastic (MAP) ข. กลุ่ม Mesoplastic (MEP) ค. กลุ่ม Large microplastic (LMP) และ ง. กลุ่ม Small microplastic (SMP)



ภาพที่ 7 ขยะพลาสติกกลุ่ม Small microplastic (SMP) ที่พบในตะกอนทรายส่วนใหญ่เป็นประเภทเส้นใย (ก) และเศษแตกหัก (ข) และที่พบในปูหนุมานส่วนใหญ่เป็นประเภทเส้นใย (ค)



ภาพที่ 8 ร้อยละของสีของขยะกลุ่ม Small microplastic (SMP) ที่พบในตะกอนทราย (ก) และในปูหนุมาน (ข)

ตารางที่ 3 ประเภทของโพลิเมอร์ที่พบในขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ บนหาดทราย 3 หาดในจังหวัดระยอง

กลุ่มพลาสติก	หาดทราย	ประเภทโพลิเมอร์
Macroplastic	หาดอ่าวมะขามป้อม	polyethylene plasticized #2, polyethylenimine, poly (styrene-co-divinylbenzene), thymolphthalein, polypropylene, polypropylene+poly (ethylene:propylene)
	หาดสวนสน	poly (ethylene:propylene:diene), polypropylene+poly (ethylene:propylene), poly (styrene-co-divinylbenzene), thymolphthalein, polypropylene+poly (ethylene:propylene), polypropylene
	หาดมาบตาพุด	polyethylene medium density, thymolphthalein, poly (dimer acid-co-alkyl polyamine), nylon > 90% cotton, polypropylene waxes
Mesoplastic	หาดอ่าวมะขามป้อม	polyethylene medium density (2), polyethylene plasticized #2, polypropylene+poly (ethylene:propylene), poly (styrene-co-divinylbenzene), thymolphthalein, polyethylenimine
	หาดสวนสน	polypropylene, polyethylene, thymolphthalein
	หาดมาบตาพุด	nylon > 90% cotton, poly (carbonate urethane), thymolphthalein, polyethylene (3)
Large microplastic	หาดอ่าวมะขามป้อม	Polyethylene wax: low density, polyethylene medium density (3), polyethylene, polypropylene + poly (ethylene:propylene), rubber fiber, polyethylene plasticizer #2, poly (carbonate urethane), poly (propylene:ethylene), novolen
	หาดสวนสน	color masterbatch polypropylene + white pi, polyethylene plasticized #2 (3), polyethylene medium density, (3)
	หาดมาบตาพุด	polyethylene plasticized #2, polyethylene medium density (3), poly (carbonate urethane), poly (styrene-co-divinylbenzene), polypropylene (3), polymer of 2,2,4,4_tetramethyl-7-oxa-3, 20-d, nylon > 90% cotton

ตารางที่ 3 (ต่อ)

กลุ่มพลาสติก	หาคทราย	ประเภทโพลิเมอร์
Small microplastic	หาคอ้วมะขามป้อม	cotton fiber+rayon 95% elastan 5%, cotton 80%, cotton 33% rayon 49% nylon 16% elastan, cotton fiber, cotton
	หาคสวนสน	cotton, cotton/rayon/acrylic, poly (ethylene terephthalate), fabric poly (ethylene terephthalate), cotton, agave (2), cotton 33% rayon 49% nylon, 16% elastan, cotton+polyester
	หาคมาบตาพุด	cotton/rayon/acrylic, cotton 33% rayon 49% nylon 16% elastan, nylon

3. ความสัมพันธ์ของขนาดของขยะพลาสติกในตะกอนทรายและในปูหนุมาน

การศึกษาขยะพลาสติกที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในรูปของไมโครพลาสติก เนื่องจากความเป็นพิษของไมโครพลาสติกซึ่งยังมีขนาดเล็กจะมียังมีความเป็นพิษเพิ่มขึ้น และยังสามารถถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหารมายังมนุษย์ อย่างไรก็ตามขั้นตอนการศึกษาไมโครพลาสติก ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ มีขั้นตอนในการแยกและกำจัดอินทรีย์สารต่าง ๆ หลายขั้นตอน มีการใช้อุปกรณ์และสารเคมีจำนวนมาก ต้องมีข้อระวังในการปนเปื้อนสูง และต้องใช้เวลาในการศึกษามาก ดังนั้น ถ้าปริมาณขยะพลาสติกกลุ่มที่สามารถมองเห็นได้ไม่ว่าจะเป็น MAP, MEP หรือ LMP มีความสัมพันธ์กับปริมาณขยะไมโครพลาสติกกลุ่ม SMP ก็อาจจะนำมาใช้ในการประเมินระดับการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น การจัดการแก้ปัญหาพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระดับสูง ก็จะทำให้ได้เร็วขึ้น

ในการศึกษานี้พบความสัมพันธ์ในระดับสูงระหว่างขยะพลาสติกกลุ่ม MEP กับ LMP ($r = 0.719$) ที่พบในหาคสวนสน ซึ่งขยะทั้งสองกลุ่มมีรูปแบบหลักเป็น fragment และ foam โดยที่โฟมที่แตกหักเป็นขนาด

เล็ก ๆ และเป็นเม็ดโฟม จะจัดไว้ในกลุ่ม fragment ในขณะที่หาคอ้วมะขามป้อมก็พบความสัมพันธ์ระหว่างขยะพลาสติกกลุ่ม MEP กับ LMP ($r=0.550$) ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีรูปแบบหลักเป็น fragment ส่วนหาคมาบตาพุดพบความสัมพันธ์ระหว่างขยะพลาสติกกลุ่ม MAP กับ SMP ($r=0.549$) และทั้งสองกลุ่มมีรูปแบบหลักเป็น fiber และในภาพรวมพบว่าในพื้นที่หาคทั้ง 3 หาคใน จ.ระยอง มีความสัมพันธ์ของขยะพลาสติกกลุ่ม MAP และขยะกลุ่ม SMP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.642$) (ตารางที่ 4) ซึ่งความสัมพันธ์ของขนาดต่าง ๆ ของขยะพลาสติก ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ปริมาณขยะกลุ่ม MAP ในการคาดคะเนการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกกลุ่ม SMP บนหาคทรายได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละหาคอาจจะขึ้นอยู่กับชนิดและรูปแบบของขยะพลาสติกแต่ละกลุ่มด้วย

มีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของขยะพลาสติกกลุ่มต่าง ๆ ในประเทศเกาหลีใต้ โดยขยะพลาสติกกลุ่ม MEP มีความสัมพันธ์กับทั้งกลุ่ม MAP และ LMP ดังนั้น การใช้ MEP ในการคาดคะเนการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก LMP ซึ่งสามารถใช้เพียงตะแกรงร่อนขนาด 5 มิลลิเมตร จึงเป็นการลดขั้นตอน

ได้ผลรวดเร็วที่จะนำไปใช้ในการกำหนดหาทรายที่มี การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระดับวิกฤตได้ รวดเร็วขึ้น (Lee *et al.*, 2015) และมีการศึกษาขยะ พลาสติกขนาดต่าง ๆ ในทะเลสาบ Victoria ที่อยู่ ระหว่างประเทศแทนซาเนียและยูกันดา พบปริมาณ ขยะต่าง ๆ ในหาดที่มีท่าเทียบเรือประมงมากกว่าใน หาดท่องเที่ยว และพบความสัมพันธ์ระหว่าง macroplastic และ microplastic ในตะกอนที่ชายฝั่งและ ในทะเลสาบด้วย ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษานี้ (Egessa *et al.*, 2020)

ในการศึกษานี้ยังพบความสัมพันธ์ของ ปริมาณไมโครพลาสติกในตะกอนทรายและในปูหนุ มานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r=0.882$) และยังมี รูปแบบเป็นเส้นใยสีฟ้าเหมือนกันอีกด้วย แสดงให้เห็น ว่าเมื่อมีการปนเปื้อนและการสะสมของไมโคร พลาสติกในตะกอนทราย จะส่งผลทำให้พบการ ปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ใน

ตะกอนทรายตามไปด้วย โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่หากิน อาหารในหาทรายคั้งเช่นปูหนุมาน จากผลการศึกษา เบื้องต้นนี้แสดงให้เห็นว่าปูหนุมานมีศักยภาพในการ ใช้เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อน (bioindicator) ของ ไมโครพลาสติกบนหาทรายด้วย ทั้งนี้มีการศึกษา ไมโครพลาสติกในปูลม (*Ocypode quadrata*) พบว่า รูปแบบเส้นใยและสีฟ้าและดำของไมโครพลาสติกใน ปูลมมีความสัมพันธ์กับไมโครพลาสติกที่พบใน ตะกอนทราย แต่ปริมาณไม่มีความสัมพันธ์กับใน ตะกอนทราย ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าไมโครพลาสติกในปู ลมไม่ได้มีแหล่งที่มาจากตะกอนทรายเพียงอย่างเดียว ซึ่งนำมาจากความสามารถในการกินอาหารที่ หลากหลายของปูลม รวมทั้งการปนเปื้อนของไมโคร พลาสติกมาจากแหล่งที่มาที่หลากหลาย ซึ่งเป็นสิ่งที่ ต้องพิจารณาในการเลือกใช้สิ่งมีชีวิตมาเป็นตัวชี้วัดการ ปนเปื้อนของไมโครพลาสติกด้วย (Costa *et al.*, 2019)

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ 4 กลุ่มในหาทราย 3 หาดใน จ.ระยอง

หาทราย	กลุ่มพลาสติก	Macroplastic (MAP)	Mesoplastic (MEP)	Large microplastic (LMP)	Small microplastic (SMP)
หาดอ่าว	Macroplastic	1	.137	.115	.442
มะขามป้อม	Mesoplastic	.137	1	.550*	-.503
	Large microplastic	.115	.550	1	-.213
	Small microplastic	.442	-.503	-.213	1
หาดสวนสน	Macroplastic	1	-.091	-.060	.236
	Mesoplastic	-.091	1	.719*	-.313
	Large microplastic	-.060	.719*	1	-.435
	Small microplastic	.236	-.313	-.435	1
หาดมาบตาพุด	Macroplastic	1	-.162	.158	.549*
	Mesoplastic	-.162	1	-.271	-.424
	Large microplastic	.158	-.271	1	.140
	Small microplastic	.549*	-.424	.140	1
รวม	Macroplastic	1	.226	.011	.642*
	Mesoplastic	.226	1	.237	-.167
	Large microplastic	.011	.237	1	-.237
	Small microplastic	.642*	-.167	-.237	1

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุป

ขยะพลาสติกขนาดต่าง ๆ ได้แก่ MAP, LMP และ SMP ในหาดทรายทั้ง 3 หาดในจังหวัดระยอง และในเขตน้ำขึ้นสูงสุดและเขตน้ำขึ้นน้ำลง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นขยะพลาสติกกลุ่ม MEP ที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหาดอ่าวมะขามป้อมมีปริมาณขยะพลาสติกกลุ่ม MAP, MEP และ SMP (9.53 กรัมต่อตารางเมตร, 1.55 กรัมต่อตารางเมตร และ 379.22 ชิ้นต่อตารางเมตร) สูงกว่าหาดสวนสนและหาดมาบตาพุด โดยขยะพลาสติกกลุ่ม MAP และ MEP มีรูปแบบหลักเป็นชิ้นส่วนที่แตกหัก และขยะพลาสติกกลุ่ม SMP ส่วนใหญ่มีรูปแบบเป็นเส้นใย ในขณะที่หาดมาบตาพุดมีปริมาณขยะพลาสติกกลุ่ม LMP มากที่สุด (3.24 กรัมต่อตารางเมตร) และมีรูปแบบเป็นเม็ดพลาสติก ซึ่งพบเฉพาะในหาดมาบตาพุดเท่านั้น โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณขยะขนาดต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน คือ การใช้ประโยชน์หาดทรายแตกต่างกัน ซึ่งแหล่งที่มาหลักของขยะในการศึกษานี้มาจากชุมชน แหล่งประมง และการท่องเที่ยว ซึ่งการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติกบนหาดมาบตาพุดจำเป็นต้องมีมาตรการการจัดการการทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอย่างชัดเจน จากการตรวจสอบประเภทโพลิเมอร์ของกลุ่มไมโครพลาสติกที่มีรูปแบบเป็นเส้นใยของขยะกลุ่ม LMP และ SMP คาดว่ามีแหล่งที่มาแตกต่างกัน โดยกลุ่ม LMP จากการสูฟุ้งของอวนและเชือกในการประมง แต่กลุ่ม SMP มาจากน้ำทิ้งจากการซักผ้า ซึ่งมีแนวโน้มเป็นแหล่งสำคัญของไมโครพลาสติกในขณะนี้ ดังนั้นจึงควรต้องมีมาตรการในการจัดการเรื่องน้ำทิ้งจากการซักผ้าสำหรับการใช้ความสัมพันธ์ของขนาดของขยะพลาสติกขนาดใหญ่กับไมโครพลาสติกนั้น จำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ทั้งในเรื่องของปริมาณและรูปแบบของขยะพลาสติกด้วย รวมทั้งพัฒนา

การศึกษาให้ครอบคลุมหาดทรายในบริเวณต่าง ๆ ให้มากขึ้น เพื่อสร้างเกณฑ์มาตรฐานในการใช้พลาสติกขนาดใหญ่ชี้วัดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก ซึ่งจะใช้อุปกรณ์และขั้นตอนศึกษาที่ง่ายและรวดเร็วอย่างมาก ผู้ที่ทำการศึกษາสามารถเป็นเพียงเยาวชนหรือผู้นำในท้องถิ่นได้ และอีกประเด็นที่น่าสนใจ คือ ความหลากหลายของประเภทโพลิเมอร์ที่พบในการศึกษานี้ ซึ่งจะเป็นปัญหาสำคัญต่อการจัดการคัดแยกขยะเพื่อหมุนเวียน ซึ่งจะทำให้ยากมากขึ้น จึงควรมีการกำหนดมาตรการในการจำกัดองค์ประกอบของการผลิตพลาสติก และที่สำคัญ คือ การรณรงค์ให้มีการใช้พลาสติกซ้ำไม่ใช้ครั้งเดียว

เอกสารอ้างอิง

- Akkajit, P. and Ruamkaew, S. 2019. Microplastic on sandy beach of western coast of Phuket. **Environmental Journal** 23(2): 1-8. (in Thai)
- Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin** 62(8): 1596-1605.
- Auta, H.S., Emenike, C.U. and Fauziah, S.H. 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. **Environment International** 102: 165-176.
- Bantiwivatkul, N., Pechsri, P., Polpayu, S., Rachaderm, C. and Ruekadee, P. 2018. Classification and quantification of marine debris on Sairee-Sawi Beach, Chumphon Province during 2015-2016, pp.863-870. *In Proceeding of the 6th Marine Science Conference*. Burapha University, Chonburi. (in Thai)
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. and Barlaz, M. 2009. Accumulation and

- fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 364(1526): 1985-1998.
- Besley, A., Vijver, M.G., Behrens, P. and Bosker, T. 2017. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. **Marine Pollution Bulletin** 114(1): 77-83.
- Bozzeda, F., Zangaro, F., Colangelo, M.A. and Pinna, M. 2021. Relationships between size and abundance in beach plastics: A power-law approach. **Marine Pollution Bulletin** 173(Part A): 113005.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. and Thompson, R. 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. **Environmental Science & Technology** 45(21): 9175-9179.
- Browne, M.A., Niven, S.J., Galloway, T.S., Rowland, S.J. and Thompson, R.C. 2013. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. **Current Biology** 23(23): 2388-2392.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. and Uricchio, V.T. 2020. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 17(4): 1212-1238.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. **Marine Pollution Bulletin** 62(12): 2588-2597.
- Costa, L.L., Arueira, V.F., Costa, M.F., Di Benedetto, A.P.M. and Zalmona, I.R. 2019. Can the Atlantic ghost crab be a potential biomonitor of microplastic pollution of sandy beaches sediment? **Marine Pollution Bulletin** 145: 5-13.
- Department of Marine and Coastal Resources. 2022. **Top ten beach trash of the year 2021.** Available source: <https://www.dmcr.go.th/detailAll/57352/nws/191>, March, 7, 2022. (in Thai)
- Derraik, J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin** 44(9): 842-852.
- Egessa, R., Nankabirwa, A., Basooma, R. and Nabwire, R. 2020. Occurrence, distribution and size relationships of plastic debris along shores and sediment of northern Lake Victoria. **Environment Pollution** 257: 113442.
- GESAMP. 2015. **Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment.** Reprint Study GESAMP No. 90, International Maritime Organization (IMO), United Kingdom.
- Heo, N.W., Hong, S.H., Han, G.M, Song, Y.K., Jang, M. and Shim, W.J. 2013. Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam beach, South Korea. **Ocean Science Journal** 48: 225-233.
- Horn, D., Granek, E.F. and Steele, C.L. 2019. Effects of environmentally relevant concentrations of

- microplastic fibers on Pacific mole crab (*Emerita analoga*) mortality and reproduction. **Limnology and Oceanography Letters** 5(1): 74-83.
- Houbnarin, K., Pitaksintorn, S., Khunchairak, V. and PhongPhan, P. 2018. Type and amount of marine debris at Mu Ko Chang National Park and Khao Leam Ya - Mu Ko Samet National Park in 2018, pp. 305-312. *In* **Proceeding of the 6th Marine Science Conference**. Burapha University, Chonburi. (in Thai)
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. and Law, K.L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science** 347(6223): 768-771.
- Karlsson, T.M., Arneborg, L., Broström, G., Almroth, B.C., Gipperth, L. and Hassellöv, M. 2018. The unaccountability case of plastic pellet pollution. **Marine Pollution Bulletin** 129(1): 52-60.
- Kerpen, N.B., Schlurmann, T., Schendel, A., Gundlach, J., Marquard, D. and Hüggen, M. 2020. Wave-induced distribution of microplastic in the surf zone. **Frontiers in Marine Science** 7(2020): 590565.
- Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A. and Janssen, C.R. 2016. Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. **Environment Science Technology** 50(7): 3315-3326.
- Kühn, S., Werven., B., Oyen, A., Meijboom, A., Bravo Rebolledo, E.L. and van Franeker, J.A. 2017. The use of potassium hydroxide (KOH) solution as a suitable approach to isolate plastics ingested by marine organisms. **Marine Pollution Bulletin** 115(1-2): 86-90.
- Lee, J., Lee, J.S., Jang, Y.C., Hong, S.Y., Shim, W.J., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, M., Han, G.M., Kang, D. and Hong, S. 2015. Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea. **Archives of environmental contamination and toxicology** 69(3): 288-298.
- Li, W.C., Tse, H.F. and Fok, L. 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. **Science of the Total Environment** 566-567: 333-349.
- Maneechot, B., Buajan, K., Chaichana, S. and Borirukwisitsak, S. 2018. Quantification survey of microplastics in beach sand of Laem Samila, Bo Yang Subdistrict, Mueang District, Songkhla Province, pp. 796-802. *In* **Proceeding of the 6th Marine Science Conference**. Burapha University, Chonburi. (in Thai)
- Pransilpa, M., Arsiranant, I., Chankong, A. and Junchompoo, C. 2016. Quantification and Classification of Marine litter on Laem Maepim Beaches, Rayong Province during 2014-2015, pp. 588-596. *In* **Proceeding of the 5th Marine Science Conference**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Sangrajrang, S., Ploysawang, P. and Promhithatron, P. 2013. Impact of Plastics on Human

Health and Environment. **Thai Journal Toxicology** 28(1): 39-50.

UNEP. 2016. **Marine Plastic Debris and Microplastics Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change.** United Nations Environment Program, Nairobi.

Wangritthikrakun, K., Thepwilai, S., Chawchai, S. and Bissen, R. 2021. Microplastic in sediment on sandy beach of Thailand. **Environmental Journal** 25(4): 1-9. (in Thai)

Wispongpan, P., Chataweesuk, A. and Jaingam, W. 2020. Microplastic contamination in marine animals used as seafood, pp. 397-407. **In Proceeding of 58th Kasetsart University Annual Conference.** Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

การพัฒนาเว็บเชิงความหมายสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อสนับสนุนการวางแผน การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้ออนโทโลยี และเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา

The Development of the Elderly's Semantic Web for Supporting the Healthy Tourism Planning in Khao Kho District, Phetchabun Province by Using Ontology and Content-Based Filtering Technique

ทศนันท์ ตรีนันทรรัตน์ ฐินาภณ์ นิชยิววิทย์ และ ยุกา คำตะพล *

Tassanan Treenuntharath, Thinaphan Nithiyuwit and Yupa Kumtapol *

Received: 23 June 2022, Revised: 17 September 2022, Accepted: 9 November 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สำรวจพฤติกรรม สักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ 2) พัฒนาเว็บเชิงความหมายสำหรับผู้สูงอายุเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยใช้ออนโทโลยี และเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย กลุ่มตัวอย่าง จำแนกได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้สูงอายุที่เข้ามาเที่ยวในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวนทั้งหมด 384 คน ตามสูตรของคอกเรน แล้วทำการสุ่มแบบสะดวก เพื่อสำรวจพฤติกรรม สักยภาพ และความต้องการในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ และคัดเลือกแบบเจาะจงจากนักท่องเที่ยวสูงอายุที่สมัครใจ จำนวน 30 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย ผลการวิจัยพบว่า ผู้สูงอายุส่วนใหญ่ท่องเที่ยวเพื่อผ่อนคลาย ประสบปัญหาด้านศักยภาพทางร่างกายและการใช้เทคโนโลยี อยู่ในระดับสูง มีความคิดเห็นว่าฟังก์ชันของเว็บเชิงความหมายที่กำหนด มีความจำเป็นอยู่ในระดับสูง เว็บเชิงความหมายประกอบด้วยฟังก์ชัน 4 ส่วน ได้แก่ 1) การสืบค้นเชิงความหมายเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว 2) การให้คำแนะนำต่อรายการข้อมูล และการใช้เทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา 3) การผสานออนโทโลยีกับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ด้วยเอพีไอแบบป้อนในระดับ คลาส คุณสมบัติ แอทริบิวต์ และค่ารายการ และ 4) การแสดงผลคำแนะนำการท่องเที่ยว ประสิทธิภาพในการแนะนำข้อมูลมีค่า F-measure เท่ากับ 94.70% และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบในภาพรวม อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: เว็บเชิงความหมาย, ออนโทโลยี, เทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา, ผู้สูงอายุ, การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

Major of Computer Science, Faculty of Science, Rajabhat Phetchabun University, Mueang, Phetchabun 67000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): yupa.k@pcru.ac.th

ABSTRACT

This research aimed to 1) survey the behavior, potential and need of the elderly for healthy tourism in Khao Kho District, Phetchabun Province, 2) develop a semantic web that is suitable with the elderly for supporting the healthy tourism planning by using the ontology and the content-based filtering, and 3) assess the users' satisfaction toward the semantic web. The samples classified in 2 groups include 384 elderly people who traveled in Khao Kho District according to Cochran's formula by using the convenience sampling for surveying the behavior, potential, and need of health tourism and 30 elderly people who were selected by the purposive sampling method used to assess the satisfaction toward the semantic web. The results found that most of elderly travel for relaxing, suffer from the potential body and the technology using skill problem at a high level, and have an opinion that the semantic web's defined functions is necessary at a high level. The semantic web's functions consisting of 4 parts are 1) searching the semantic tourism places, 2) giving the tourism data's rating and processing the content-based filtering, 3) mapping the node name and attribute name between the ontology and relational database with the API mapping tool in the level of class, property, attribute, and value, and 4) displaying the tourism recommendation. The semantic web's performance in recommending information has F-measure of 94.7%. The elderly have satisfaction toward the semantic web at a high level.

Key words: semantic web, ontology, content-based filtering technique, elderly, health tourism

บทนำ

การท่องเที่ยวเชิงสุขภาพเป็นการท่องเที่ยวเพื่อเยี่ยมชมสถานที่ ๆ มีความสวยงามทางธรรมชาติและวัฒนธรรม ซึ่งเป็นการการท่องเที่ยวแบบผสมผสานการรักษาและฟื้นฟูสุขภาพทั้งด้านร่างกายและจิตใจควบคู่กัน ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่ผู้สูงอายุมีความสนใจในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาการเศรษฐกิจแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2564 พบว่า ผู้สูงอายุที่อายุเกิน 60 ปี มีจำนวนประมาณ 13 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด และมีการประเมินว่าในอีก 10 ปีข้างหน้าประเทศไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสูงสุด (Bangkokbiznews, 2020) ดังนั้น การตระหนักถึงคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งสำคัญ ส่งผลให้

ภาครัฐกำหนดมาตรการเตรียมการรองรับให้มีการดูแลผู้สูงอายุ เพื่อให้ผู้สูงอายุเหล่านั้นมีคุณภาพชีวิตที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งการส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่เข้าถึงได้ง่ายและสร้างผ่อนคลายทั้งด้านร่างกายและจิตใจ ควรต้องมุ่งเน้นการพัฒนาและส่งเสริมกิจกรรมท่องเที่ยวสำหรับผู้สูงอายุที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพองค์รวม (Kaewka, 2007)

พฤติกรรมการท่องเที่ยวของคนวัยสูงอายุจะแตกต่างจากวัยอื่น ๆ เนื่องจากจะให้ความสำคัญกับคุณภาพของแหล่งท่องเที่ยว โดยจะมีการเลือกแหล่งท่องเที่ยวที่มีความปลอดภัย สะอาด รักษาสภาพแวดล้อม ส่วนใหญ่จะเน้นการท่องเที่ยวเพื่อพักผ่อนฟื้นฟูร่างกายและจิตใจ มักจะนิยมท่องเที่ยวในประเทศ ท่องเที่ยวตามแหล่งธรรมชาติ และสถานที่ที่มีทัศนียภาพที่สวยงาม เช่น ป่า ไร่ ภูเขา

และน้ำตก เป็นต้น จากการศึกษาศักยภาพด้านการท่องเที่ยวพบว่า อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นพื้นที่การวิจัย เป็นแหล่งท่องเที่ยวแห่งหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากเขาค้อมียอดเขาที่สูงประมาณ 1,714 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล (Khaokoh Subdistrict Administrative Organization, 2022) ส่งผลให้บรรยากาศบนเขาค้อเย็นตลอดปี มีบรรยากาศที่เย็นสบาย และมีทัศนียภาพที่สวยงาม เหมาะสำหรับการนั่งพักผ่อนหย่อนใจเพื่อฟื้นฟูร่างกายและจิตใจของผู้สูงอายุ อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดทางร่างกายของผู้สูงอายุจะต้องคำนึงถึงความมั่นใจด้านความปลอดภัย ความมั่นใจด้านบริการที่มีคุณภาพที่ดีและสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เนื่องจากการเดินทางไปเยี่ยมชมในสถานที่ท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในอำเภอเขาค้อ ส่วนใหญ่ยังอยู่ในระหว่างการปรับปรุงสภาพเส้นทาง ภูมิประเทศ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งผู้สูงอายุควรต้องได้รับข้อมูลที่เป็นปัจจุบันอยู่เสมอและต้องอาศัยระบบช่วยในการตัดสินใจและแนะนำในการท่องเที่ยวตามความชอบและมีความปลอดภัยอีกด้วย รวมทั้งการเลือกอำเภอเขาค้อในการดำเนินงานวิจัย เนื่องจากจังหวัดเพชรบูรณ์ได้กำหนดแผนพัฒนาจังหวัดปี 2561 – 2565 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาเมืองอัจฉริยะที่ครอบคลุม ถึงประเด็นการพัฒนาวัฒนธรรมการท่องเที่ยวด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล (Smart tourism) (Phetchabun Strategic plan office, 2011) ซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้นวัตกรรมจากงานวิจัยสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรมและเกิดประสิทธิผลที่ดี

ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาข้อมูลและแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายของผู้สูงอายุ โดยจะต้องมีการวางแผนตารางโปรแกรมในการท่องเที่ยว การเดินทาง การเลือกสถานที่พัก ร้านอาหาร และสถานที่ท่องเที่ยวที่มีความเหมาะสมกับศักยภาพทางร่างกาย เวลา และ

งบประมาณ ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ต้องอาศัยระบบการตัดสินใจและแนะนำด้านการท่องเที่ยวสำหรับผู้สูงอายุที่มีประสิทธิภาพ และเว็บแอปพลิเคชันในการให้บริการด้านการท่องเที่ยวสำหรับผู้สูงอายุ ก็ควรต้องสามารถรองรับกับข้อจำกัดด้านศักยภาพร่างกาย สายตา การได้ยิน ที่เสื่อมถอยลง และมีทักษะการใช้เทคโนโลยีในระดับต่ำกว่ากลุ่มนักท่องเที่ยวรุ่นและวัยทำงาน

การวิเคราะห์ข้อจำกัดของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในรูปแบบเดิม มีขอบเขตความสามารถในการให้ผลลัพธ์เฉพาะเรื่องที่ค้นหา อาจทำให้ต้องเสียเวลาในการเข้าถึงข้อมูลจากหลาย ๆ เว็บไซต์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีเพื่อนำมาใช้สนับสนุนการตัดสินใจให้แก่นักท่องเที่ยวในหลายปัจจัย (Nitiyuwit, 2019) และในการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้สูงอายุ ควรมีรูปแบบที่แตกต่างจากบุคคลในวัยอื่น ๆ โดยงานวิจัยของ Goncalves *et al.* (2013) ได้สรุปวิธีการออกแบบเว็บสำหรับผู้สูงอายุที่เน้นการสร้างหน้าจอการแสดงผล ช่องรับข้อมูล และการพิมพ์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถปรับขนาดได้ตามความต้องการของผู้ใช้ รวมทั้งควรให้ความสำคัญกับการจัดรูปแบบส่วนประสานงานผู้ใช้ที่มีตำแหน่งของปุ่ม สีสัน และการเข้าถึงด้วยเสียง ในการพัฒนาเว็บเชิงความหมายเพื่อการท่องเที่ยว จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพจากเว็บแบบเดิม ในการให้บริการเชื่อมโยง การแบ่งปันข้อมูล การสืบค้นข้อมูลและการบูรณาการฐานข้อมูลที่กระจายอยู่หลายแห่ง โดยใช้ความสามารถของออนโทโลยี ที่ทำหน้าที่เป็นฐานความรู้ในเว็บเชิงความหมายที่ช่วยอธิบายคำจำกัดความของข้อมูลในโหนดความรู้ต่าง ๆ รวมทั้งการเชื่อมความสัมพันธ์ของภายใต้โดเมนที่สนใจ ในรูปแบบกราฟความรู้ (Ryen *et al.*, 2022) ในการพัฒนาระบบการแนะนำนักท่องเที่ยวสูงอายุ โดยประยุกต์ใช้ออนโทโลยี จะช่วยให้สามารถอนุมาน

ความรู้เชิงความหมาย เพื่อการแนะนำทางเลือกสถานที่ท่องเที่ยวที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ และสามารถนำไปปรับใช้ร่วมกับการประมวลผลภาษาธรรมชาติ เพื่ออนุญาตให้นักท่องเที่ยวป้อนข้อความค้นหาเป็นภาษาไทยในการสืบค้น และได้รับคำแนะนำด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและข้อจำกัดในการท่องเที่ยวที่สอดคล้องขอบเขตความสนใจเพิ่มมากขึ้น (Salaiwarakul, 2022) ซึ่งในการพัฒนาเว็บเชิงความหมายด้วยหลักการออนโทโลยีแบบเดิม มักใช้การสร้างกฎ/คำสั่งการสืบค้นข้อมูล จากกรณียามความรู้โดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นกฎที่ถูกกำหนดไว้แล้ว และไม่ได้มีการปรับปรุงบ่อยครั้ง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การประมวลผลด้วยวิธีดังกล่าวยังไม่สามารถเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานได้ปฏิสัมพันธ์ในการให้ความนิยตอรายการข้อมูล (Rating) เพื่อนำมาใช้กำหนดความสำคัญในการแนะนำข้อมูลที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยให้การแนะนำความรู้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมและความต้องการกับผู้ใช้มากยิ่งขึ้น รวมทั้งการสืบค้นข้อมูลจากออนโทโลยีจะได้เพียงเฉพาะรายการข้อมูลที่มีการผูกไว้กับความสัมพันธ์ทางความหมายและกฎไว้แล้วเท่านั้น โดยรายการข้อมูล/องค์ความรู้ที่เข้ามาใหม่ที่อาจมีความสำคัญและคล้ายคลึงกันจะไม่ได้ถูกแนะนำขึ้นมาแสดงผล (Cold start problem) เพื่อส่งผลให้การเกิดการขับเคลื่อนระบบจัดการองค์ความรู้เชิงความหมายอย่างมีประสิทธิภาพในเชิงพลวัต ดังนั้น การนำเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา (Content-Based filtering) มาบูรณาการใช้ร่วมกับออนโทโลยี จะช่วยแก้ปัญหา Cold start problem (Sharma *et al.*, 2022) ผ่านการสร้างประวัติความนิยมของผู้ใช้ (User's profile) เพื่อนำมาสร้างการแนะนำสิ่งที่สนใจในรายการใหม่ ๆ ที่มีเนื้อหาที่คล้ายคลึงกับรายการสินค้าที่มีคุณลักษณะที่ผู้ใช้ต้องการ รวมทั้งเว็บเชิงความหมายที่พัฒนาขึ้นจะมี

ฟังก์ชันการทำงานและการแสดงผลที่สามารถรองรับกับการใช้งานของผู้สูงอายุที่มีปัญหาเกี่ยวกับศักยภาพร่างกาย และทักษะการใช้เทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ ผู้สูงอายุ

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้รวบรวมข้อมูล จำแนกได้ 2 กลุ่ม ดังนี้

1.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำรวจพฤติกรรม ศักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ คือ ผู้สูงอายุที่เข้ามาเที่ยวในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยไม่ทราบจำนวนประชากร ตามสูตรของ คอแครน โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% และสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร เท่ากับ 0.5 (Cochran, 1977) โดยได้กลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 384 คน

1.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย คือ ผู้สูงอายุที่เข้ามาท่องเที่ยวในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวนทั้งหมด 30 คน โดยคัดเลือกแบบเจาะจงจากผู้สูงอายุที่มีศักยภาพร่างกายพร้อม และมีความสนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แบบสอบถามเพื่อสำรวจพฤติกรรม ศักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม 2) พฤติกรรมการท่องเที่ยว 3) ศักยภาพทางร่างกายและทักษะการใช้เทคโนโลยี และ 4) ความต้องการต่อฟังก์ชันการทำงานของเว็บ รวมจำนวนทั้งหมด 20 ข้อ

2.2 การพัฒนาเว็บเชิงความหมายที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ดังนี้

2.2.1 การพัฒนาส่วนประมวลผลข้อมูลเชิงความหมายบนออนโทโลยี และการกรอแบบอิงเนื้อหา ใช้ภาษา Python ผ่านการสืบค้นข้อมูลด้วยภาษา Sparql และใช้ไลบรารีเรียกใช้บริการ Google Text To Speech (Google, 2022) ในการอ่านเนื้อหาบนหน้าเว็บในรูปแบบเสียง

2.2.2 การพัฒนาและออกแบบหน้าจอติดต่อผู้ใช้ และเรียกบริการส่วนประมวลผลข้อมูลเชิงความหมายบนออนโทโลยี และการกรอแบบอิงเนื้อหา ใช้ภาษา PHP, CSS และ JavaScript

2.2.3 การพัฒนาออนโทโลยี และการจัดการเชื่อมประสานฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ใช้โปรแกรม Protégé เวอร์ชัน 5.5 (Stanford University, 2020) และ MySQL เวอร์ชัน 5

2.3 แบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม 2) ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย และ 3) ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงพัฒนาเว็บให้มีประสิทธิภาพ

3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 การสร้างแบบสอบถามเพื่อสำรวจพฤติกรรม ศักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาและทบทวนงานวิจัยแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาวิธีการสำรวจพฤติกรรม ศักยภาพและความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ มาใช้เป็นขอบเขตในการสร้างแบบสอบถามให้ครอบคลุมเนื้อหาที่ศึกษา

3.1.2 สร้างแบบสอบถามเพื่อสำรวจพฤติกรรม ศักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

3.1.3 นำแบบสอบถามไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยว และด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนในประเด็นการรวบรวมข้อมูล

3.1.4 ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามให้มีเนื้อหาที่เหมาะสม ชัดเจนและเข้าใจง่ายต่อผู้ที่ได้ทำแบบสอบถาม

3.1.5 นำแบบสอบถามไปทดลองเก็บข้อมูล (Try out) จากผู้สูงอายุที่มาท่องเที่ยวในเขตพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจริง จำนวนทั้งหมด 30 คน จากนั้นนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ได้ค่าเท่ากับ 0.834 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่สามารถนำแบบสอบถามไปใช้รวบรวมข้อมูลได้

3.1.6 นำแบบสอบถามฉบับเสร็จสมบูรณ์ไปเก็บรวบรวมข้อมูลกับผู้สูงอายุที่มาท่องเที่ยวในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 384 คน แล้วทำการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลทางสถิติในขั้นต่อไป

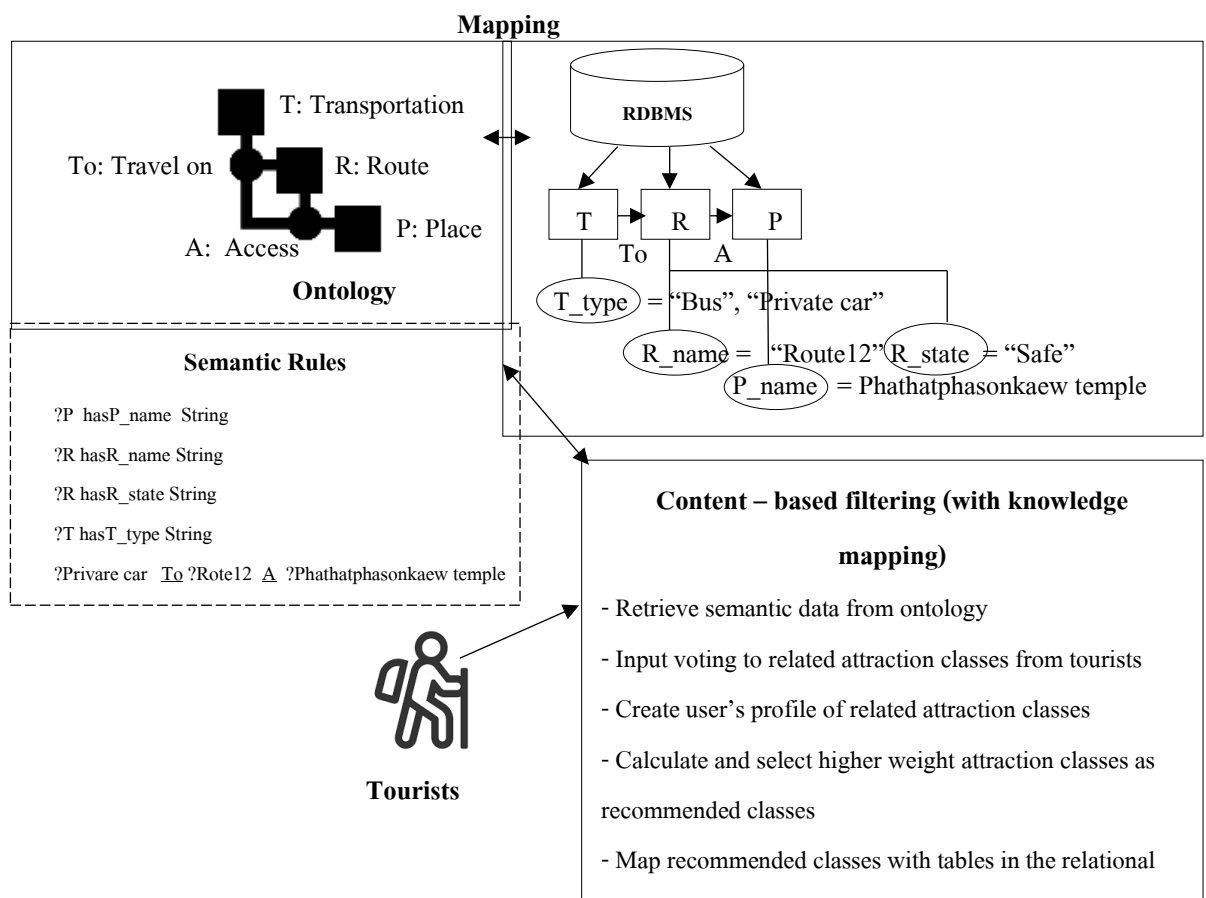
3.2 การพัฒนาเว็บเชิงความหมายที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 นำผลการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลพฤติกรรมและความต้องการในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาฟังก์ชันการทำงานเว็บเชิงความหมาย โดยใช้ออนโทโลยี และเทคนิคการกรอแบบอิงเนื้อหา ซึ่งมีวิธีการพัฒนา ดังนี้

1) ฐานความรู้ออนโทโลยี สร้างจากผลการศึกษาและสังเคราะห์สาระความรู้ของสถานที่ท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บนเว็บไซต์ด้านการท่องเที่ยว ที่

นำเสนอองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ตามแนวคิด 5ASM ได้แก่ สิ่งดึงดูดใจของสถานที่ท่องเที่ยว (Attraction) ความสะดวกสบายในการเข้าถึงสถานที่ท่องเที่ยว (Accessibility) สิ่งอำนวยความสะดวกในสถานที่ท่องเที่ยว (Amenities) ที่พัก (Accommodation) กิจกรรมในสถานที่ท่องเที่ยว (Activity) ความปลอดภัยในสถานที่ท่องเที่ยว (Security) และการบริหารจัดการสถานที่ท่องเที่ยว (Management) (Dickman, 1996) จากนั้นนำฐานความรู้ออนโทโลยีไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยว และด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวนทั้งหมด 3 คน ทำการประเมินความถูกต้องครบถ้วน และความสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยได้ค่า IOC ในแต่ละรายการความสัมพันธ์ของโหนดความรู้ต่างๆ อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00

2) เทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา โดยรับข้อมูลการให้ Rating กับรายการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่พัก และระบบรักษาความปลอดภัย จากนักท่องเที่ยวเพื่อนำมาคำนวณค่านำหนักของข้อมูลแต่ละรายการ และจะเลือกแนะนำรายการที่คล้ายกับรายการก่อนหน้านี้ที่นักท่องเที่ยวเคยชื่นชอบมาแล้ว โดยการออกแบบการนำออนโทโลยีมาประมวลร่วมกับอัลกอริทึม Content-based filtering และการ Mapping ออนโทโลยีกับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ เพื่อดึงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ ที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูล ที่มีความคล้ายคลึงในเนื้อหาคุณลักษณะกับสิ่งที่นักท่องเที่ยวให้ความสนใจ เพื่อแนะนำข้อมูลเหล่านี้ไปยังกลุ่มนักท่องเที่ยว มีวิธีการโดยสรุปในภาพรวมดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพรวมของวิธีการเชื่อมประสานออนโทโลยีกับอัลกอริทึม Content – based filtering และการ Mapping ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

จากภาพที่ 1 ออนโทโลยีจะ Mapping กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่รวบรวมข้อมูลสารสนเทศของสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ทั้งในระดับ 1) Class กับ Table 2) Predicate หรือ Property กับ Relationship และ 3) Attribute และ Value เชื่อมเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ในฝั่งของออนโทโลยีจะเก็บเพียงบาง Attribute และ Value ที่มีหน้าที่เชื่อมความหมายไปยังคลาสอื่น ๆ ตามขอบเขตความสนใจเท่านั้น ส่วนในฝั่งของ Content – based filtering จะทำเชื่อมต่อกับระบบฐานความรู้ที่ Mapping เข้าด้วยกันแล้ว เพื่อดึงข้อมูลเชิงความหมายในจุดที่น่าสนใจในสถานที่ท่องเที่ยวมาให้นักท่องเที่ยวได้โหวตให้คะแนน แล้วทำการประมวลผลเพื่อเลือกรายการข้อมูลที่มีค่าน้ำหนักสูงสุด 1 รายการ หรือหลายรายการที่มีค่าน้ำหนักเกินกว่าค่า Ratio ที่ตั้งไว้มาทำการแสดงผลให้นักท่องเที่ยวได้ทราบ โดยข้อมูลที่นำเสนอออกมาจะเป็นองค์ความรู้ที่สามารถปรับปรุงได้ตลอดเวลาด้วยกลไกของระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

3.2.2 นำเว็บเชิงความหมายที่พัฒนาแล้วเสร็จ ไปติดตั้งให้บริการที่ Server เข้าจากผู้ให้บริการภายนอก

3.2.3 จัดทำคู่มือการใช้งานเว็บเชิงความหมายในรูปแบบสื่อมัลติมีเดียความยาวไม่เกิน 5 นาที

3.2.4 ทดสอบประสิทธิภาพในการสืบค้นข้อมูลเพื่อการแนะนำของเว็บเชิงความหมายแล้วทำการหาค่า precision, recall และ F-measure (Jupalle et al., 2022)

3.3 การสร้างแบบสอบถาม เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 ศึกษาฟังก์ชันการทำงานของเว็บเชิงความหมายที่พัฒนาแล้วเสร็จ เพื่อกำหนดขอบเขต

ในการสร้างแบบสอบถามให้ครอบคลุมเนื้อหาที่ศึกษา

3.3.2 สร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมาย

3.3.3 นำแบบสอบถามไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยว และด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน ตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนในประเด็นการรวบรวมข้อมูล โดยได้ค่า IOC ทุกข้อคำถามในแบบสอบถาม อยู่ระหว่าง 0.67–1.00

3.3.4 ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามให้มีเนื้อหาที่เหมาะสม ชัดเจนและเข้าใจง่ายต่อผู้ที่ได้ทำแบบสอบถาม

3.3.5 นำแบบสอบถามฉบับเสร็จสมบูรณ์ไปเก็บรวบรวมข้อมูลกับผู้สูงอายุ จำนวน 30 คน แล้วทำการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลทางสถิติ เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงพัฒนาฟังก์ชันการทำงานเว็บเชิงความหมายให้มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเนื้อหาเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ แบ่งออกได้ 7 สถานที่ ได้แก่ 1) เขาค้อ เซอร์เบอรี่ ออแกนิกฟาร์มแอนดริสอร์ต 2) วัดพระธาตุผาซ่อนแก้ว 3) พระบรมธาตุเจดีย์กาญจนาภิเษก 4) จุดชมวิวะทะเลหมอก เขาตะเคียนโง๊ะ 5) น้ำตกศรีดิษฐ์ 6) เดอะบลูสกายรีสอร์ท เขาค้อ และ 7) อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง โดยเก็บข้อมูลจากเว็บไซต์ khaokhoherbary.com, imperialphukaewresort.com และ phukaewresort.com โดยได้กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกสถานที่ท่องเที่ยวที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้เยี่ยมชมได้เรียนรู้วิถีชีวิต พักผ่อนหย่อนใจ มีกิจกรรมส่งเสริมและบำบัดรักษาฟื้นฟูสุขภาพ (Chimpalee, 2020)

4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลผลการประเมินประสิทธิภาพเว็บเชิงความหมายจากการทดสอบระบบเชิงเทคนิคจากผู้พัฒนาระบบ

4.3 เก็บรวบรวมข้อมูลผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้อต่อเว็บเชิงความหมายจากกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวสูงอายุ จำนวน 30 คน โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ

ทั้งนี้ การรวบรวมข้อมูลกับผู้สูงอายุทั้งในส่วนของพฤติกรรม ศักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุ และความพึงพอใจต่อซอฟต์แวร์ ได้ยึดหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยได้มีการแจ้งขอบเขตของข้อคำถามในการรวบรวมข้อมูล การเก็บรักษาข้อมูลที่มีความปลอดภัย และสิทธิ์ในการถอนตัวออกจากโครงการวิจัยได้ หากผู้สูงอายุเกิดความไม่สะดวกในการให้ข้อมูล/ร่วมโครงการวิจัยต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การวิเคราะห์แบบสอบถาม เพื่อสำรวจพฤติกรรม ศักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ใช้การวิเคราะห์ด้วยค่าร้อยละ

5.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเว็บเชิงความหมายในการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยมีเกณฑ์ในการทดสอบ 3 เหตุการณ์ ได้แก่ จำนวนข้อมูลสืบค้นได้ และถูกต้องตามความสนใจ (A) จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องการตามความสนใจ แต่ไม่ถูกสืบค้น (B) และจำนวนข้อมูลที่ถูกสืบค้นได้ แต่ไม่ถูกต้องตามความสนใจ (C) จากนั้นนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณประสิทธิภาพในการสืบค้นคำแนะนำด้วยฐานความรู้เชิงความหมายด้วยค่า Precision, Recall F-Measure (Khelloufi *et al.*, 2021) ดังสมการที่ 1 – 3

$$Precision = \frac{A}{A+C} \times 100\% \quad (1)$$

$$Recall = \frac{A}{A+B} \times 100\% \quad (2)$$

$$F - Measure = \frac{2 \text{ Recall} * \text{Precision}}{\text{Recall} + \text{Precision}} \quad (3)$$

ทั้งนี้ ได้กำหนดวิธีการทดสอบประสิทธิภาพเว็บเชิงความหมายโดยใช้ออนโทโลยีและเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา (Ontology+CBF) ที่พัฒนาแล้วเพื่อเทียบวัดประสิทธิภาพกับเว็บเชิงความหมายที่ใช้ออนโทโลยี (Ontology) เพียงเทคโนโลยีเดียว และเว็บจัดการฐานข้อมูล (DBMS) ที่นำเสนอข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในประเทศไทย ซึ่งให้บริการบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ได้แก่ khaokhoherbary.com, imperialphukaewresort.com และ phukaewresort.com จากนั้นกำหนดคำสำคัญที่เป็นคำเป้าหมาย (TK: Target keyword) ที่ควรค้นพบในคำแนะนำการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ในกรณีการ

ทดสอบที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความต้องการต่อฟังก์ชันเว็บเชิงความหมายของผู้สูงอายุ (จำนวนทั้งหมด 7 รายการ) และให้ผู้เชี่ยวชาญคัดเลือกมาจำนวน 5 รายการ เพื่อใช้ในการทดสอบการสืบค้นข้อมูลและนับจำนวนข้อมูลที่พบ/ไม่พบแล้วทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพของเทคโนโลยีทั้ง 3 แบบ

5.3 การวิเคราะห์แบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้อต่อเว็บเชิงความหมายที่ใช้การวิเคราะห์ด้วยค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาเพื่อสรุปข้อเสนอแนะในการปรับปรุงพัฒนาเว็บ โดยกำหนด

เกณฑ์แปลผลความพึงพอใจ ดังนี้ 4.50 – 5.00 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบมากที่สุด 3.50 – 4.49 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบมาก 2.50 – 3.49 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบปานกลาง 1.50 – 2.49 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบน้อย และ 0.00 – 1.49 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการวิเคราะห์พฤติกรรม สักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์พฤติกรรม สักยภาพ และความต้องการของผู้สูงอายุในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ได้ดังนี้

ลักษณะพฤติกรรมการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพของผู้สูงอายุจากค่าเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ 1) ท่องเที่ยวเพื่อผ่อนคลาย คิดเป็นร้อยละ 93 2) ท่องเที่ยวแบบพัก ค้างคืน คิดเป็นร้อยละ 91 3) กำหนดงบประมาณในการท่องเที่ยวสูงกว่า 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 87 และ 4) เดินทางไปกับครอบครัว หรือหมู่คณะ คิดเป็นร้อยละ 85 ลักษณะพฤติกรรมการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพของผู้สูงอายุ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sungrugsas *et al.* (2016) ทำการศึกษารูปแบบและพฤติกรรมการท่องเที่ยวที่ไร้ความเร่งรีบของผู้สูงอายุในภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทย พบว่าพฤติกรรมการท่องเที่ยวของผู้สูงอายุจะมีการท่องเที่ยวแบบผ่อนคลาย เน้นการพักผ่อนเป็นหลัก และส่วนใหญ่จะเป็นการเดินทางมาท่องเที่ยวร่วมกับคนในครอบครัว

ปัญหาของศักยภาพทางร่างกายและทักษะการใช้เทคโนโลยีของผู้สูงอายุจากค่าเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ 1) มีปัญหาในการใช้งานเว็บบนสมาร์ตโฟน/คอมพิวเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 82 2) มีปัญหาทางการมองเห็น คิดเป็นร้อยละ 72 และ 3) มีปัญหาทางการได้ยิน คิดเป็นร้อยละ 65 จากผลการวิจัยนี้

ชี้ให้เห็นว่า การออกแบบเว็บเชิงความหมายควรต้องมีตัวอักษรที่ใหญ่ขึ้น สืบบนเว็บไม่ควรใช้สีที่เข้มเกินไป ควรจะเป็นสีอ่อนที่เหมาะสมสำหรับสายตาของผู้สูงอายุ และระบบอ่านเนื้อหาด้วยเสียงที่จะต้องมีการอ่าน หรือแสดงเนื้อหาข้อความจำนวนมาก ให้กลายเป็นรูปภาพ รวมไปถึงการจัดรูปแบบอินเตอร์เฟซ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Inthapichai and Chintakovid, 2018) การจัดวางรูปแบบของเว็บที่เหมาะสม จะช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย และสะดวกรวดเร็ว ทำให้การวางแผนการท่องเที่ยวเป็นเรื่องที่ง่ายขึ้น และผู้สูงอายุสามารถสืบค้นข้อมูลได้ด้วยตนเอง

ความต้องการต่อฟังก์ชันเว็บเชิงความหมายของผู้สูงอายุ จากค่าเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ 1) แสดงข้อมูลเกี่ยวกับอุปสรรค/ความปลอดภัยในการเดินทางในสถานที่ท่องเที่ยว คิดเป็นร้อยละ 90 2) แสดงข้อมูลเส้นทางที่ติดตั้งอุปกรณ์ปฐมพยาบาล คิดเป็นร้อยละ 87 3) มีแผนที่นำทางที่ปักหลัก ๆ กับสถานที่ท่องเที่ยว คิดเป็นร้อยละ 85 4) แนะนำร้านอาหารเพื่อสุขภาพ คิดเป็นร้อยละ 83 5) แสดงข้อมูล สถานที่ท่องเที่ยวในหมวดเดียวกัน คิดเป็นร้อยละ 72 6) กิจกรรมที่น่าสนใจในแต่ละสถานที่ท่องเที่ยว คิดเป็นร้อยละ 68 และ 7) จุดถ่ายภาพในสถานที่ท่องเที่ยว คิดเป็นร้อยละ 61 จากผลการวิจัยนี้ ชี้ให้เห็นว่า การนำเสนอข้อมูลด้านรักษาความปลอดภัย มีการรายงานแสดงข้อมูลเกี่ยวกับอุปสรรคในการเดินทางในสถานที่ท่องเที่ยวเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อผู้สูงอายุ ดังนั้นเว็บเชิงความหมายที่จะทำให้กับผู้สูงอายุควรให้ข้อมูลเฉพาะทางเหล่านี้เอาไว้ ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยของ Sriampornmekkul and Chuntuk (2018) ผู้สูงอายุให้ความสำคัญกับความปลอดภัยเป็นอันดับแรก ต้องการความมั่นใจในเรื่องความปลอดภัย และการดูแล จึงจะทำให้คนท่องเที่ยวกลุ่มนี้มีความพร้อมที่จะจ่ายเงินเพิ่มขึ้นเพื่อแลกต่อการบริการที่พิเศษ ดังนั้น

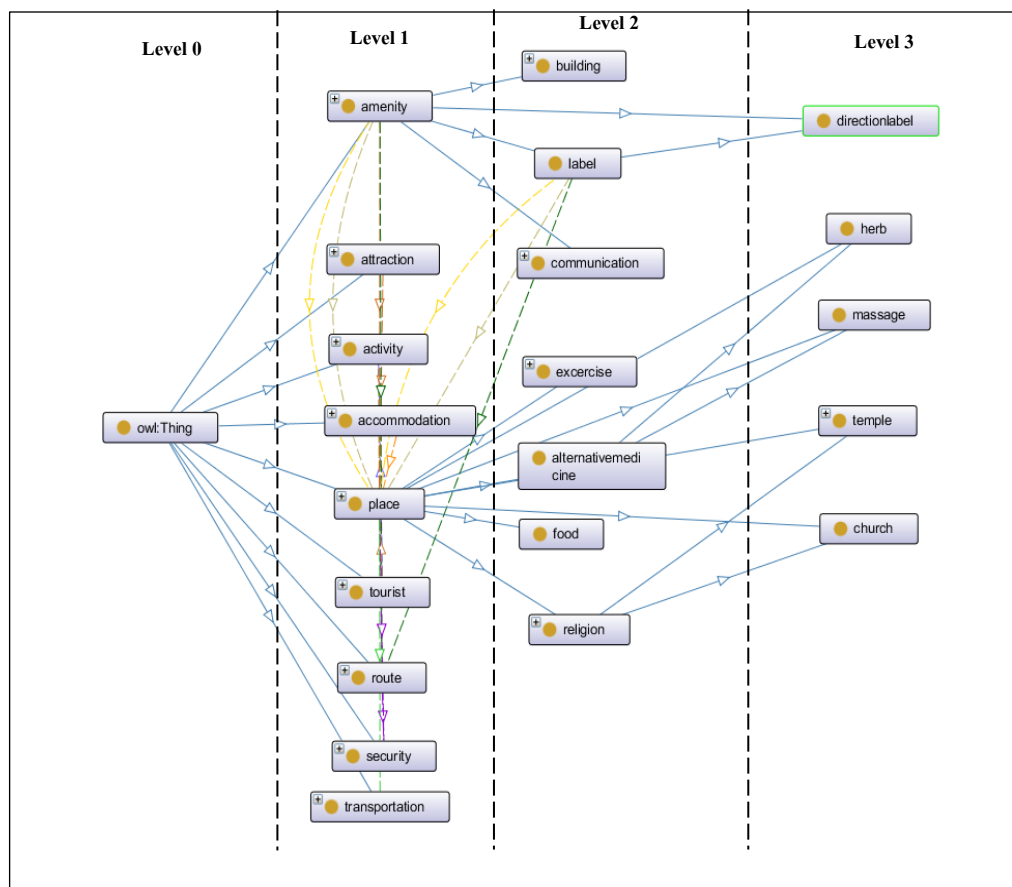
จึงเป็นข้อเสนอแนะในการออกแบบเว็บไซต์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และตอบโจทย์สำหรับผู้สูงอายุ ในการนำเสนอข้อมูลเส้นทางและสถานที่ท่องเที่ยว ควรอยู่ในรูปแบบสื่อมัลติมีเดีย 2D และ 3D ที่ช่วยให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมรอบด้านในมุมมอง 360 ° เพื่อส่งเสริมให้นักท่องเที่ยวได้เกิดจินตนาการ และรับรู้ถึงประสบการณ์ที่ใกล้เคียงกับการได้ไปเยือนสถานที่จริง และจะช่วยส่งเสริมสุขภาพจิตอีกด้วย (Hatta *et al.*, 2022) รวมทั้งการออกแบบระบบแนะนำเส้นทางควรมีการเชื่อมโยงกับสถานพยาบาล/แพทย์ทางเลือกต่าง ๆ ที่มีบริการส่งเสริมสุขภาพในลักษณะเดียวกับที่สถานที่ท่องเที่ยวมีให้บริการเบื้องต้น และการสร้างแรงจูงใจในการท่องเที่ยว โดยการให้โบนัสหรือส่วนลดสำหรับการท่องเที่ยวในแต่ละ

ครั้ง ในการนำมาใช้ลดราคาค่ารักษาพยาบาลในสถานพยาบาลต่าง ๆ และการจัดหาผลิตภัณฑ์การท่องเที่ยวเพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวสูงอายุ และแนะนำโรงแรมที่พักที่มีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ (Kan *et al.*, 2022)

2. ผลการพัฒนาเว็บเชิงความหมายที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

สามารถนำเสนอผลได้ 3 ส่วน ดังนี้

2.1 ผลการออกแบบฐานความรู้ออนโทโลยีออนโทโลยีที่สร้างขึ้น แบ่งได้ 4 ชั้น และมีจำนวนโหนดความรู้ทั้งหมด 22 โหนด แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฐานความรู้ออนโทโลยีการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

จากภาพที่ 2 ฐานความรู้ออนโทโลยีการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ สามารถให้ความหมายของ โหนดความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเว็บเชิงความหมาย สรุปได้ดังนี้ นักท่องเที่ยวเดินทางไป สถานที่ท่องเที่ยว สถานที่ท่องเที่ยวสามารถมองเห็นได้จากที่พัก สถานที่ท่องเที่ยวมีกิจกรรมการท่องเที่ยว

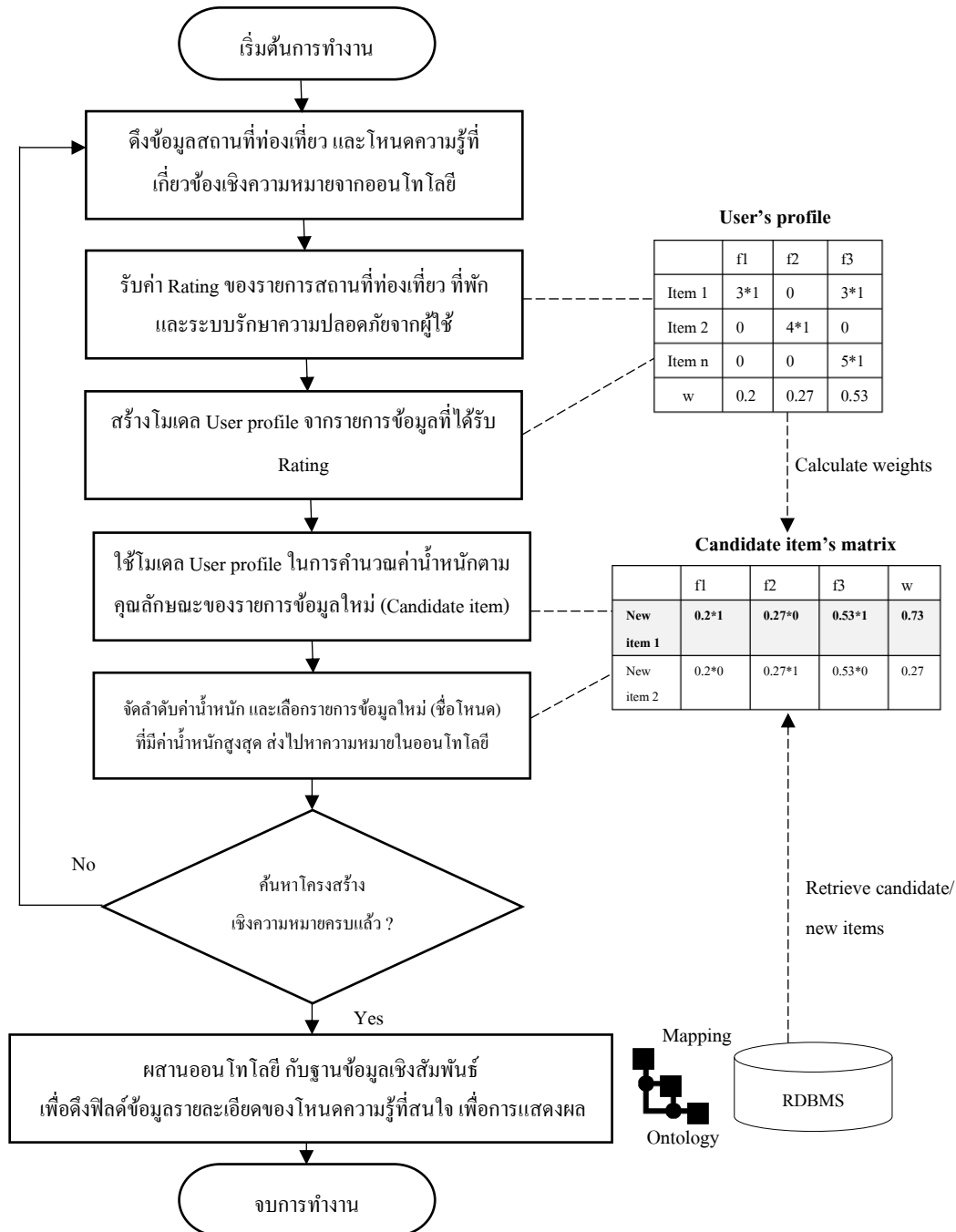
สามารถเดินทางโดยระบบขนส่งสาธารณะ ในสถานที่ท่องเที่ยวและเส้นทางควรมีมาตรการรักษาความปลอดภัย และมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ผลการเขียนชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อสร้างกฎการสืบค้นและแนะนำข้อมูลจากออนโทโลยี ในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อสร้างกฎการสืบค้นและแนะนำข้อมูลจากออนโทโลยี ในการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

กฎการสืบค้นและแนะนำ	SPARQL Command	ตัวอย่างผลลัพธ์ที่น่าใช้ประโยชน์
1. แสดงข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยในการเดินทางในสถานที่ท่องเที่ยว	SELECT ?place ?security WHERE { ?place x:hassecurity ?security }	วัดพระธาตุผาซ่อนแก้ว มีจุดบริการพักรถสำหรับนักท่องเที่ยวสูงอายุ
2. แสดงข้อมูลเส้นทางที่ติดตั้งอุปกรณ์ปฐมพยาบาล	SELECT ?route ?amenity ?aids WHERE { ?amenity x:ison ?route. ?aids rdf:type ?amenity. FILTER(?aids=x:aids) }	เส้นทางเดินทางมาที่สถานนวดสปาแห่งหนึ่งมีสถานพยาบาล ที่มีอุปกรณ์ปฐมพยาบาลให้บริการแก่ผู้สูงอายุ
3. แนะนำที่พักใกล้ ๆ กับสถานที่ท่องเที่ยว	SELECT ?place ?acc ?price ?distance WHERE { ?acc x:sight ?place. ?acc x:hasPrice ?price. ?acc x:hasDistance ?distance. FILTER(?distance<=5) }	โรงแรมภูแก้วรีสอร์ท เป็นหนึ่งในที่พักที่อยู่ใกล้วัดพระธาตุผาซ่อนแก้ว ไม่เกิน 5 กม.
4. แสดงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในหมวดเดียวกัน	SELECT ?place ?group ?placename WHERE { ?place rdfs:subClassOf ?group. ?placename rdf:type ?place. FILTER(?group=x:place) }	สถานที่ท่องเที่ยวประเภทศาสนา ในหมวดวัด คือ วัดพระธาตุผาซ่อนแก้ว
5. แสดงข้อมูลจุดถ่ายภาพในสถานที่ท่องเที่ยว	SELECT ?place ?att ?att_type WHERE { ?att rdf:type ?att_type. ?att x:isin ?place. FILTER(?att_type=x:attraction) }	วัดพระธาตุผาซ่อนแก้ว มีจุด check-in คือ พระพุทธรเจ้า 5 พระองค์ ๆ ใหญ่และงดงาม

จากนั้นทำการพัฒนาเว็บเชิงความหมายที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ โดยใช้ออนโทโลยี และเทคนิค

การกรองแบบอิงเนื้อหา สามารถนำเสนอผลการประมวลผลของระบบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันการประมวลผลของเว็บเชิงความหมายเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพโดยใช้ออนโทโลยี และเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา

จากภาพที่ 3 ฟังก์ชันการประมวลผลของเว็บเชิงความหมาย จะมีการประมวลผลในส่วนต่าง ๆ คือ การเข้าถึงและสืบค้นเชิงความหมายในออนโทโลยี และการใช้เทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา ที่ผู้ใช้งาน/นักท่องเที่ยว สามารถเข้ามาให้ Rating กับรายการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก และระบบรักษาความปลอดภัย เมื่อได้โหนดความรู้ที่เกี่ยวข้องและคล้ายคลึงแล้ว ระบบจะมีการผสานออนโทโลยีกับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์เพื่อดึงฟิลด์ข้อมูลรายละเอียดของโหนดความรู้ที่สนใจ เพื่อการแสดงผล ด้วย API Mapping ที่มีการประมวลผลใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การส่งคำร้องขอ Mapping จากฝั่งออนโทโลยีไปยัง DBMS ด้วยชื่อโหนดความรู้ต้นทาง (Subject) ความสัมพันธ์/ความหมาย (Predicate) และโหนดความรู้ปลายทาง (Object) 2) ฝั่ง DBMS ทำการ Mapping ส่วนของ Subject และ Object จากออนโทโลยี กับ Table และ Predicate จากออนโทโลยี กับ Relationship และ 3) การเชื่อมโยง Table กับ Attribute และ Value ตามโครงสร้างของ DBMS และ Mapping ให้เข้ากับ Attribute และค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ของออนโทโลยี จากนั้นทำการส่งผลลัพธ์จาก DBMS เพื่อแสดงผลต่อไป

ในการใช้ออนโทโลยี Mapping เข้ากับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และทำการประมวลผลเพื่อหารายการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่มีคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกันตามความชอบของผู้ใช้ด้วยอัลกอริทึม Content-based Filtering จะช่วยลดปัญหาการเกิด Cold start ลงได้ เนื่องจากออนโทโลยีจะสามารถเชื่อมโยงความรู้ด้วยกฎเชิงความหมาย ที่สามารถอนุมานข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความเกี่ยวข้องกันได้ อย่างสมเหตุสมผล แม้ว่ารายการข้อมูลนั้นจะไม่ได้ถูกนำมาให้ผู้ใช้งานโหวตคะแนนมาก่อน ยกตัวอย่างเช่น ตามกฎการอนุมานเชิงความหมาย คือ

$TravelOn(?Transportation, ?Route) \wedge Access(?Route, ?Place) \wedge Near(?Place, ?Hospital) \wedge LiketoVisit(?TouristA, ?Place) \wedge HasAge(?TouristA, 65)$ จะสามารถแนะนำรายการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ที่ถูกเก็บไว้ในฐานความรู้ ที่มีความเกี่ยวข้องกับรายการตัวอย่างที่ผ่านการโหวต และคำนวณค่าน้ำหนักได้ค่าสูงกว่าค่า Ratio ที่ตั้งไว้ ซึ่งเป็นสถานที่ตามการอนุมานได้ คือ มีที่ตั้งอยู่บนถนนเส้นเดียวกัน และสามารถเดินทางด้วยรถส่วนตัวไปยังสถานที่ท่องเที่ยว นั้นได้ สถานที่อยู่ใกล้โรงพยาบาล ที่มีความอย่างปลอดภัยต่อ TouristA ซึ่งเป็นผู้สูงอายุ ซึ่งในกรณีนี้ สถานที่ท่องเที่ยวบางตัวที่เป็นไปตามผลการอนุมานที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ในฐานความรู้ อาจเป็นข้อมูลที่ไม่เคยถูกโหวตโดย TouristA เลย แต่ก็สามารถแนะนำออกมาได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับความน่าสนใจ รวมทั้งองค์ประกอบในกฎการอนุมาน สามารถแปลงไปเป็นคุณสมบัติของสถานที่ท่องเที่ยวในแต่ละคลาสของความสนใจ เพื่อนำมาสร้างตาราง User profile ในขั้นตอนการทำ Content-based clustering ได้อีกด้วย ดังรูปแบบต่อไปนี้

สถานที่ท่องเที่ยว AA จะประกอบด้วยคุณสมบัติ ดังนี้ 1) สามารถเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัวได้หรือไม่ (TravelOn) 2) มีถนนสายหลักเข้าถึงหรือไม่ (Access) 3) ตั้งอยู่ใกล้โรงพยาบาลหรือไม่ (Near) ทั้งนี้หาก สถานที่ท่องเที่ยว AA มีคุณสมบัติดังกล่าวทั้งหมด จะได้ค่า 1 1 1 เพื่อนำไปใช้เป็นตัวคูณกับผลโหวต ส่งผลให้การประมวลผลเพื่อสร้างคำแนะนำมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น

ผลการพัฒนาหน้าจอการทำงานในฟังก์ชันต่าง ๆ เว็บเชิงความหมาย ที่รองรับการแสดงผลแบบ Responsive web ทั้งในสมาร์ตโฟน และคอมพิวเตอร์ แสดงดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 หน้าหลัก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 แสดงการให้ความหมายเกี่ยวกับ (ก) ที่พักและจุดชมวิว และ (ข) ความปลอดภัยและอุปสรรคในเส้นทาง

จากภาพที่ 4 และภาพที่ 5 เว็บเชิงความหมาย จะสามารถรองรับการสืบค้นและแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ในการเชื่อมโยงโครงสร้างความรู้เชิงความหมาย รวมทั้งสามารถแนะนำรายการข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก และจุดที่น่าสนใจในสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ที่มีเนื้อหาคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกันมาแสดงผลด้วย ซึ่งช่วยทำให้ได้ข้อมูล

เพื่อการแนะนำที่มีความครอบคลุมและตรงกับพฤติกรรมและความต้องการของนักท่องเที่ยวเพิ่มมากยิ่งขึ้น รวมทั้งเว็บเชิงความหมาย จะมีฟังก์ชันในการขยายตัวอักษร และตัวช่วยอ่านข้อความจากหน้าเว็บเพจ

เว็บเชิงความหมายโดยใช้ออนโทโลยีและเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา (Ontology+CBF) ที่

พัฒนาแล้ว ได้ถูกนำประเมินประสิทธิภาพในการ
แนะนำข้อมูล เพื่อเทียบวัดประสิทธิภาพกับเว็บ
จัดการฐานข้อมูล (DBMS : Database management

system) และเว็บเชิงความหมายที่ใช้ออนโทโลยี
(Ontology) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการแนะนำข้อมูลโดยใช้ออนโทโลยีและเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหา

รายการทดสอบ	ผลลัพธ์ในการสืบค้น/แนะนำข้อมูลจากระบบต่าง ๆ								
	Ontology+ CBF			Ontology			DBMS		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1. ความปลอดภัยในการเดินทางใน สถานที่ท่องเที่ยว Target keywords: ป้ายเตือน, ราวจับ, กัน ลื่น, พนักงานรักษาความปลอดภัย	4	0	0	3	1	1	2	3	2
2. เส้นทางที่ติดตั้งอุปกรณ์ปฐมพยาบาล Target keywords: เขาคือเฮอริเบอรี่, เดอะบลูสกายรีสอร์ท, ภูลมชมดาว, รีสอร์ตสบายใจ	4	0	0	3	1	1	1	1	3
3. ที่พักใกล้ ๆ กับสถานที่ท่องเที่ยว Target keywords: ฟิโน ลาเตรีสอร์ท, วิล ล่า ป่าสน, บาร์ล้านวิว, เดอะบลูสกายรี สอร์ท	3	1	0	3	1	1	1	2	3
4. สถานที่ท่องเที่ยวในหมวดเดียวกัน Target keywords: เขาคือเฮอริเบอรี่, อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง , เดอะบลู สกายรีสอร์ท, วิวทะเลหมอก เขาตะเคียน โจ๊ะ, ไฮเดรนเยีย เขาคือ x Gino's cafe	4	0	1	3	1	1	2	2	2
5. จดถ่ายภาพในสถานที่ท่องเที่ยว Target keywords: พระพุทธเจ้า 5 พระองค์, วิวทะเลหมอก, ออแกนิกฟาร์ม	3	0	0	3	1	1	2	1	2
Mean	3.60	0.20	0.20	3.00	1.00	1.00	1.60	1.80	2.40
Precision	94.70%			75.00%			47.10%		
Recall	94.70%			75.00%			40.00%		
F-measure	94.70%			75.00%			43.30%		

จากตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการแนะนำข้อมูลโดยใช้ออนไลน์และเทคโนโลยีและเทคนิคการกรองแบบอิงเนื้อหาสามารถแนะนำข้อมูลได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนตามความสนใจของผู้ใช้ โดยมีค่า F-measure เท่ากับ 94.70%

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บเชิงความหมายที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุเพื่อสนับสนุนการวางแผนการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพในอำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อฟังก์ชันเว็บเชิงความหมายเพื่อการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		แปลผล	จัดอันดับ
	$\bar{x}$	SD		
1. ความสวยงาม/นำใช้งานของเว็บในภาพรวม	3.48	0.65	ปานกลาง	5
2. การจัดวางเนื้อหา และเมนูที่ใช้งานได้ง่าย	3.49	0.57	ปานกลาง	4
3. ความปลอดภัยในการรักษาข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งาน	4.46	0.78	มาก	3
4. การแนะนำข้อมูลจากเว็บช่วยสนับสนุนการวางแผนและตัดสินใจในการท่องเที่ยว	4.49	0.67	มาก	1
5. ฟังก์ชันที่ตอบโจทยความต้องการและข้อจำกัดของผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.48	0.71	มาก	2
ค่าเฉลี่ยในภาพรวม	4.08	0.68	มาก	

จากตารางที่ 3 ระดับความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อฟังก์ชันเว็บเชิงความหมายเพื่อการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.08$, $SD = 0.68$) โดยสามารถเรียงลำดับด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดถึงต่ำที่สุด ดังนี้ ระดับความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อฟังก์ชันเว็บเชิงความหมายที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ได้แก่ 1) การแนะนำข้อมูลจากเว็บช่วยสนับสนุนการวางแผนและตัดสินใจในการท่องเที่ยว ($\bar{X} = 4.49$, $SD = 0.67$) 2) ฟังก์ชันที่ตอบโจทยความต้องการและข้อจำกัดของผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ($\bar{X} = 4.48$, $SD = 0.71$) และ 3) ความปลอดภัยในการรักษาข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งาน ($\bar{X} = 4.46$, $SD = 0.78$) ตามลำดับ ส่วนในระดับปานกลาง ได้แก่ 1) การจัดวางเนื้อหา และเมนูที่ใช้งานได้ง่าย ($\bar{X} = 3.49$, $SD = 0.57$) และ 2) ความสวยงาม/นำใช้งานของเว็บในภาพรวม ($\bar{X} = 3.48$, $SD = 0.65$) ตามลำดับ

สรุป

พฤติกรรมการท่องเที่ยวของผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีลักษณะการท่องเที่ยวเพื่อผ่อนคลาย พักค้างคืน และเดินทางไปท่องเที่ยวกับครอบครัว หรือหมู่คณะ และผู้สูงอายุมีการประสบปัญหาสุขภาพทางร่างกายและทักษะการใช้เทคโนโลยีเป็นอย่างมาก จึงต้องการฟังก์ชันการทำงานของเว็บเชิงความหมายที่มีการจัดวางรูปแบบของเว็บที่ผู้สูงอายุสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว ซึ่งการพัฒนาเว็บเชิงความหมายประกอบด้วยฟังก์ชัน 4 ส่วน ได้แก่ การสืบค้นสถานที่ท่องเที่ยว การให้คำแนะนำต่อรายการข้อมูล การผสมผสานออนไลน์กับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และการแสดงผลความรู้เชิงความหมายด้านการท่องเที่ยวและรายการคล้ายคลึงฐานความรู้ออนไลน์ สร้างจากผลการศึกษาและสังเคราะห์สาระความรู้ของสถานที่

ท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ บนเว็บไซต์ด้านการท่องเที่ยวตามแนวคิด 5ASM จากนั้นนำฐานความรู้ออนไลน์ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ทำการประเมินความถูกต้องครบถ้วน และความสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ เว็บไซต์ความหมายมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับศักยภาพทางร่างกายและความต้องการของนักท่องเที่ยวสูงอายุ เนื่องจากมีฟังก์ชันในการขยายตัวอักษร และตัวช่วยอ่านข้อความจากหน้าเว็บเพจ ประสิทธิภาพในการแนะนำข้อมูลโดยใช้ออนไลน์ และเทคนิคการกรอแบบอิงเนื้อหา มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเว็บไซต์ความหมายที่ใช้ออนไลน์ และเว็บจัดการฐานข้อมูล และยังช่วยให้ลดปัญหาการเกิด Cold start ลงได้ เนื่องจากออนไลน์จะสามารถเชื่อมโยงความรู้ด้วยกฎเชิงความหมาย ที่สามารถอนุมานข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความเกี่ยวข้องกันได้อย่างสมเหตุสมผล แม้ว่ารายการข้อมูลนั้นจะไม่ได้ถูกนำมาให้ผู้ใช้งานหาคะแนนมาก่อน และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อแอปพลิเคชัน พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจต่อการแนะนำข้อมูลผ่านเว็บในภาพรวม อยู่ในระดับมาก เพราะว่าเว็บไซต์ความหมายมีจุดเด่นที่จะทำการแนะนำเชื่อมโยงข้อมูลได้ดีขึ้น งบประมาณ เส้นทางในการท่องเที่ยวต่าง ๆ สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์บนเว็บไซต์ความหมาย แต่ทั้งนี้ด้านความสวยงามของเว็บไซต์สูงอายุพึงพอใจน้อยที่สุด เนื่องมาจากผู้วิจัยมุ่งเน้นการออกแบบที่ตอบโจทย์ประสิทธิภาพในการแนะนำข้อมูล หรือประมวลผลข้อมูลเป็นหลัก โดยไม่ได้เน้นการออกแบบกราฟฟิกมากพอสมควร ดังนั้นเพื่อให้การออกแบบกราฟฟิกสวยงามมากยิ่งขึ้น ควรจะมีคำนึงถึงในหลักการ และทฤษฎีของสี หรือมีการออกแบบเทมเพลตให้สวยงามมากขึ้น เพื่อให้ผู้สูงอายุมีการพึงพอใจต่อการใช้เว็บไซต์ความหมายในรูปแบบที่สวยงาม และดึงดูดสร้างความสนใจในการนำเว็บไซต์ความหมายไปใช้งานเพิ่มมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Bangkokbiznews. 2020. **The trend of traveling for the elderly is hot! Checklist 5 places to visit for the 'retirement' age.** Business Bangkok. Available Source: https://www.bangkokbiznews.com/lifestyle/8977706?fbclid=IwAR1UqywPU_da_vDTu7_FV11cP8m7HNIJuZNYDt7XabjZKEYcB6YYPqs9f7e4, May 27, 2022. (in Thai).
- Chimpalee, J. 2020. The Service Quality in Health Tourism of Natural Hot Spring. **Journal of Humanity and Society, Ratchepuek University** 6(3): 1-14. (in Thai)
- Cochran, W.G. 1977. **Sampling Techniques.** 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Dickman, S. 1996. **Tourism: An introductory text.** 2nd ed. Hodder Education, Sydney.
- Goncalves, V.P., Seraphini, S., Neris, V.P. and Ueyama, J. 2013. Flex interface: A framework to provide flexible mobile phone user interfaces, pp. 143-150. **In Proceedings of the 14th International Conference on Enterprise Information System.** Wroclaw, Poland.
- Google. 2022. **Google Text to Speech.** Available Source: <https://cloud.google.com/text-to-speech>, May 27, 2022.
- Hatta, M.H., Sidi, H., Siew Koon, C., Che Roos, N.A., Sharip, S., Abdul Samad, F.D., Wan Xi, O., Das, S. and Mohamed Saini, S. 2022. Virtual Reality (VR) Technology for Treatment of Mental Health Problems during COVID-19: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 19(9): 5389.

- Inthapichai, P. and Chintakovid, T. 2018. A Development of Tourism-Related Websites Design Guidelines for Senior Web Users. **Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok** 9(1): 1-9. (in Thai)
- Jupalle, H., Kouser, S., Bhatia, A.B., Alam, N., Nadikattu, R.R. and Whig, P. 2022. Automation of human behaviors and its prediction using machine learning. **Microsystem Technologies** 28: 1879-1887.
- Kaewka, K. 2007. **Tourism Behavior of Retried Government Office**. Published documents, Mahidol University, Bangkok.
- Kan, T., Ku, E.C.S., Sun, W.C.W., Lai, T.C., Hsu, P.Y. and Hsu, S.C. 2022. Wellness Tourism Enhances Elderly Life Satisfaction. **Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism** 24(4): 402-428.
- Khaokoh Subdistrict Administrative Organization. 2022. **Normal Information of Khaokoh District**. Available Source: <https://www.khaokho.go.th/index/?page=article4937>, May 28, 2022.
- Khelloufi, A., Ning, H., Dhelim, S., Qiu, T., Ma, J., Huang, R. and Atzori, L. 2021. A Social-Relationships-Based Service Recommendation System for SIoT Devices. **IEEE Internet of Things Journal** 8: 1859-1870.
- Nitiyuwit, T. 2019. Recommendation system Khao Kho natural tourism by ontology. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University** 39(5): 514-522. (in Thai)
- Phetchabun Strategic plan office. 2011. **Provincial development plan year 2018-2022**. Published documents, Phetchabun Provincial Office, Phetchabun. (in Thai)
- Ryen, V., Soylu, A. and Roman, D. 2022. Building Semantic Knowledge Graphs from (Semi-) Structured Data: A Review. **Future Internet** 14(5): 129.
- Salaiwarakul, A. 2022. A Historical Tourism Recommendation System for the Elderly Tourist Using Natural Language Processing and the Ontology Technique. **Journal of ICIC Express Letters** 16(4): 409-417.
- Sharma, S., Rana, V. and Malhotra, M. 2022. Automatic recommendation system based on hybrid filtering algorithm. **Education and Information Technologies** 27(2): 1523-1538.
- Sriampornekkul, L. and Chuntuk, T. 2018. Quality tourism for senior tourists. **Journal of Humanities and Social Sciences** 4(1): 12-28. (in Thai)
- Stanford University. 2020. **A Free, Open-Source Ontology Editor and Framework for Building Intelligent Systems**. Available Source: <https://protege.stanford.edu>, May 27, 2022.
- Sungrugsa, N., Plomelersee, S. and Warabamrumgkul, T. 2016. Styles and Behavior in Slow Tourism for Senior Tourists in the Thai Western Region. **University of the Thai Chamber of Commerce Journal Humanities and Social Sciences** 36(2): 1-19. (in Thai)

ชอร์ปชันไอโซเทิร์มและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา

Sorption Isotherm and Quality Changes during Storage of Snack from Green Mussel and Hom-Kradang-Nga Rice

วิชมนิ ยืนยงพุททกาล^{1*} สิริมา ชินนสาร¹ และ พิชฌอร ไหมสุทธีสกุล²

Wichamanee Yuenyongputtakal^{1*}, Sirima Chinnasarn¹ and Pitchaon Maisuthisakul²

Received: 1 February 2022, Revised: 17 October 2022, Accepted: 7 November 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของความชื้นของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นของตัวอย่างด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัว ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.9 พบว่า ที่อุณหภูมิคงที่ค่าความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถใช้ทำนายปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลอง โดยมีค่า SEE เท่ากับ 1.10 และ 1.13 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.99 สำหรับการติดตามคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่า L^* และค่าความแข็งลดลงระหว่างการเก็บ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับปริมาณความชื้นและค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.70-7.10 (จาก 9 คะแนน) ตลอดการเก็บซึ่งแสดงถึงความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

คำสำคัญ: ชอร์ปชันไอโซเทิร์ม, การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ, ขนมขบเคี้ยว

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, Mueang, ChonBuri 20131, Thailand.

² สาขาวิชาบูรณาการส่งเสริมสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

² Integrated Wellness and Beauty Program, Faculty of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce, Din Daeng, Bangkok 10400, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, email): wich@go.buu.ac.th

ABSTRACT

Sorption isotherms of mussel and Hom-kradang-nga rice snacks were determined at 35 °C and 45 °C with a controlled humidity system using a saturated salt solution with a_w ranging from 0.2 to 0.9. It was found that the equilibrium humidity of the product increased as the a_w value increased at constant temperature. The characteristic shapes of the curve plotted between moisture content and a_w values of snack were sigmoid. GAB mathematical models highly correlated with the experimental data of the equilibrium moisture content of products at 35°C and 45 °C. The SEE values were 1.10 and 1.13, respectively, and the R^2 value was 0.99. Additionally, L^* color and hardness values decreased during the 4-week storage at room temperature ($p < 0.05$). While moisture content and a_w tended to rise ($p < 0.05$), a^* and b^* color values were not significantly different ($p > 0.05$). Furthermore, the product was safe for consumption because the total microbial count was less than 1×10^6 cfu/g. The yeast and mold content did not exceed 100 cfu/g. The snack product received an overall liking score in the range of 6.70- 7.10 (out of 9) indicating a slightly moderate liking.

Key words: Sorption isotherms, quality change, snack

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Snack food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั่วโลก เนื่องจากเป็นอาหารที่รับประทานได้ง่าย มีหลากหลายรูปแบบและรสชาติให้เลือก ตลาดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยเป็นตลาดหนึ่งที่ใหญ่ที่สุดและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากที่สุด ในภาคพื้นเอเชียแปซิฟิก โดยในปี พ.ศ. 2563 มีรายงานว่ามูลค่าตลาดขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยสูงถึง 48,990.2 ล้านบาท ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2562 ร้อยละ 5.63 และมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การเติบโตนี้เกิดขึ้นพร้อมกับความต้องการของผู้บริโภคที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างและแปลกใหม่ รวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น เช่น ใช้ส่วนผสมที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น ใช้ส่วนผสมจากท้องถิ่นธรรมชาติ ไม่ใช้สารปรุงแต่งรส

ใช้กรรมวิธีการแปรรูปโดยการอบแทนการทอด เป็นต้น (Food Intelligence Center, 2021)

ในมุมมองของผู้ผลิตจึงต้องสร้างความแตกต่างแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์ของตนเองอยู่เสมอเพื่อดึงดูดความสนใจและสร้างจุดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดใหม่ จากการทำการทดลองเบื้องต้นพบว่า สูตรต้นแบบขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาและทำให้สุกด้วยการอบได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการและแนวคิดผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับความต้องการของผู้ทดสอบ เมื่อพิจารณาศักยภาพของวัตถุดิบทั้งในแง่ของการจัดหาวัตถุดิบและคุณค่าทางโภชนาการ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิต โดยหอยแมลงภู่เป็นหอยเศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงในประเทศไทยปริมาณมากชนิดหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการนำหอยไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ยังมีไม่มากนัก จำกัดอยู่ในบางรูปแบบ เช่น หอยแห้งปรุงรส หอยทอดกรอบบรรจุกระป๋อง หอยต้มแช่แข็ง

เป็นต้น ทั้งที่หอยแมลงภู่ เป็นอาหารทะเลที่มีโปรตีนสูง (ประมาณ 12%) มีแร่ธาตุและวิตามินหลากหลายชนิด (Coastal Aquaculture Research and Development Division, 2004) สำหรับข้าวหอมกระดังงา เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองชนิดหนึ่ง มีเอกลักษณ์ที่สำคัญ คือ มีกลิ่นหอมคล้ายดอกกระดังงา มีสีแดง และเนื้อสัมผัสนุ่ม ข้าวหอมกระดังงามีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินอี วิตามินบี และสารกาบา (GABA) นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น ธาตุเหล็ก แคลเซียม สังกะสี และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Kaewnango *et al.*, 2014) โดยหน่วยงานภาครัฐมีการวิจัยและพัฒนาพันธุ์และส่งเสริมให้ปลูก บริโภค และแปรรูปอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์ม (Sorption isotherm) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นการทราบข้อมูลที่ช่วยประเมินสถานะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการผลิตเพื่อการจัดจำหน่าย โดยชอร์ปชันไอโซเทิร์มเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) กับปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ หรือกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหารไปยังอากาศรอบ ๆ โดยลักษณะของชอร์ปชันไอโซเทิร์มเป็นผลจากองค์ประกอบและโครงสร้างของอาหารในการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของอาหารนิยมใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) โดยสามารถทำนายค่าความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (Mgm) และค่าคงที่ต่าง ๆ จากสมการได้ ซึ่งจะช่วยอธิบายถึงปริมาณน้ำที่เกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างแข็งแรงกับโมเลกุลของสารในอาหารที่ยากแก่การระเหยออกซึ่งจะสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถประเมินรูปแบบของชอร์ปชันไอโซเทิร์มที่ได้ว่าเป็นรูปแบบใด ซึ่งมีประโยชน์ในการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่

เหมาะสมเพื่อลดการเคลื่อนย้ายความชื้นระหว่างอาหารกับสถานะแวดล้อมได้ด้วย (Thalermgawachart and Duangmal, 2014; Mathlouthi, 2001; Sorapukdee *et al.*, 2016) เนื่องจากขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาสูตรขึ้นมาใหม่ จากการตรวจสอบจึงยังไม่พบว่ามีการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวชนิดดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงารวมทั้งติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยว ได้แก่ หอยแมลงภู่แห้ง จากตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี ข้าวหอมกระดังงา จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโคกอิฐ-โคกใน จังหวัดนราธิวาส และกลีเซอรอล (Food grade) และอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ เครื่องบดอาหารแห่งระบบใบมีดหมุนด้วยความเร็วสูง (บริษัท ไ้วหวด หยู, ประเทศไทย) เครื่องผสม (Thai mixer, รุ่น KV-05 ประเทศไทย) ตู้อบลมร้อนแบบถาด (E.K. Food Tech, ประเทศไทย) และตู้อบไฟฟ้า (Severin, รุ่น Typ2024 ประเทศเยอรมนี) สำหรับการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มใช้ชุดสารละลายเกลืออิ่มตัวมาตรฐาน ดังนี้ เกลือโพแทสเซียมอะซิเตด (CH_3COOK) แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โซเดียมโบรไมด์ (NaBr) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) และตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ (Mermert รุ่น ULE 500, ประเทศเยอรมนี)

2. การผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา

การเตรียมวัตถุดิบดำเนินการโดยนำหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงามาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 7-8 % บดเป็นผงให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ได้เป็นหอยแมลงภู่มะนาวผงและแป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ นอกจากนี้มีการใช้แป้งข้าวหอมกระดังงาสุกเป็นวัตถุดิบด้วย ซึ่งเตรียมโดยการนำข้าวหอมกระดังงาแช่น้ำ ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง รินน้ำที่แช่ทิ้ง แล้วต้มข้าวหอมกระดังงาในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1:4 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที จะได้ข้าว

หอมกระดังงาสุกจากนั้นอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 7-8 % บดเป็นผงให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช

การผลิตขนมขบเคี้ยวดำเนินการโดยนำส่วนผสมทั้งหมดผสมกันในเครื่องผสม (ตามรายละเอียดในตารางที่ 1) ในการผลิตแต่ละครั้งกำหนดใช้ส่วนผสมทั้งหมด 500 กรัม โดยนำส่วนผสมให้เข้ากันโดยใช้หัวผสมแบบตะขอ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนผสมมาขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร โดยใช้พิมพ์พลาสติกทรงกระบอก ตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 4 เซนติเมตร จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จนผลิตภัณฑ์สุก

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา 500 กรัม

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	คิดเป็น %
หอยแมลงภู่มะนาว	160	32.0
แป้งข้าวหอมกระดังงาสุก	26	5.2
แป้งข้าวหอมกระดังงาดิบ	80	16.0
น้ำ	210	42.0
กลีเซอรอล	24	4.8
รวม	500	100.0

3. การศึกษาข้อสรุปขั้นไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา

บดตัวอย่างขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช ซึ่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในภาชนะเปิดและเก็บไว้ในโถแก้วควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิด้วยสารละลายเกลือ CH_3COOK , MgCl_2 , K_2CO_3 , NaBr , NaCl , KCl และ BaCl_2 โดยมีค่า a_w 0.2-0.9 และควบคุมอุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยวาง

ตัวอย่างในตู้อบลมควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างทุกวันจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (Bianco *et al.*, 1997) และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995) ใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการของ GAB มาทำนายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ระดับ a_w ต่าง ๆ ทดสอบความน่าเชื่อถือของการทำนายจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และ Standard Error of Estimate (SEE) โดยสมการของ GAB มีรูปแบบการดังนี้

$$M = \frac{M_{gm} CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)}$$

เมื่อ	M	คือ ปริมาณความชื้น (g/100 g dry matter)
	a_w	คือ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี
	M_{gm}	คือ ปริมาณความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (g/100 g dry matter)
	K, C	คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ
โดยที่	$K = K_0 \exp \frac{-E_l}{RT}$ และ $C = C_0 \exp \frac{-E_l}{RT}$	
	E_l	คือ พลังงานชอร์ปชันของมัลติเลเยอร์ (kJ/kmol)
	T	คือ อุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้ง (K)
	R	คือ ค่าคงที่ของก๊าซสากล (8,314 kJ/ mol K)

4. การติดตามคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจาก หอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บ

นำขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงามาเก็บรักษา โดยบรรจุตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น (น้ำหนักประมาณ 20 กรัม) ในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminiumfoil-LDPE) ขนาดถุง 10*13 เซนติเมตร เก็บที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 3 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab Colorimeter, รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา) และรายงานผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^* ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro System, รุ่น TA.XT Plus ประเทศอังกฤษ) และรายงานเป็นค่า Hardness ค่า a_w วัดด้วยเครื่องวัด a_w (Novasina, รุ่น Thermo constanter TH 200 ประเทศสวีตเซอร์แลนด์) ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (Bacteriological Analytical Manual (BAM), 2003) และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด) คุณลักษณะที่

ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบกลุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ยกเว้นการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบกลุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab version 18

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยว จากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงา

จากการผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงาซึ่งมีลักษณะส่วนผสมหลังการนวด หลังการขึ้นรูปเป็นแท่ง และผลิตภัณฑ์หลังการอบแสดงดังภาพที่ 1 และนำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้นี้มาศึกษาชอร์ปชันไอโซเทิร์มที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และค่า a_w 0.2-0.9 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภูและข้าวหอมกระดังงากับค่า a_w ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่า

ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape หรือ กราฟรูปตัวเอส ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่พบในอาหาร โดยทั่วไปที่มีทั้งสารโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน รวมอยู่กับ ตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล (Thalerngnawachart and Duangmal, 2014; Pannarunothai, 2000; Aviara, 2020) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chinnasarn *et al.* (2012) ที่ได้ศึกษาซอร์ปชัน ไอโซเทิร์มของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากซูริมิและ แป้งลูกเดี๋ย ซึ่งมียอดประกอบของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่ และข้าวหอมกระดังงา โดยในสูตรของผลิตภัณฑ์มี องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนรวมอยู่ กับเกลือซึ่งเป็นตัวถูกละลาย จากผลการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวดังกล่าวมีความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เป็นรูป Sigmoid shape เช่นเดียวกัน และจาก งานวิจัยของ Farahnaky *et al.* (2009) ที่ศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลต่อซอร์ปชัน ไอโซเทิร์มของ มะเดื่อผงอบแห้ง พบว่า การเติมกลีเซอรอลลงใน มะเดื่อผงจะทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์กับค่า a_w เปลี่ยนจากรูป J shape เป็นรูป Sigmoid shape ซึ่งผลสอดคล้องกับ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอม กระดังงาซึ่งมีการเติมกลีเซอรอลในสูตรด้วยและ พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นรูป Sigmoid shape เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถเพิ่ม การดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ โดยโมเลกุลของ กลีเซอรอลที่เข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างช่วยลดการอัดแน่นของโครงสร้างตาข่ายของโปรตีน เมื่อ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์หลวมขึ้นจึงส่งผลให้การดูด ซับ โมเลกุลของ น้ำใน ผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ด้วย (Sorapukdee *et al.*, 2016) โดยเฉพาะที่ความชื้น สัมพัทธ์สูงซึ่งจากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า a_w อยู่

ในช่วง 0.7-0.9 (ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90%) ปริมาณ ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน และเมื่อ พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ทั้งสอง อุณหภูมิมีลักษณะเส้นกราฟของการเปลี่ยนแปลง ความชื้นในรูปแบบเดียวกัน แต่การเปลี่ยนแปลง ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ คือ 35 องศา เซลเซียสนั้นจะเกิดขึ้นต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 45 องศา เซลเซียส จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่หากเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งเป็นอุณหภูมิในสภาวะ ในการเก็บผลิตภัณฑ์จริง แนวโน้มของการ เปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์เมื่อค่า a_w สูงขึ้น จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันแต่ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส นั่นคือ ผลิตภัณฑ์จะสามารถ ดูดความชื้นได้เร็วเมื่อค่า a_w สูงกว่า 0.6 ดังนั้น จึงควร พิจารณานิคมของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกัน ความชื้นได้ดี เช่น บรรจุภัณฑ์ประเภทโลหะ แก้ว หรือซองบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีการเคลือบแผ่น เปลวอลูมิเนียม เป็นต้น

เมื่อทดลองแทนค่าปริมาณความชื้นสมดุล และค่า a_w ลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่า ความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K และ C ได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ที่อุณหภูมิ เดียวกัน ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่า a_w สูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้น โมเลกุลของ GAB หรือค่า M_{gm} พบว่า อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีค่า M_{gm} สูงกว่าที่ 35 องศา เซลเซียส เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะส่งผล ทำให้การระเหยของน้ำที่อาจถูกยึดเหนี่ยวกับ โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย รวมไปถึงน้ำที่เกาะกับแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ออกมา มากขึ้น ทำให้มีปริมาณความชื้นสมดุลสูง (Mohamed *et al.*, 2004) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ

ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์คล้ายเจอร์กี้กับค่า a_w มีลักษณะเป็นรูป Sigmoid shape ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถทำนายปริมาณความชื้นสมดุลในช่วงค่า a_w 0.2 – 0.9 ได้ดี โดยที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่า SEE เท่ากับ 1.10 และ 1.13 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.99 ทั้งสองอุณหภูมิโดยค่า R^2 เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่บ่งชี้ให้ทราบถึงความสอดคล้องระหว่างสมการและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0

ถึง 1 โดยหากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความสอดคล้องกับข้อมูลผลการทดลองมาก ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับได้คือค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 นอกจากนี้ยังใช้พารามิเตอร์ทางสถิติในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในรูปแบบของค่า SEE ซึ่งหากสมการได้ค่า SEE ต่ำ แสดงว่าสมการนั้นสามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดี



(ก)

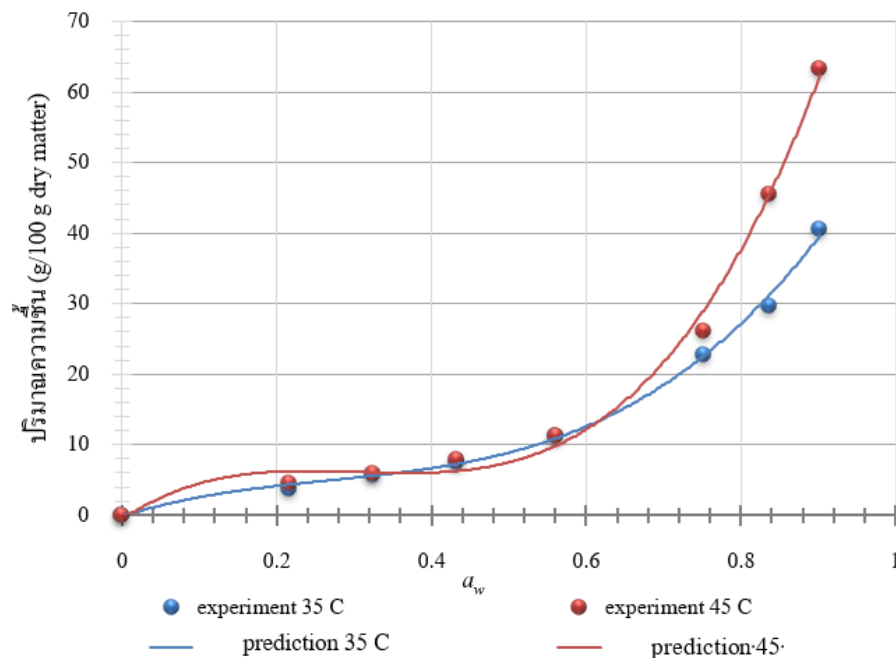


(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 ลักษณะส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงา หลังการนวด (ก) หลังการขึ้นรูปเป็นแท่ง (ข) และผลิตภัณฑ์หลังการอบ (ค)



ภาพที่ 2 ซอร์ปชันไอโซเทิร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง (experiment) และค่าที่ได้จากการทำนาย (prediction) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K ค่าคงที่ C ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	M_{gm} (g/100 g dry matter)	C	K	SEE	R^2
35	8.18	1.70	0.73	1.10	0.99
45	8.67	1.07	0.97	1.13	0.99

2. คุณภาพขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

จากการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Aluminiumfoil-LDPE ที่อุณหภูมิห้องแล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านค่าสี ค่า Hardness ค่า a_w และปริมาณความชื้นแสดงดังภาพที่ 3 4 และ 5

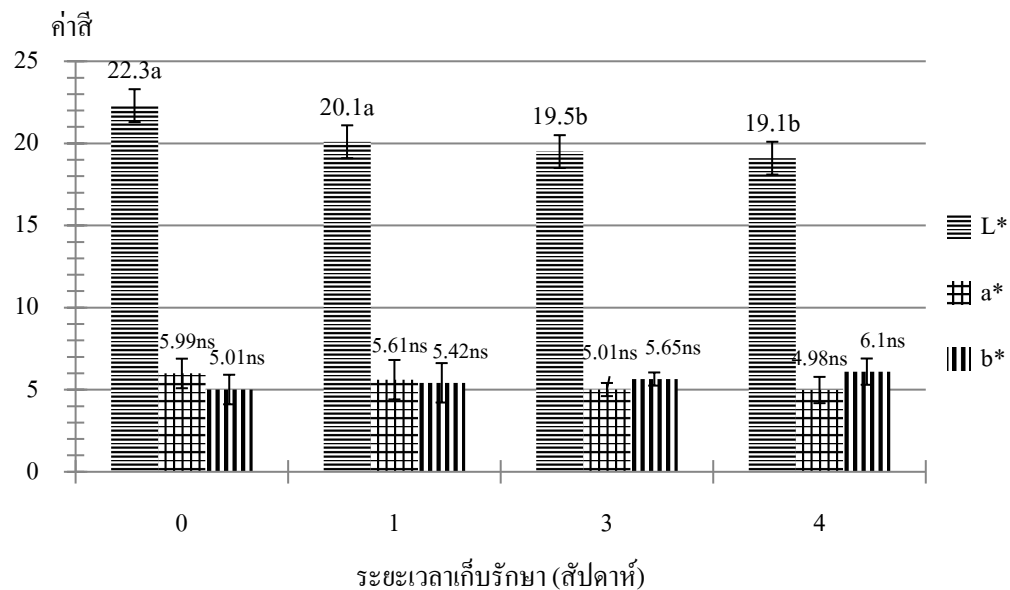
จากภาพที่ 3 พบว่า ค่าสี L^* ลดลงระหว่างการเก็บ 4 สัปดาห์ แสดงถึงมีความสว่างลดลง ($p < 0.05$) ส่วนค่า a^* และ b^* มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p \geq 0.05$) การที่ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสว่างลดลงหรือมีแนวโน้มสีคล้ำอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บรักษาอาหารโดยมีปัจจัยที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ความชื้น ค่า a_w และอุณหภูมิ ปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้เกิดจากน้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) ได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำ (ค่า a_w มากกว่า 0.2) และทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอมีน (Amine) โดยเฉพาะกรดแอมิโน (Amino acid) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้สารเมลานอยดิน (Melanoidins) ซึ่งมีสีน้ำตาล (Nursten, 2005) สำหรับงานวิจัยนี้ส่วนผสมที่ใช้เป็นแหล่งของทั้งกรดแอมิโน

และน้ำตาลรีดิวซิง เช่น หอยแมลงภู่เป็นแหล่งของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ และแป้งข้าวหอมกระดังงาเป็นแหล่งของน้ำตาลรีดิวซิง

คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสัมพันธ์กับการยอมรับของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคอย่างมาก เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของขนมขบเคี้ยวระหว่างการเก็บรักษา จากภาพที่ 4 พบว่า ตลอดการเก็บ 4 สัปดาห์ ค่า Hardness มีค่าอยู่ในช่วง 7.90 - 8.89 kg โดยค่า Hardness มีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) อาจเนื่องมาจากการระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ยังมีโอกาสดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุและทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้อาจไม่ได้มีผลต่อความปลอดภัยและการยอมรับของผู้บริโภค สอดคล้องกับที่ Lucas *et al.* (2018) รายงานว่า เมื่อเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง (Extrusion) บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี พบว่า ปริมาณความชื้นและค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิน 6% รวมทั้งค่า Hardness เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น จึงยังทำให้มีแนวโน้มปลอดภัยจากการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในสูตรการผลิตขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาในงานวิจัยนี้ มีการเติมกลีเซอรอลร่วมด้วยร้อยละ 4.8

ซึ่งกลีเซอรอลเป็นสารควบคุมความชื้น (Humectant) ที่จัดเป็นสารประกอบพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ (Polyhydroxy alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ การเติมกลีเซอรอลจึงใช้เพื่อลดค่า a_w และ

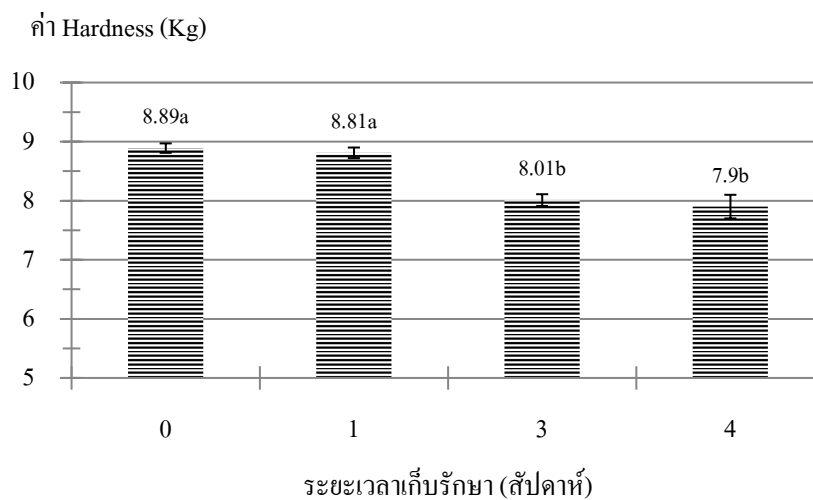
ความชื้นของอาหารให้ต่ำลง ซึ่งเป็นประโยชน์ด้านการลดความเสี่ยงจากการเจริญของจุลินทรีย์ ป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่นรส และรสชาติระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Cauvian and Young, 2000)



ภาพที่ 3 ค่าสี L* a* และ b* ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

a, b, ... ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

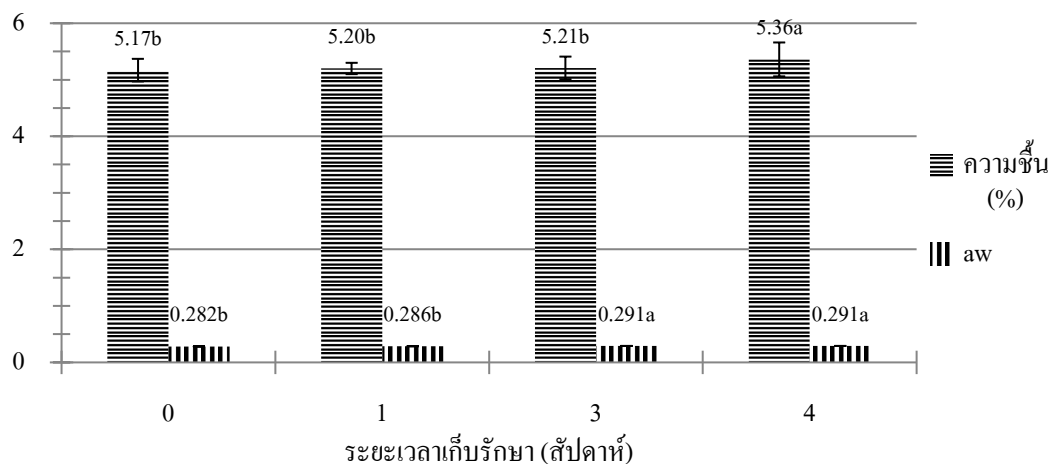


ภาพที่ 4 ค่า Hardness ของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

a, b, ... ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

จากภาพที่ 5 พบว่า ตลอดเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.282-0.291 แสดงให้เห็นว่าค่า a_w เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่า a_w ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียงคือ ข้าวกรอบปรุงรส (Thai Community Product Standard, 2019) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวมาทำให้สุก ผสมกับเกลือ พริกไทย และส่วนประกอบอื่น เช่น ปลาป่น อัดให้เป็นชิ้น ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่นแล้วทอดในน้ำมันจนสุกกรอบ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดไว้ว่าค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.6 สำหรับ

ด้านปริมาณความชื้น พบว่า ตลอดเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ มีค่าอยู่ในช่วง 5.17% – 5.36% โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดวัสดุของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ยังคงยอมให้น้ำผ่านเข้าออกได้อยู่บ้าง โดยวัสดุนิด Aluminiumfoil-LDPE มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Moisture Vapour Transmission Rate) น้อยกว่า 0.01 กรัม/ตารางเมตร/วัน (ที่ 38 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 90%) (Flexifoil Packaging PVT Ltd, 2012) โดยส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวสามารถดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุได้ระหว่างการเก็บ



ภาพที่ 5 ค่า a_w และปริมาณความชื้นของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา
a, b, ... ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาเก็บรักษาต่างกัน

จากภาพรวมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาที่ผลิตได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงด้านสี เนื้อสัมผัส และปริมาณความชื้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wani and Kumar (2016) ที่รายงานว่า ขนมขบเคี้ยวจากแป้งถั่วและแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดพอง (Extrusion) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 วัน โดยบรรจุขนมขบเคี้ยวในถุงพลาสติกชนิด

พอลิเอสเตอร์และพอลิเอทิลีนเคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์ (Polyester-Aluminium-Polypropylene) มีแนวโน้มค่าสี L^* ลดลงตามเวลาที่เก็บ ซึ่งหมายถึงขนมขบเคี้ยวมีสีคล้ำ ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะมาจากการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ สำหรับเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness พบว่า มีค่าลดลงจาก 10.14 N เหลือ 6.66 N โดยค่า Hardness ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากการสร้างพันธะของโมเลกุลที่ชอบน้ำ

(Hydrophilic bonds) สำหรับปริมาณความชื้น พบว่าผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นประมาณ 3% เมื่อเก็บรักษาครบ 120 วัน ทั้งนี้เกิดจากการดูดซับความชื้นในช่องว่างภาชนะบรรจุนั่นเอง

นอกจากการวิเคราะห์ด้านเคมีกายภาพแล้ว ในระหว่างการเก็บรักษาขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่

และข้าวหอมกระดังงาซึ่งบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Aluminiumfoil-LDPE ที่อุณหภูมิห้อง ได้สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์และประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงา ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาเก็บรักษา (สัปดาห์)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)
0	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
1	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
2	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
3	$<1 \times 10^1$	$<1 \times 10^1$
4	1×10^2	$<1 \times 10^1$

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่และข้าวหอมกระดังงาระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา เก็บรักษา (สัปดาห์)	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.13 $\pm$ 1.00 ^a	6.14 $\pm$ 0.81 ^a	6.50 $\pm$ 1.11	6.69 $\pm$ 1.01	7.10 $\pm$ 1.00 ^a	7.10 $\pm$ 1.14 ^a
1	7.00 $\pm$ 1.01 ^a	6.04 $\pm$ 0.97 ^a	6.51 $\pm$ 1.04	6.60 $\pm$ 1.41	7.09 $\pm$ 1.01 ^a	7.09 $\pm$ 1.90 ^a
2	7.01 $\pm$ 0.81 ^a	6.01 $\pm$ 0.77 ^a	6.47 $\pm$ 1.07	6.79 $\pm$ 0.91	7.05 $\pm$ 0.81 ^a	7.01 $\pm$ 0.81 ^a
3	6.55 $\pm$ 1.09 ^b	6.02 $\pm$ 1.10 ^a	6.41 $\pm$ 0.69	6.59 $\pm$ 1.04	6.70 $\pm$ 1.09 ^b	6.85 $\pm$ 1.47 ^b
4	6.50 $\pm$ 1.10 ^b	5.94 $\pm$ 1.04 ^b	6.50 $\pm$ 1.24	6.60 $\pm$ 1.19	6.59 $\pm$ 1.10 ^b	6.70 $\pm$ 1.09 ^b

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของข้าวกรอบปรุงรส (Thai Community Product Standard, 2019) พบว่า มีปริมาณ

จุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกิน 100 cfu/g แสดงถึงผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ด้านสุขลักษณะทั่วไปในระหว่างการผลิต จากตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาท

สัมผัส พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p < 0.05$) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่นรส และรสชาติ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มคล้ายกันคือ ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 1 และ 2 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บถึง 3 และ 4 สัปดาห์ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลง ($p \geq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบยังอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แสดงถึงขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงายังคงเป็นที่ยอมรับ ตามข้อสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงด้านค่า Hardness (ภาพที่ 4) ที่พบว่าเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 3 และ 4 สัปดาห์ ค่า Hardness ลดลงจากที่ 0 สัปดาห์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.90 kg - 8.01 kg ซึ่งแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งลดลงจึงมีผลให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลงจากที่ 0 สัปดาห์ด้วย โดยได้รับคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสในช่วง 6.59-6.70 สำหรับคะแนนความชอบด้านสี พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บ 0 1 2 และ 3 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บถึง 4 สัปดาห์ ได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับการลดลงของค่า L^* (ภาพที่ 3)

สรุป

ลักษณะของซอร์ปชันไอโซเทอร์มของขนมขบเคี้ยวจากหอยแมลงภู่มะนาวและข้าวหอมกระดังงาเป็นแบบ sigmoid shape และสามารถใช่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB เพื่ออธิบายความสัมพันธ์

ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลและค่า a_w ทั้งที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียสได้ดี โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่พัฒนาได้นี้มีค่าความชื้นในหนึ่งชั้นโมเลกุลเป็น 8.68-8.67 g/100 g dry matter ดังนั้นหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและอายุการเก็บนาน จะต้องอบผลิตภัณฑ์ให้ถึงค่าความชื้นในหนึ่งชั้นโมเลกุลนี้ ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก Aluminiumfoil-LDPE ระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างและความแข็งลดลงระหว่างการเก็บ ในขณะที่ปริมาณความชื้นและค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ด้านสุขลักษณะทั่วไปในระหว่างการผลิตและยังได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรวมทั้งใช้เป็นแนวทางประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ อย่างไรก็ตาม อาจมีการเพิ่มระยะเวลาในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาให้นานขึ้น เพื่อสามารถประเมินอายุการเก็บรักษา รวมทั้งอาจมีการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ในด้านอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น กลิ่น หิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทูตสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่สัญญา 147/2561

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1995. **Official methods of analysis**. 16th ed. Association of official analytical chemists. Washington DC, USA.
- Aviara, N.A. 2020. Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products, pp. 1-33. *In* Kyzas, G and Lararidis, N., eds. **Sorption in 2020s**. Intech Open, London.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). 2003. **Food Sampling/ Preparation of sample Homogenate Chapter 1**. Available Source: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-1-food-samplingpreparation-sample-homogenate>, June 2, 2019.
- Bianco, A.M., Pollio, M.L., Resnik, S.L., Boente, G. and Larumbe, A. 1997. Comparison of water sorption behavior of three rice varieties under different temperatures. **Journal of Food Engineering** 33: 395-403.
- Cauvian, S.P. and Young, L.S. 2000. **Bakery Food Manufacturing and Quality: Water Control and Effects**. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Chinnasarn, S., Yuenyongputtakal, W. and Chinnasarn, K. 2012. **Research Report on Development of healthy snack from surimi and job's tears flour**. NRU & HERP, Bangkok. (in Thai)
- Coastal Aquaculture Research and Development Division. 2004. **Smart Farmer: Clam Cultivation**. Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Farahnaky, A., Ansari, S. and Majzoobi, M. 2009. Effect of glycerol on the moisture sorption isotherms of figs. **Journal of Food Engineering** 93: 468-473.
- Flexifoil Packaging PVT Ltd. 2012. **Barrier Properties of Films**. Available Source: <http://www.flexifoilpackaging.com/barrier-properties-films>, July 21, 2020.
- Food Intelligence Center. 2021. **Snacks Product Trend**. Market Intelligence. Available Source: <http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=354>, March 11, 2020. (in Thai)
- Kaewnango, E., Saeng-arun, N., Suwann, S., Thongchai, A., Saeton, S., Panichkij, S., Posiri, W., Dantaweesin, W., Chotechuen, S., Cheaupun, K., Wongpiyachon, S., Akkaravessapong, P., Pantuwan, G., Nookong, B., Srisuwan, C., Plodplong, K. and Moo-na, M. 2014. PTNC09002-59 : Hawm Gra Dang Ngah Narathiwat New Native Landrace Rice, pp.105-117. *In Proceedings of the 31st Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference*. Division of Rice Research and Development, Bangkok. (in Thai)
- Lucas, B.F., de Moraes, M.G., Santos, T.D., Jorge Alberto, J. and Costa, V. 2018. Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. **LWT- Food Science and Technology** 90 (1): 270-276.
- Mathlouthi, M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. **Food Control**. 12(7): 409-417.
- Mohamed, L.A., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S. and Mahrouz, M. 2004. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter

- orange leaves (*Citrus aurantium*). **Journal of Food Engineering** 67(4): 491-498.
- Nursten, H. 2005. **The Maillard Reaction**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Pannarunothai, R. 2000. The role of water activity in the food industry. **Charpa Journal** 56(7): 57-61. (in Thai)
- Sorapukdee, S., Uesakulrungrueng, C. and Pilasombut, K. 2016. Effects of humectant and roasting on physicochemical and sensory properties of jerky made from spent hen meat. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources** 36(3): 326-334.
- Thai Community Product Standard. 2019. **Seasoning Crispy Rice: 10501/2562**. Ministry of Industrial, Bangkok. (in Thai)
- Thalerngnawachart, S. and Duangmal, K. 2014. Moisture sorption isotherms of osmosed-air dried fruits. **KKU Science Journal** 42(1): 25-37. (in Thai)
- Wani, S.A. and Kumar, P. 2006. Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. **LWT-Food Science and Technology** 74 (1): 448-455.

ผลของแป้งข้าวสังข์หยดและมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี

Effects of Sungyod Rice Flour and Maltodextrin on Quality of Cookies

สุธาสินี ทองนอก *

Sutasinee Thongnok *

Received: 2 February 2022, Revised: 4 October 2022, Accepted: 7 November 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสังข์หยด (ร้อยละ 0, 40, 60 และ 80 โดยน้ำหนัก) และมอลโตเดกซ์ทรินทดแทนไขมัน (ร้อยละ 0, 30, 50 และ 70 โดยน้ำหนัก) ต่อคุณภาพทางกายภาพ (ค่าสี และเนื้อสัมผัส) คุณภาพทางเคมี (ความชื้นและไขมัน) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อค่า L^* และ b^* ลดลง แต่ค่า a^* และค่าความแข็งของคุกกีเพิ่มขึ้น ส่วนค่าทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ผู้บริโภคนั้นจะคะแนนความชอบรวมมากที่สุดที่ปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 60 ส่วนการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์คุกกี พบว่า ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความชื้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และคุกกีทดแทนมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 30 ได้รับคะแนนความชอบทางด้าน รสชาติและความชอบโดยรวมสูงที่สุด (8.18)

คำสำคัญ: แป้งข้าวสังข์หยด, มอลโตเดกซ์ทริน, คุกกี, แป้งสาลี, อาหารสุขภาพ

สาขาวิชาการจัดการอาหารและบริการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

Department of Food and Service Management, Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thungyai, Nakhon Sri Thammarat 80240, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sutasinee.s@rmutsv.ac.th

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effects of wheat flour substitution with Sungyod rice flour (0, 40, 60, and 80 by weight) and maltodextrin (0, 30, 50, and 70 by weight) on physical qualities (color value and texture testing), chemical qualities (humidity and fat) and sensory testing of cookies. It was found that the increasing amount of Sangyod rice flour resulted in a decrease of L^* and b^* values, but an increase of a^* value and hardness of cookies. The sensory values in terms of color, flavor, taste, crispness, and overall liking had significantly improved ($p \leq 0.05$). Consumers showed the highest preference score at 60% of rice starch. Increasing maltodextrin content in cookie product did not significantly affect the color values (L^* , a^* and b^*) and the moisture values ($p > 0.05$). The hardness value will increase significantly ($p \leq 0.05$). The substitution of Maltodextrin at 30% in cookies received favorable score in taste and the highest overall preferences (8.18).

Key words: Sungyod rice flour, maltodextrin, cookies, wheat flour, healthy food

บทนำ

ลูกก็เป็นอาหารว่างพร้อมรับประทาน สะดวก และราคาไม่แพง ผลิตจากแป้งซึ่งถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงเบา ย่อยง่าย และนำรับประทานผ่านการใช้ความร้อน ซึ่งวัตถุดิบหลักในการผลิตลูกก็ได้แก่ แป้งสาลี ไขมัน น้ำตาล และน้ำ ส่วนประกอบอื่น ๆ คือ นม เกลือ สารให้กลิ่นและสารเติมแต่ง (Kumaran and Maheshwari, 2022) วัตถุดิบส่วนใหญ่นั้นสามารถผลิตได้ภายในประเทศ ยกเว้นแป้งสาลีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยการใช้แป้งจากแหล่งอื่นเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อเป็นการลดการนำเข้าข้าวสาลีและผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีจากต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสังข์หยด (Wangpankhajorn *et al.*, 2020) ในปัจจุบันมีการศึกษาในเรื่องการนำข้าวพื้นเมืองของไทยไปใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกก็แต่ยังมีไม่มาก และพบว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ลูกก็เพื่อสุขภาพที่ผลิตจากข้าวพื้นเมืองของไทยวางจำหน่ายในท้องตลาด ถ้าหากสามารถนำแป้ง

ข้าวพื้นเมืองของไทยมาประยุกต์ใช้ในการผลิตลูกก็หรือผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ ได้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการส่งเสริมการปลูกข้าวพื้นเมืองที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและสามารถช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศได้

วัตถุดิบหลักที่สำคัญในการทำลูกก็ คือ แป้งสาลีซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงกว่าข้าวกล้องของไทย และเนื่องจากประเทศไทยถือว่ามีการปลูกข้าวเพื่อส่งออกมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่มีผลิตภัณฑ์ข้าวส่งออกค่อนข้างน้อย การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวไทยให้เป็นอาหารว่างที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น จึงถือเป็นแนวทางที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวไทย ซึ่งข้าวสังข์หยดนั้นเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง มีลักษณะพิเศษ คือ ข้าวกล้องมีสีแดงเข้มเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ มีปริมาณไนอะซินสูง ช่วยในการทำงานของระบบประสาทและผิวหนัง มีวิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอก มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีใยอาหาร โปรตีน ธาตุเหล็ก และฟอสฟอรัส ซึ่งมีประโยชน์ในด้านการขับถ่าย บำรุง

โลหิต บำรุงร่างกายให้แข็งแรงและป้องกันโรคความจำเสื่อม จึงนับได้ว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีคุณค่าทางอาหาร (Banchuen *et al.*, 2010) ปัจจุบันข้าวสังข์หยดได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นจึงได้มีการศึกษาการใช้แป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์อาหาร (Nooniam and Wongsudalak, 2016) จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คุกกีที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์คุกกีก็ยังมีส่วนประกอบของไขมันที่สูงโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์คุกกีเนยจึงไม่เหมาะกับผู้บริโภคที่ต้องการรักษาสุขภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้แป้งจากข้าวชนิดต่าง ๆ และสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อที่จะให้เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพ สารทดแทนไขมัน (fat replacers) คือ สารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ และทำหน้าที่คล้ายกับไขมัน แต่ให้พลังงานต่ำกว่าไขมัน สารทดแทนไขมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารทดแทนไขมันที่มีโครงสร้างทางเคมีและลักษณะทางกายภาพคล้ายไขมัน แต่ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นสารทดแทนไขมันกลุ่มนี้จึงให้พลังงานต่ำหรือไม่ให้พลังงาน และสารทดแทนไขมันที่มีคุณสมบัติหรือทำหน้าที่คล้ายไขมัน ปกติสารทดแทนไขมันกลุ่มนี้มักให้พลังงานต่ำกว่าไขมัน ชนิดของสารทดแทนไขมันที่นิยมใช้ คือ กลุ่มคาร์โบไฮเดรต เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) กัม (Gum) สตาร์ช (Starch) และใยอาหาร (Fiber) กลุ่มโปรตีน เช่น โปรตีนนม และโปรตีนไข่ และกลุ่มไขมัน เช่น โอเลสตรา (Olestra) และคาพรีนิน (CapreninTM) แม้ว่าสารทดแทนไขมันจะมีหน้าที่และลักษณะคุณภาพคล้ายไขมัน แต่การเลือกใช้สารทดแทนไขมันจะมีความเหมาะสมขึ้นกับชนิดผลิตภัณฑ์ (Judith, 2002; Seaman *et al.*, 1996) มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารที่มักใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนม

อบ เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี มีรสหวานเล็กน้อย และไม่มีกลิ่น นอกจากนี้ยังเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (prebiotic) ช่วยป้องกันอาหารจับตัวเป็นก้อน (Anticaking agent) ใช้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสอาหาร (Bulking agent) เพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสี จากผลของกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่ (Miyazato *et al.*, 2010) และทำให้รู้สึกอิ่มหรืออยากบริโภค อาหารลดลง (Yeomans *et al.*, 1998) มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายแป้ง (starch hydrolysis) ด้วยเอนไซม์แอลฟาแอมัยเลส (α -amylase) หรือกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) จึงทำให้มีความปลอดภัยในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Gandia *et al.*, 2010; Crehan *et al.*, 2000) การใช้มอลโตเดกซ์ทรินสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (คุกกี บราวนี่และเค้ก) มีเนื้อสัมผัสแน่น ยืดหยุ่นและมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ

ดังนั้นงานวิจัยจึงศึกษาการใช้แป้งข้าวสังข์หยดทดแทนแป้งสาลีและมอลโตเดกซ์ทรินทดแทนไขมัน ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำข้าวเปลือกสังข์หยด (ศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดพัทลุง) ไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก บดด้วยเครื่องบดละเอียด คัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (mesh no.60; 250 μ m) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ AOAC (2019) แล้วนำข้าวที่ผ่านการคัดขนาดแล้วเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท

ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปดำเนินการศึกษาต่อไป

2. การผลิตลูกก๊ี้

นำส่วนผสม (ตารางที่ 1) แป้งสาลี (อเนกประสงค์) ไข่ไก่ (เบอร์ 0) เกลือป่น น้ำตาลทรายป่น กลิ่นวนิลา ผงฟู เนยขาว เนยสด ได้มาจากห้างสรรพสินค้าท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยหั่นเนยสดและเนยขาวเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วอุ่นให้เนยแข็งตัว ร่อนแป้งผงฟูเข้าด้วยกัน พักไว้ดีเนยสด เนยขาว น้ำตาลไอซิ่ง และเกลือป่น ด้วยความเร็ว

ปานกลางให้ขึ้นฟู ใส่ไข่ไก่ และวนิลา ตีด้วยเครื่อง KITCHENAID (รุ่น 5KSM150PSEER ประเทศไทย) ให้เข้ากัน ลดความเร็วต่ำสุดของเครื่อง ใส่ส่วนผสมที่เหลือตีให้เข้ากัน ตักใส่กระบอกลูกก๊ี้ (KUHN RIKON ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร กดลงบนถาดที่ทาไขมันให้ห่างกันประมาณ 3 เซนติเมตร อบด้วยตู้อบ (SGE model OV-E33) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ประมาณ 10-15 นาที หรือจนสุกเหลือง

ตารางที่ 1 สูตรมาตรฐานการผลิตลูกก๊ี้

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งสาลี (อเนกประสงค์)	200
ไข่ไก่ (เบอร์ 0)	50
เกลือป่น	0.75
น้ำตาลทรายป่น	120
กลิ่นวนิลา	10
ผงฟู	6
เนยขาว	50
เนยสด	100

3. การศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้แป้งข้าวสังข์หยด

ในผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้เนยสูตรมาตรฐาน โดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดทดแทนแป้งสาลี 4 ระดับ คือ

ร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) 40, 60 และ 80 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แผนการศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้แป้งข้าวสังข์หยด

แป้งสาลี : แป้งสังข์หยด	แป้งสาลี (กรัม)	แป้งสังข์หยด (กรัม)
Control (100:00)	200	0
1 (40:60)	80	120
2 (60:40)	120	80
3 (80:20)	160	40

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดสี ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Textute analysis) และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น และไขมัน (AOAC, 2000) วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-Hedonic scale โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติแบบ ANOVA (analysis of variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS version 11.0, Chicago, IL, USA) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range

4. การศึกษาปริมาณการทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแข็งขาวสังขยัด

จากการทดลองในข้อที่ 3 ทำให้ทราบปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสังขยัดที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแข็งขาวสังขยัด จากนั้นนำมาศึกษาโดยทำการทดแทน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) 30, 50 และ 70 ตามลำดับ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดสี ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analysis) และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น และไขมัน (AOAC, 2000) วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-Hedonic scale โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติแบบ ANOVA (analysis of variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS version 11.0, Chicago, IL, USA)

จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวสังขยัด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวสังขยัดที่เตรียมได้ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่ามีความแตกต่างกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลีและองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์มีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยและเถ้าที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Wangpankhajorn *et al.* (2020); Sompong *et al.* (2011); Chooklin (2013) ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของโปรตีนจากแป้งข้าวสังขยัด (อัลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลิน และโปรลามิน) (Wangpankhajorn *et al.*, 2020) และองค์ประกอบของโปรตีนจากแป้งสาลี (ไกลอะดินและกลูเตนิน) (Wangpankhajorn *et al.*, 2020) ซึ่งโปรตีนจากแป้งข้าวสังขยัดมีสมบัติที่แตกต่างจากโปรตีนจากแป้งสาลี กล่าวคือโปรตีนจากแป้งข้าวสามารถสร้างโครงข่ายโปรตีนได้น้อยกว่าและดูดซับความชื้นได้ต่ำกว่าซึ่งจะส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแห้งและร่วน (Wangpankhajorn *et al.*, 2020) ดังนั้น หากจะพิจารณานำแป้งข้าวสังขยัดมาทดแทนแป้งสาลีแล้วจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทดแทนบางส่วนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวสังขยัด โดยยังคงมีคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ปริมาณเส้นใยของแป้งข้าวสังขยัดจะมีปริมาณสูงกว่าซึ่งจะดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยองค์ประกอบที่สำคัญและมีอยู่สูง คือ คาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในรูปเม็ดสตาร์ชและมีปริมาณอะไมโลเพกติน 60 – 90% และอะไมโลส 10 – 30% จึงสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ (Rodmui and Jitwaropas, 2007)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวสังข์หยด

แป้งข้าว	คุณภาพทางเคมี (%w/w)				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า
สาลิ ^a	11.69±0.28	10.55±0.03	0.94±0.01	0.36±0.01	0.94±0.01
สังข์หยด ^b	10.50±0.15	8.52±0.07	1.88±0.23	1.25±0.10	1.80±0.52
สังข์หยด ^c	9.29±0.06	10.36±0.04	2.67±0.06	4.51±0.16	1.42±0.12
สังข์หยด ^d	10.54±0.10	10.12±0.16	2.62±0.04	4.25±0.01	1.43±0.21
สังข์หยด ^e	7.20±0.32	8.11±0.04	1.55±0.45	0.28±0.01	2.20±0.01

หมายเหตุ: ^aWangpankhajorn *et al.* (2020) ^bThis work ^cSompong *et al.* (2011) ^dChooklin (2013) ^e

2. ผลการศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลิด้วยแป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยด

การศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลิด้วยแป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งในอัตราส่วนแป้งข้าวสังข์หยด 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (มาตรฐาน) 40, 60 และ 80 ตามลำดับ โดยทำการศึกษาคูสมบัติทาง

เคมีและกายภาพ จากนั้นนำมาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลแบบ 9 ระดับคะแนน (Hedonic 9 scale) โดยทำการทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งจากแป้งข้าวสังข์หยด ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสังข์หยด

แป้งข้าวสังข์หยด (ร้อยละ)	คุณภาพทางเคมีและกายภาพ					
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ค่าความแข็ง (นิวตัน)	ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ไขมัน ^{ns} (ร้อยละ)
0	65.05±0.50 ^a	9.60±0.62 ^d	20.98±0.51 ^a	14.84±0.53 ^d	4.31±0.13	26.85±1.28
40	62.55±1.13 ^a	15.40±0.55 ^c	19.46±0.39 ^b	17.23±0.13 ^c	4.30±0.13	25.91±0.35
60	58.35±1.78 ^b	17.10±0.33 ^b	15.96±0.99 ^c	19.11±0.53 ^b	4.33±0.10	25.66±0.39
80	56.27±0.29 ^b	23.94±0.50 ^a	12.65±0.75 ^d	22.15±0.15 ^a	4.32±0.40	25.09±0.12

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดังเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสังข์หยด 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 40, 60 และ 80 แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า เมื่อปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งลดลง ส่วนความ

เป็นสีแดง (a*) มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวสังข์หยดพัทลุงมีสีเยื่อหุ้มเมล็ด เนื่องจากสารสีจำพวกแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุตามธรรมชาติที่มีอยู่แล้วในแป้งข้าวกล้องสังข์หยดเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดจึงส่งผลให้ลูกกึ่งมีค่า a* เพิ่มขึ้น (Lekjing *et al.*, 2019)

สอดคล้องกับการศึกษาของ Shukla *et al.* (2020) ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของลูกกึ่งจากแป้งข้าวและแป้งฝักโคมผสม พบว่า การเพิ่มระดับของแป้งฝักโคมจะลดค่า L^* และ b^* แต่จะเพิ่มค่า a^* ของลูกกึ่ง ค่าความแข็งของลูกกึ่งทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องสังข์หยดมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณข้าวสังข์หยดมากขึ้นร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน), 40, 60 และ 80 มีค่าความแข็งเท่ากับ 14.84 17.23 19.11 และ 22.15 นิวตัน ตามลำดับ เนื่องจากในข้าวสังข์หยดมีปริมาณเส้นใยจึงทำให้ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสังข์หยดปริมาณที่สูงขึ้นมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น (Division of rice research and development, 2009) ค่าความชื้นและค่าไขมันของลูกกึ่งทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องสังข์หยด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) โดยค่าความชื้นในข้าวสังข์หยดร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) 40, 60 และ 80 มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.31 2.30 2.33 และ 2.30 ตามลำดับ

ค่าไขมันมีค่าเท่ากับร้อยละ 26.85 25.91 25.66 และ 25.09 ตามลำดับ การศึกษาของ Wangpankhajorn *et al.* (2020) พบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งร้อยละ 0, 25, 50 และ 75 ส่งผลต่อค่า L^* ลดลง แต่ค่า a^* , b^* และ hardness เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าผลของค่าสีเกิดจากการเลือกใช้แป้งและปริมาณของแป้งที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ ส่วนค่า hardness ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวสังข์หยดสูงขึ้นทำให้ได้มีปริมาณกลูเตนลดลง ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยดที่ได้จึงมีความหนาแน่นมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและอัดตัวกันแน่นและมีรูพรุนของฟองอากาศน้อย จึงส่งผลให้ลูกกึ่งมีความแข็งและแน่น (Somboonpanyakul *et al.*, 2012) และ จะส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความหนาของลูกกึ่งลดลง (Wangpankhajorn *et al.*, 2020)

ตารางที่ 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสังข์หยด

แป้งข้าว สังข์หยด (ร้อยละ)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความ กรอบ	ความ ชอบโดยรวม
0	8.20±0.80 ^a	8.23±1.00 ^a	7.75±0.50 ^a	7.00±0.647 ^b	6.53±0.62 ^c
40	7.23±1.00 ^b	7.50±0.85 ^b	7.60±0.64 ^a	7.13±0.50 ^a	6.53±0.62 ^c
60	7.21±0.62 ^b	7.67±0.68 ^b	7.83±0.69 ^a	8.17±0.79 ^a	8.62±0.66 ^a
80	6.07±1.20 ^c	7.47±0.74 ^b	6.90±0.84 ^b	5.93±0.86 ^c	6.97±0.89 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) 40, 60 และ 80 พบว่า คุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 3

พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งข้าวสังข์หยดมากขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสี มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดส่งผลให้มีลูกกึ่งมีสีเข้มขึ้นสอดคล้องกับคุณภาพทางกายภาพด้านค่าความสว่าง (L^*) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดทำ

ให้ค่าความสว่างลดลงจึงส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสีลดลง ด้านกลิ่น พบว่า ผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคมากที่สุด ในร้อยละ 40, 60 และ 80 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) เนื่องจากผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งมีกลิ่นหอมเนย มีลักษณะกลิ่นใกล้เคียงกับผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทำนายตามท้องตลาด พบว่า ที่ร้อยละ 60 ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงสุดในการทดแทนแป้งข้าวสังข์หยด เท่ากับ 7.67 คะแนน ด้านรสชาติ ความกรอบและความชอบโดยรวมพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดที่ร้อยละ 60 การศึกษาของ Wangpankhajorn *et al.* (2020) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดถึงร้อยละ 75 จะทำให้คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสลดลงในทุกด้านรวมทั้งยังส่งผลให้ร้อยละการยอมรับผลผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย เนื่องมาจากแป้งข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการลดลงของปริมาณกลูเตนในผลผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้การสร้างโครงข่ายของแป้งที่สามารถกักเก็บ คาร์บอนไดออกไซด์และสร้างพันธะไคซัลไฟด์ลดลง จึงทำให้ผลผลิตภัณฑ์มีความแข็งและความแตก่วนสูงขึ้น ส่งผลให้ความชอบต่อผลผลิตภัณฑ์

ลูกกึ่งลดลง ผู้ทดสอบให้ คะแนนความชอบผลผลิตภัณฑ์โดยรวมของลูกกึ่งสูตรที่ 2 (50:50) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเทียบเท่าการยอมรับ ผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งสูตรควบคุม (100:0)

ดังนั้นจึงคัดเลือกผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยข้าวสังข์หยดร้อยละ 60 ไปศึกษา ปริมาณการทดแทนไขมัน (เนย) ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินต่อไป

3. ผลการศึกษาปริมาณการทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินในผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยด

จากการศึกษาปริมาณการทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ในผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยด ด้วยมอลโตเดกซ์ทริน 6 ระดับ คือ 0 (สูตรมาตรฐาน) 30, 50, และ 70 ตามลำดับ โดยทำการศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพ จากนั้นนำมาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลแบบ 9 ระดับ คะแนน (Hedonic 9 scale) โดยทำการทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งจากแป้งข้าวสังข์หยด ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ด้วยมอลโตเดกซ์ทริน

มอลโต เดกซ์ทริน (ร้อยละ)	คุณภาพทางเคมีและกายภาพ					
	L ^{*ns}	ค่าสี a ^{*ns}	b ^{*ns}	ความแข็ง (นิวตัน)	ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	ไขมัน (ร้อยละ)
0	58.55±0.13	17.10±0.33	44.96±1.99	19.91±0.53 ^a	4.23±0.10	25.09±0.12 ^a
30	59.84±0.80	17.28±0.51	44.53±2.06	21.49±0.35 ^b	4.71±0.13	19.77±0.55 ^b
50	59.36±0.53	17.75±0.31	44.22±1.95	23.30±0.83 ^c	4.34±0.10	18.04±0.23 ^c
70	59.84±0.66	17.29±1.21	44.92±0.83	25.35±0.15 ^d	4.00±0.88	17.15±0.39 ^d

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ด้วยมอลโตเดกซ์ทริน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 30, 50 และ 70 แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ด้านค่าความแข็ง เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อลดปริมาณไขมันและเพิ่มการใช้สารทดแทนไขมันในส่วนผสมจะทำให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงการตีไขมันกับน้ำตาลลดลง อีกทั้งมอลโต

เดกซ์ทรินไม่สามารถสร้างฟิล์ม ห่อหุ้มฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการตีส่วนผสม ทำให้ไม่สามารถกักเก็บก๊าซได้ในระหว่างการอบขนม (Psimouli and Oreopoulou, 2013; Syed *et al.*, 2011) ทำให้ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยด มีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้นตามปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sinchaipanit *et al.* (2017) ศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินต่อลักษณะคุณภาพของบราวนี่ลดไขมันพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินทำให้ผลิตภัณฑ์บราวนี่มีค่าความแน่นเพิ่มขึ้น ค่าไขมันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 7 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ด้วยมอลโตเดกซ์ทริน

มอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละ)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
0	8.13±0.62	8.24±0.68 ^a	7.83±0.69 ^a	8.07±0.79 ^a	8.12±0.66 ^a
30	8.04±0.62	8.18±0.49 ^a	7.85±0.99 ^a	7.96±0.83 ^a	8.18±0.80 ^a
50	8.07±0.57	7.47±0.64 ^b	6.14±0.92 ^b	6.27±0.85 ^b	6.40±0.62 ^b
70	8.00±0.66	6.02±0.66 ^c	5.36±0.83 ^c	5.23±0.89 ^c	5.43±0.85 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งแป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนไขมัน (เนยสดและเนยขาว) ด้วยมอลโตเดกซ์ทริน ร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) 30, 50 และ 70 ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมเมื่อพิจารณาในภาพรวมของการใช้มอลโตเดกซ์ทรินทดแทนไขมัน เนยในลูกกึ่ง แป้งแสดงดังตารางที่ 7 พบว่า ตัวอย่างลูกกึ่งทดแทนมอลโตเดกซ์ทริน ร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) ได้รับคะแนนความชอบด้าน กลิ่นและความกรอบสูง

ที่สุด เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินทำให้ลูกกึ่งมีความแข็งเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ลูกกึ่งที่ทดแทนมอลโตเดกซ์ทริน ร้อยละ 30 ได้รับคะแนนความชอบทางด้าน รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าสูตร ร้อยละ 0 (สูตรมาตรฐาน) ส่วนคะแนนความชอบด้านสีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) การศึกษาของ Sinchaipanit *et al.* (2017) พบว่า การใช้มอลโทเดกซ์ทรินเจล (เตรียม เจลของ

มอลโทเดกซ์ทริน โดยชั่งมอลโทเดกซ์ทริน 1 ส่วน ละลายในน้ำกลั่น 1 ส่วน (น้ำหนัก/น้ำหนัก) คน ส่วนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปเก็บรักษา ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที ก่อนนำไปใช้) ทดแทนไขมันร้อยละ 75 ตัวอย่าง บรานนี้ที่ได้จะมีคะแนน ความชอบโดยรวมลดลง (3.6 ± 1.0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อ เปรียบเทียบกับบรานนี้ ไขมันเต็มส่วน (3.8 ± 0.8) ส่วนบรานนี้ลดไขมันที่ระดับร้อยละ 25 และ 50 และบรานนี้ไขมันเนยเต็มส่วน พบว่า มีคะแนน ความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p \geq 0.05$) แม้ว่าบรานนี้ ลดไขมันที่ระดับร้อยละ 25 จะได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุดคือ 4.0 ± 0.7 ส่วนประกอบของไขมันในขนมอบจะทำหน้าที่จับ อากาศในระหว่างการตีเนยกับน้ำตาลให้ขึ้นฟูทำให้ ขนมอบมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เป็นตัวหล่อลื่นและยับยั้ง การเกิดโครงสร้างโด (dough) ทำให้ขนมอบมีเนื้อ สัมผัส นุ่มนวล รวมทั้งเป็นตัวพากลิ่นรสที่ดี โดยเฉพาะไขมันเนย

ดังนั้นปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินผลิตภัณฑ์ ลูกก็แป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนไขมัน (เนยสดและ เนยขาว) ด้วยมอลโทเดกซ์ทริน ปริมาณมอลโทเดกซ์ ทรินที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับร้อยละ 30 ซึ่งสามารถลด ไขมันจากลูกก็แป้งข้าวสังข์หยดสูตรมาตรฐาน (27.94% เป็น 19.77%) คิดเป็นร้อยละ 8.17

สรุป

แป้งข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบทางเคมีใน ส่วนของไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า แป้งข้าวสาลีเมื่อนำมาทดแทนแป้งสาลีในลูกก็จำทำ ให้ค่า L^* และ b^* ลดลง แต่ค่า a^* และ hardness จะ เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแป้งข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้น โดยที่แป้งข้าวสังข์หยด 60% จะมีค่าคะแนน ความชอบรวมของลูกก็แป้งสูงสุดการใช้ maltodextrin

ทดแทนไขมันในลูกก็แป้งจะส่งผลต่อค่า hardness แต่ไม่ ส่งผลต่อค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยที่การใช้ maltodextrin 30% จะมีคะแนนความชอบรวมของ ลูกก็แป้งสูงสุด ดังนั้นการใช้แป้งข้าวสังข์หยดทดแทน แป้งสาลีและ maltodextrin ทดแทนไขมันในลูกก็แป้ง จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2019. **Official Methods of Analysis, The Association of Official Analytical Chemists.** 21st ed. Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis, The Association of Official Analytical Chemists.** 17th ed. Gaithersburg, MD, USA.
- Banchuen, J., Thammarutwasik, P., Ooraikul, B., Wuttijumnong, P. and Sirivongpaisal, P. 2010. Increasing the bioactive compounds contents by optimizing the germination conditions of Southern Thai Brown Rice. **Songklanakarin Journal Science and Technology** 32: 207-326.
- Chooklin, S. 2013. Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Brown Rice and Their Antioxidant Activities. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 47: 864-873.
- Crehan, C.M., Hughes, E., Troy, D.J. and Buckley, D.J. 2000. Effects of Fat Level and Maltodextrin on the Functional Properties of Frankfurters Formulated with 5, 12 and 30% Fat. **Meat Science** 55(4): 463-469.
- Division of rice research and development. 2009. **Use of Sung Yod Phatthalung rice.** Rice department Ministry of Agriculture and Cooperatives. Available Source: <https://>

- //WWW.ricethailand.go.th, August, 26, 2021.
(in Thai)
- Gandia, H.F., Jimenez, A.M., Cabanes, J., Garcia, C.F. and Escribano, J. 2010. Stabilization of the Bioactive Pigment of Opuntia Fruits through Maltodextrin Encapsulation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 58(19): 10646-10652.
- Judith, W.R. 2002. Fat Substitutes and Health. **Circulation** 105: 2800-2804.
- Kumaran, B.D. and Maheshwari, K.S. 2022. Development of Cookies Prepared from Red Rice Flour (*Oryza sativa*), Papaya Fruit, Brown Sugar and Proximate Analysis. **International Journal of Food and Nutritional Sciences** 11(4): 61-66.
- Lekjing, S., Noonim, P., Boottajean, S. and Chantawong, P. 2019. Effect of Substitution of Wheat Flour with Sangyod Brown Rice Flour on Physicochemical and Sensory Qualities in Snack Product. **Khon Kaen Agriculture Journal** 47: 679-684. (in Thai)
- Miyazato, S., Nakagawa, C., Kishimoto, Y., Tagami, H. and Hara, H. 2010. Promotive Effects of Resistant Maltodextrin on Apparent Absorption of Calcium, Magnesium, Iron and Zinc in Rats. **European Journal of Nutrition** 49(3): 165-171.
- Nooniam, T. and Wongsudalak, W. 2016. **Research Report on Utilization of Sang-Yod rice flour in Thai shortbread cookies**. Songkhla Rajabhat University. (in Thai)
- Psimouli, V. and Oreopoulou, V. 2013. The Effect of Fat Replacers on Batter and Cake Properties. **Journal of Food Science** 78(10): 1495-1502.
- Rodmui, A. and Jitwaropas, O. 2007. Production of Cookies using Flour Partial Substituted with Hom Nil Rice Flour. **Journal of Food Technology, Siam University** 3(1): 37-43. (in Thai)
- Seaman, C.E.A., Woods, M. and MacKenzie, D. 1996. Fat Content and Sponge Cake Quality. **British Food Journal** 98(1): 20-22.
- Shukla, U., Sehar, M., Tongbram, T., Yaseen, M. and Bora, J. 2020. Physical and Sensory Characteristics of Cookies from Rice and Amaranth Flour Blends. **European Food Science and Engineering** 1(1): 24-29.
- Sinchaipanit, P., Hemwadee, P., Disni, S. and Twichatwitayakul, R. 2017. Effect of Maltodextrin on Quality Attributes of Reduced Fat Brownies. **Journal of Food Health and Bioenvironmental Science** 10(3): 1-16.
- Somboonpanyakul, P., Hudthagosol, C., Meekhruerod, A., Lasukhang, W. and Chuaduangpuy, D. 2012. Development of Sinlek Brown Rice Cookie. **Agricultural Science Journal** 43(2): 565-568. (in Thai)
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., LinsgergerMartin, G. and Berghofer, E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. **Food Chemistry** 124: 132-140.
- Syed, H.M., Jadhav, B.A. and Salve, R.V. 2011. Studies on Preparation of Low Calorie Cake

using Pearl Millet (Bajra) Maltodextrin.

Journal of Food Processing Technology

2(5): 1-3.

Wangpankhajorn, P., Maneechot, S., Junsri, M.,

Jannu, T. and Samakradhamrongthai, S.R.

2020. Effect of substitution of wheat flour

with Sungyod rice flour on physical and

sensory qualities in cookies. **Journal of**

Science and Technology 9(2): 63-70. (in Thai)

Yeomans, M.R., Gray, R.W. and Conyers, T.H.B.

1998. Maltodextrin Preloads Reduce Food

Intake without Altering the Appetiser Effect.

Physiology Behavior 64(4): 501-506.

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส้มจุกบนต้นตอพืชตระกูลส้ม 5 ชนิด

The Comparison on Growth of Neck Orange (*Citrus reticulate* Blanco)

Grafted on Five *Citrus* sp. Rootstock

สุวรรณษา ชูเชิด^{1*}, นพ ศักดิษฐ์¹, สกุนรัตน์ แสนปุตะวงษ์¹ และ โสภา ชูเพ็ง²

Suwansa Chuchert^{1*}, Nop Sakdiset¹, Sakunrut Sanputawong¹ and Sopa Choopeng²

Received: 24 January 2022, Revised: 22 December 2022, Accepted: 19 April 2023

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส้มจุก ที่ต่อกิ่งบนต้นตอพืชตระกูลส้ม 5 ชนิด ได้แก่ ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ส้มโอพันธุ์ทองดี มะนาวควาย มะกรูด และส้มซ่า เพื่อหาต้นตอที่เหมาะสมสำหรับการผลิตส้มจุก โดยการนำกิ่งพันธุ์ส้มจุกอายุ 5 ปี มาต่อกิ่งแบบเสียบลิ้ม (Cleft grafting) และย้ายปลูกในกระถางพลาสติก ขนาด 17 นิ้ว 7 เดือน ทำการทดลองภายในแผนกไม้ผล สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 5 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น พบว่า ต้นตอส้มซ่ามีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุด รองลงมาคือ มะกรูด ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ส้มโอพันธุ์ทองดี และมะนาวควาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.31, 38.44, 38.32, 37.15 และ 21.68 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับความสูงต้นเหนือรอยต่อ พบว่า ต้นตอส้มซ่ามีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ ส้มโอพันธุ์ทองดี ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง มะกรูด และมะนาวควาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.30, 21.75, 21.74, 15.67 และ 11.30 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับจำนวนกิ่งต่อต้นของกิ่งส้มจุก เมื่ออายุ 7 เดือนหลังต่อกิ่ง พบว่า ต้นตอส้มซ่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนกิ่งต่อต้นมากที่สุดรองลงคือ ส้มโอพันธุ์ทองดี ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง มะกรูด และมะนาวควาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47, 4.45, 4.40, 2.64 และ 2.42 กิ่งต่อต้น ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นว่าการใช้ส้มซ่าเป็นต้นตอเหมาะสมกว่าการพืชตระกูลส้มชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต, ส้มจุก, ต้นตอ, ส้ม

¹ สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

¹ Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Campus, Thung Song, Nakhon Si Thammarat 80110, Thailand.

² สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

² Program in Sustainable Agricultural Innovation, Faculty of Agricultural Technology, Phuket Rajabhat University, Mueang, Phuket 83000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): suwansa_chuchert@hotmail.com

ABSTRACT

The present study was about the comparison on growth of Neck orange (*Citrus reticulata* Blanco) on five *Citrus* sp. rootstocks containing with Native pomelo (*C. grandis* (L.)), Thongde pomelo (*C. maxima* (Burm.f.)), Citron (*C. medica*), Kaffer lime (*C. hystrix*), and Bitter orange (*C. × aurantium*). To evaluate the suitable rootstock for Neck orange production, five-year-old Neck oranges were grafted with five different *Citrus* sp. rootstocks in a cleft method. It was performed by cleft grafting with branches that were 5 years old. The sample plants were planted in 17-inch polybags for 7 months at the Fruit Department of Plant Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Campus. A completely randomized design (CRD) with five replications and four trees per representative was used for the experiment. The result showed that rootstock of Bitter orange generated the highest average plant height, 40.31 cm, with a significant difference, followed by Kaffer lime, Native pomelo, Thongde pomelo, and Citron, at 38.44, 38.32, 37.15, and 21.68 cm, respectively. In the case of scions' height, the rootstock of Bitter orange gave the highest of average height of scions (23.30 cm), followed by Kaffer lime, Native pomelo, Thongde pomelo, and Citron, at 21.75, 21.74, 15.67, and 11.30 cm, respectively. In addition, after 7 months of cleft grafting, the highest number of branches per tree of Neck orange was found on the orange tree from a rootstock of Bitter orange. It was 4.47, and the next highest numbers were 4.45, 4.40, 2.64, and 2.42 branch/tree for Kaffer lime, native pomelo, Thongde pomelo, and Citron. Therefore, Bitter orange is a superior rootstock choice than *Citrus* sp.

Key words: physiology, Neck Orange (*Citrus reticulata* Blanco), rootstock, citrus

บทนำ

ส้มจุกเป็นส้มพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในเขตภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย จัดอยู่ในกลุ่มแมนดาริน เป็นส้มเปลือกอ่อนเช่นเดียวกับส้มโชกุนและส้มเขียวหวาน มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากส้มชนิดอื่น คือบริเวณขั้วผลมีปุ่มยื่นออกมาคล้ายจุก ภาษาท้องถิ่นภาคใต้เรียกว่า “ส้มแป้นหัวจุก” มีแหล่งปลูกดั้งเดิมที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา (Neck orange, 2021) ลักษณะการปลูกส้มจุกของเกษตรกรเป็นการปลูกแบบเกษตรกรรายย่อย สวนส้มจุกส่วนใหญ่เป็นสวนผสมผสานแบบธรรมชาติ มีการปลูกพืชหลายชนิดร่วมกัน เช่น มังคุด ลองกอง ทุเรียน มะพร้าว และกล้วย เป็นต้น ส้มจุกมีลักษณะ รูปร่างผล รสชาติ

และกลิ่นเฉพาะ คือมีลักษณะผลขนาดใหญ่ทรงกลมถึงแป้น มีจุกเด่นชัด เปลือกหนาปานกลางลอกเปลือกง่าย และมีกลีบแยกออกจากกันได้ง่าย แกนกลางเปิด เนื้อผลแน่นมีน้ำหนักรวม รสหวานอมเปรี้ยว (Lim, 1993) ลำต้นมีทั้งแบบมีหนามและไม่มีหนาม ทรงพุ่มสูง 3-5 เมตร เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ปัจจุบันการผลิตส้มจุกประสบปัญหาพื้นที่การปลูกลดลง โดยในหลายพื้นที่สวนส้มมีภาพเสื่อมโทรม ดินส้มทรุดโทรม และผลส้มร่วงก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการทำลายของโรคกรีนนิ่งและโรคทริสเตซ่า รวมทั้งโรครากเน่าและโคนเน่า (Sadudee, 1994) หากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างจริงจังจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ผลิตและเศรษฐกิจของพื้นที่ใน

ระยะยาว การขยายพันธุ์ด้วยวิธีการต่อกิ่ง เสียบกิ่ง เสียบยอดของพืชสวนบางชนิด ช่วยส่งเสริมผลผลิตที่ดีขึ้น เช่น การใช้ต้นตอที่ทนสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ทนต่อดินเค็มและสภาพน้ำขัง ทนต่อโรคและแมลงได้ดี สำหรับต้นตอพืชบางชนิดสามารถลดขนาดลำต้นของกิ่งพันธุ์ให้เตี้ยแคระ หรือเพิ่มขนาดลำต้นให้สูงใหญ่ได้ ในขณะที่ต้นตอบางชนิดทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีคุณภาพของผลดีกว่า เมื่อใช้ต้นตอชนิดอื่น Rodriguez-Gamir *et al.* (2010) รายงานว่า การเคลื่อนย้ายสารอาหารในลำต้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของต้นตอ โดยจะเป็นผลจากสัดส่วนระหว่างใบกับราก (leaf/root ratio) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นตอมีผลต่อการเจริญเติบโตของยอดพันธุ์ดี แต่บางครั้งต้นตออาจทำให้ได้ผลผลิตมีลักษณะไม่เป็นที่ต้องการ พืชมีการเติบโตที่เปลี่ยนแปลงไป และพืชทั้งสองเข้ากันไม่ได้หรืออาจไม่มีการประสานของรอยต่อหรือมีน้อย (Wanthanaphuti, 1999) การใช้ต้นตอที่ได้จากการเพาะเมล็ดจะมีระบบรากที่ดีกว่าการใช้ต้นตอจากการปักชำกิ่ง (Khamlert, 2009) การคัดเลือกพันธุ์ต้นตอ จึงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการเจริญเติบโตของพืชที่มีการขยายพันธุ์แบบติดตา ต่อกิ่ง Lim (1993) รายงานว่า ต้นตอที่นิยม ได้แก่ ชาวอเรนซ์ สวีทอเรนซ์ แมนดาริน ส้มสามใบ และซิเตรนซ์ สำหรับประเทศไทยมีการใช้ต้นตอในการขยายพันธุ์พืชตระกูลส้มน้อยมาก ส่วนใหญ่ใช้วิธีการตอนกิ่ง ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่กับส้มบางพันธุ์ที่ไม่ทนต่อโรคซึ่งไม่อาจแก้ปัญหาได้ จึงต้องใช้ต้นตอที่มีความแข็งแรงนำมาใช้เสียบยอดแทน นอกจากนี้ มีรายงานการศึกษาการต่อกิ่งส้ม Orlando tangelo บนต้นตอส้มชนิดต่าง ๆ พบว่า ต้นตอกลีโอพัตราให้ผลสำเร็จสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ และทำให้การเจริญเติบโตของกิ่งส้ม Orlando tangelo ยาวที่สุด คือ 30 เซนติเมตร ในเวลา 90 วัน ในขณะที่ต้นตอส้มทรอยเจอร์ซิเตรนซ์ ให้เปอร์เซ็นต์การประสานรอยต่อ

และการเจริญเติบโตต่ำที่สุด (Gonzalez and Figueroa, 1996) และยังนิยมใช้ส้ม sour orange เป็นต้นตอให้กับ Cleopatra mandarin และ Volkamer lemon ซึ่งสามารถให้ผลผลิตเร็ว และมีปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้สูง (Ramin and Alirezanezhad, 2005) Watanawan (1997) ได้ศึกษาการใช้ส้มตราติดตาบนต้นตอมะขวิด พบว่า ต้นตอมะขวิดมีผลทำให้ส้มตรามีลำต้นเตี้ยแคระและออกผลเร็ว ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการศึกษา และ ประเมินเบื้องต้นถึงความสามารถในการเข้ากันได้ของส้มลูกบนต้นตอส้มชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ต้นตอที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของส้มลูก โดยวิธีการต่อกิ่งแบบเสียบลิ้ม เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีทางเลือกอีกวิธีหนึ่ง ที่ช่วยลดปัญหาความอ่อนแอของต้นส้มลูกที่ไม่ทนต่อโรคและสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูกได้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองที่แผนกไม้ผล สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช โดยใช้ต้นตอส้มเพาะเมล็ด 5 พันธุ์ ได้แก่ ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง (Native pomelo: *C. grandis* (L.) ส้มโอพันธุ์ทองดี (Thongde pomelo: *C. maxima* (Burm.f.) มะนาวควาย (Citron: *C. medica*) มะกรูด (Kaffir lime : *C. hystrix*) และส้มซ่า (Bitter orange: *C. × aurantium*) เพาะเมล็ดส้มทั้ง 5 ชนิดลงในถุงพลาสติกดำ ขนาด 4x8 นิ้ว ถุงละ 3 เมล็ด เมื่อเมล็ดเริ่มงอกได้ 20 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อถุงดูแลในโรงเรือนพรางแสง 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อต้นกล้าอายุ 6 เดือน คัดเลือกกิ่งส้มลูกจากต้นแม่ที่ให้ผลผลิตแล้วมีอายุประมาณ 5 ปี โดยเลือกกิ่งที่มีลักษณะสมบูรณ์แข็งแรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร มีตา 4-5 ตา ทำการ

ต่อกิ่งแบบเสียบลิ้มกับต้นตอที่เตรียมไว้ พันรอยต่อด้วยพลาสติกใส หลังจากนั้นนำต้นที่ต่อกิ่งแล้วใส่ในถุงพลาสติกใสขนาดใหญ่ และมัดปากถุงให้แน่นเพื่อเก็บรักษาความชื้น วางในที่ร่มพรางแสง 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 วัน แล้วนำออกจากถุงเพื่อย้ายปลูกใน กระถางขนาด 10 นิ้ว เป็นเวลา 2 เดือน ดูแลในสภาพโรงเรือน จากนั้นคัดเลือกต้น ที่เสียบยอดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ทั้ง 5 ชนิด ชนิดละ 20 ต้น ย้ายปลูกลงกระถางพลาสติกดำขนาด 17 นิ้ว นำไปวางในสภาพนอกโรงเรือน ระหว่างเดือนธันวาคม 2560 – มิถุนายน 2561 ภายใต้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ดังแสดงใน Table 1 มีการดูแลรักษาโดยให้น้ำวันละ 1 ครั้ง ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ทุก ๆ 3 เดือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

(Complete Randomized Design : CRD) จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ต้น ทำการบันทึกข้อมูล ในเดือนที่ 1-7 หลังจากย้ายปลูกลงกระถางพลาสติก โดยการวัดลักษณะการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต้นสัมจุก (เซนติเมตร) ความสูงเหนือรอยต่อ (เซนติเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) วัดที่ระยะ 3 เซนติเมตร จากบริเวณใต้รอยต่อ และเหนือรอยต่อ และบันทึกจำนวนใบต่อต้น และจำนวนกิ่งต่อต้น (กิ่งแขนงของกิ่งพันธุ์ที่แตกออกมา) ที่อายุ 7 เดือน ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างโดยวิธี Duncan multiple range test (DMRT) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V. %)

Table 1 Temperature, relative humidity and rainfall during the experiment.

Weather	Year 2017		Year 2018				
	December	January	February	March	April	May	June
Temperature (°C)	27.95	30.23	32.12	32.99	30.25	33.52	33.88
Relative humidity (%)	87.95	87.92	84.21	80.42	81.12	83.69	81.28
Total rain (mm)	607.50	226.60	110.28	114.70	112.40	109.50	110.00
Average per day of rain (mm)	19.60	7.30	3.93	3.70	3.74	3.53	3.66

ที่มา : Meteorological station (2019)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการทดลองนำกิ่งพันธุ์สัมจุก อายุ 5 ปี มาต่อกิ่งแบบเสียบลิ้ม บนต้นตอพืชตระกูลส้ม 5 ชนิด เป็นเวลา 7 เดือน การเจริญเติบโตในด้านต่าง ๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติดังนี้

ความสูงต้นสัมจุก พบว่า ต้นสัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ส้มโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และส้มซ่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นตอมะนาวควาย โดยที่อายุ 1 เดือน หลังการต่อกิ่ง สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า

ส้มโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างทางกันทางสถิติ มีความสูงอยู่ในช่วง 28.30-29.63 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 16.65 เซนติเมตร ที่อายุ 2 เดือน สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า ส้มโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความสูงอยู่ในช่วง 29.13 -31.60 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 16.70 เซนติเมตร ที่อายุ 3 สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า ส้มโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความสูงอยู่ในช่วง

29.13-33.95 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 18.14 เซนติเมตร ที่อายุ 4 เดือน สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า สัมโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และสัมโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างทางกันทางสถิติ มีความสูงอยู่ในช่วง 35.53-36.31 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 20.01 เซนติเมตร ที่อายุ 5 เดือน สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า สัมโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และสัมโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างทางกันทางสถิติ มีความสูงอยู่ในช่วง 40.83-47.43 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 24.80 เซนติเมตร ที่อายุ 6 เดือน สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า สัมโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และสัมโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างทางกันทางสถิติ มีความ

สูงอยู่ในช่วง 44.03-48.64 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 26.32 เซนติเมตร และที่อายุ 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่า สัมโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และสัมโอพันธุ์พื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีความสูงอยู่ในช่วง 49.28-58.54 เซนติเมตร ส่วนมะนาวควายมีค่าต่ำสุด 28.54 เซนติเมตร จากค่าเฉลี่ยทั้ง 7 เดือน หลังต่อกิ่ง ต้นตอส้มซ่าให้ค่าสูงที่สุด รองลงมาคือต้นตอมะกรูด สัมโอพันธุ์พื้นเมือง สัมโอพันธุ์ทองดี และ มะนาวควาย มีค่าเท่ากับ 40.31, 38.44, 38.32, 37.15 และ 21.68 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2; Figure 1)

Table 2 The average of plant height (cm) of Neck orange on various rootstocks after cleft grafting for 7 months.

Rootstock	Plant height (cm)/ Month							Average
	1	2	3	4	5	6	7	
Native pomelo	28.30 ^{a1/}	31.60 ^a	32.50 ^a	35.70 ^a	42.03 ^a	46.24 ^a	51.91 ^a	38.32 ^b
Thongde pomelo	28.56 ^a	29.13 ^a	30.96 ^a	35.53 ^a	40.83 ^a	44.03 ^a	51.05 ^a	37.15 ^b
Citron	16.65 ^b	16.70 ^b	18.74 ^b	20.01 ^b	24.80 ^b	26.32 ^b	28.54 ^b	21.68 ^c
Kaffer lime	28.56 ^a	30.76 ^a	33.95 ^a	36.31 ^a	43.86 ^a	46.41 ^a	49.28 ^a	38.44 ^b
Bitter orange	29.63 ^a	30.26 ^a	32.13 ^a	35.55 ^a	47.43 ^a	48.64 ^a	58.54 ^a	40.31 ^a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	7.02	22.32	18.23	17.79	22.93	23.02	27.11	15.68

** = significant at 0.01 level

^{1/} = value follower by different letter are significantly different according to DMRT

ความสูงต้นเหนือรอยต่อ พบว่า หลังจากการต่อกิ่งที่อายุ 1 และ 2 เดือน ต้นสัมจุกที่ใช้ต้นตอเป็นส้มโอพันธุ์พื้นเมือง สัมโอพันธุ์ทองดี มะกรูด และส้มซ่า มีความสูงเหนือรอยต่อไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับมะนาวควาย โดยที่ต้นตอส้มโอพันธุ์พื้นเมืองมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 10.53 และ 13.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่อายุ 3, 4, 5, 6 และ 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง ต้นสัมจุกที่ใช้ต้นตอ

เป็นส้มโอพันธุ์พื้นเมือง สัมโอพันธุ์ทองดีมะกรูด และส้มซ่า มีความสูงเหนือรอยต่อมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยที่อายุ 3 และ 4 เดือน หลังการต่อกิ่งสัมจุกที่ใช้ต้นตอเป็นส้มโอพันธุ์ทองดีมีความสูงเหนือรอยต่อสูงที่สุด เท่ากับ 16.93 และ 21.25 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่อายุ 5, 6 และ 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง สัมจุกที่ใช้ต้นตอส้มซ่ามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 31.21, 32.34 และ 42.28 เซนติเมตร

ตามลำดับ จากค่าเฉลี่ยทั้ง 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง สัม
 จุกที่ใช้เป็นต้นตอส้มซ่ามีความสูงเหนือรอยต่อสูง
 ที่สุด รองลงมาคือ ต้นตอส้มพันธุ์โอทองดี ส้มโอ

พันธุ์พื้นเมือง มะกรูด และ มะนาวควาย มีค่าเท่ากับ
 23.30, 21.75, 21.74, 15.67 และ 11.30 เซนติเมตร
 ตามลำดับ (Table 3; Figure 1)

Table 3 The average of height of scion upper stem (cm) of Neck orange on various rootstocks after cleft grafting for 7 months.

Rootstock	Height of scion upper stem (cm)/Month							Average
	1	2	3	4	5	6	7	
Native pomelo	10.53	13.50	16.30 ^{a1/}	19.16 ^a	24.56 ^{ab}	29.79 ^{ab}	38.39 ^a	21.74 ^b
Thongde pomelo	10.36	12.08	16.93 ^a	21.25 ^a	25.63 ^{ab}	28.65 ^{ab}	37.36 ^a	21.75 ^b
Citron	8.58	9.58	9.64 ^b	10.34 ^b	11.57 ^b	14.35 ^b	15.10 ^b	11.30 ^c
Kaffer lime	8.40	8.63	10.88 ^{ab}	13.66 ^{ab}	20.40 ^{ab}	22.48 ^{ab}	25.65 ^{ab}	15.67 ^b
Bitter orange	10.33	12.29	14.16 ^a	20.50 ^a	31.21 ^a	32.34 ^a	42.28 ^a	23.30 ^a
F-test	ns	ns	**	**	**	**	**	**
C.V.(%)	20.72	19.32	27.72	29.15	31.03	29.77	26.15	18.51

** = significant at 0.01 level

ns = non-significant

^{1/} = value follower by different letter are significantly different according to DMRT

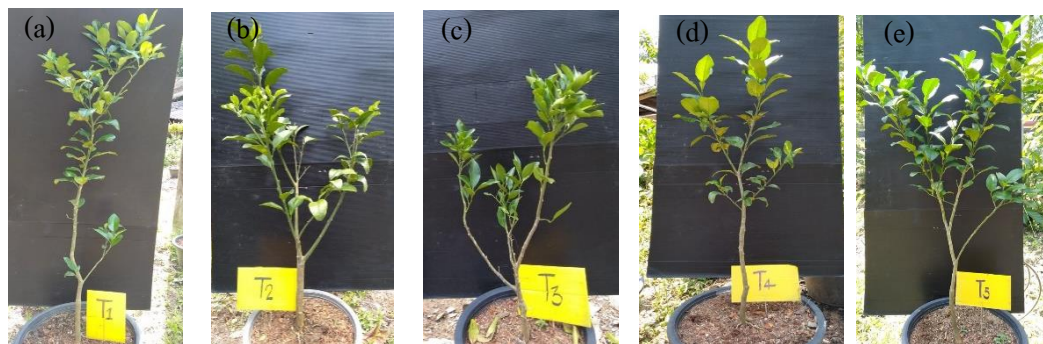


Figure 1 Characteristic of plant height and height of scion upper stem of Neck orange on various rootstocks after 7 months of cleft grafting. : (a) Native pomelo, (b) Thongde pomelo, (c) Citron, (d) Kaffer lime and (e) Bitter orange

ขนาดลำต้นใต้รอยต่อ พบว่า หลังการต่อกิ่งเป็นเวลา 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน ต้นส้มจุกที่ใช้ต้นต่อเป็นส้มพันธุ์โอพื้นเมือง ส้มโอพันธุ์ทองดี มะนาวควาย มะกรูด และส้มซ่า มีขนาดลำต้นใต้รอยต่อที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ยกเว้นที่อายุ 1 และ 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่อายุ 1- 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง ส้มจุกที่ใช้ต้นต่อเป็นส้มโอพันธุ์ทองดีมีเส้นผ่านศูนย์กลางใต้รอยต่อสูงที่สุดเท่ากับ 0.57, 0.65,

0.73, 0.79, 0.86, 0.88 และ 0.89 เซนติเมตร ตามลำดับ จากค่าเฉลี่ยขนาดลำต้นใต้รอยต่อทั้ง 7 เดือนพบว่า ส้มจุกที่ใช้ต้นต่อเป็นส้มโอพันธุ์ทองดีมีเส้นผ่านศูนย์กลางใต้รอยต่อสูงที่สุด รองลงมาคือ ต้นต่อส้มซ่า ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง มะกรูด และมะนาวควาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.76, 0.64, 0.63, 0.62 และ 0.57 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 4)

Table 4 The average of lower stem diameter (cm) of Neck orange on various rootstocks after cleft grafting for 7 months.

Rootstock	Lower stem diameter (cm)/Months							Average
	1	2	3	4	5	6	7	
Native pomelo	0.49	0.52 ^{b1/}	0.65 ^{ab}	0.69 ^a	0.69 ^a	0.69 ^{ab}	0.69	0.63
Thongde pomelo	0.57	0.65 ^a	0.73 ^a	0.79 ^a	0.86 ^a	0.88 ^a	0.89	0.76
Citron	0.44	0.55 ^{ab}	0.56 ^b	0.59 ^b	0.60 ^b	0.62 ^b	0.62	0.57
Kaffer lime	0.51	0.57 ^{ab}	0.61 ^{ab}	0.64 ^{ab}	0.65 ^{ab}	0.67 ^{ab}	0.67	0.62
Bitter orange	0.54	0.58 ^{ab}	0.61 ^{ab}	0.67 ^a	0.69 ^a	0.70 ^{ab}	0.70	0.64
F-test	ns	*	*	**	**	**	ns	ns
C.V.(%)	4.48	9.47	24.63	22.56	23.06	25.20	25.32	12.58

* = significant at 0.05 level

** = significant at 0.01 level

ns = non-significant

^{1/} = value follower by different letter are significantly different according to DMRT

ขนาดลำต้นเหนือรอยต่อ พบว่าภายหลังการต่อกิ่งทุกเดือน ต้นส้มจุกที่ใช้ต้นต่อเป็นส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ส้มโอพันธุ์ทองดี มะนาวควาย มะกรูด และส้มซ่า มีขนาดลำต้นเหนือรอยต่อที่ไม่ต่างกันทางสถิติ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือรอยต่อระหว่าง

0.29-0.51 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือรอยต่อทั้ง 7 เดือน หลังการต่อกิ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ต้นส้มจุกที่ใช้ต้นต่อเป็นส้มโอพันธุ์ทองดีมีแนวโน้มเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือรอยต่อมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.42 เซนติเมตร (Table 5)

Table 5 The average of upper stem diameter (cm) of Neck orange on various rootstocks after cleft grafting for 7 months.

Rootstock	Upper stem diameter (cm)/ Month							Average
	1	2	3	4	5	6	7	
Native pomelo	0.30	0.36	0.39	0.45	0.45	0.47	0.47	0.41
Thongde pomelo	0.30	0.31	0.43	0.44	0.47	0.48	0.49	0.42
Citron	0.29	0.30	0.30	0.34	0.39	0.40	0.40	0.32
Kaffer lime	0.31	0.33	0.33	0.38	0.38	0.40	0.51	0.39
Bitter orange	0.35	0.37	0.38	0.40	0.42	0.45	0.47	0.41
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	11.13	14.33	28.92	25.96	25.27	28.24	31.16	21.32

ns = non-significant

จำนวนใบต่อต้น พบว่า ภายหลังจากการต่อกิ่งเป็นเวลา 7 เดือน ต้นส้มจุกที่ใช้ต้นตอส้ม 5 ชนิด มีจำนวนใบต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยต้นส้มจุกที่ใช้ต้นตอเป็นส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ยของจำนวนใบต่อต้นสูงที่สุด ซึ่งไม่มี

ความแตกต่างจากต้นส้มจุกที่ใช้ต้นตอเป็นส้มโอพื้นเมือง และส้มซ่า รองลงมาคือ ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ส้มซ่า มะกรูด และมะนาวควาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.39, 22.00, 19.57, 13.22 และ 12.13 ใบต่อต้น ตามลำดับ (Figure 2; Figure 3)

**Figure 2** Characteristic of number of leaves per tree of Neck orange on various rootstocks after 7 months of cleft grafting : (a) Native pomelo, (b) Thongde pomelo, (c) Citron, (d) Kaffer lime and (e) Bitter orange

จำนวนกิ่งต่อต้น พบว่า ภายหลังการต่อกิ่งเป็นเวลา 7 เดือน ต้นส้มजूที่ใช้ต้นตอส้ม 5 ชนิด มีจำนวนกิ่งต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยต้นส้มजूที่ใช้ต้นตอเป็นส้มซ่าเป็นต้นตอมีค่าเฉลี่ยของจำนวนกิ่งต่อต้นสูงที่สุด แต่ไม่มี

ความแตกต่างกับส้มโอพันธุ์ทองดี และส้มโอพันธุ์พื้นเมือง รองลงมาคือ ส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์พื้นเมือง มะกรูด และมะนาวควาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47, 4.45, 4.40, 2.64 และ 2.42 กิ่ง ตามลำดับ (Figure 3)

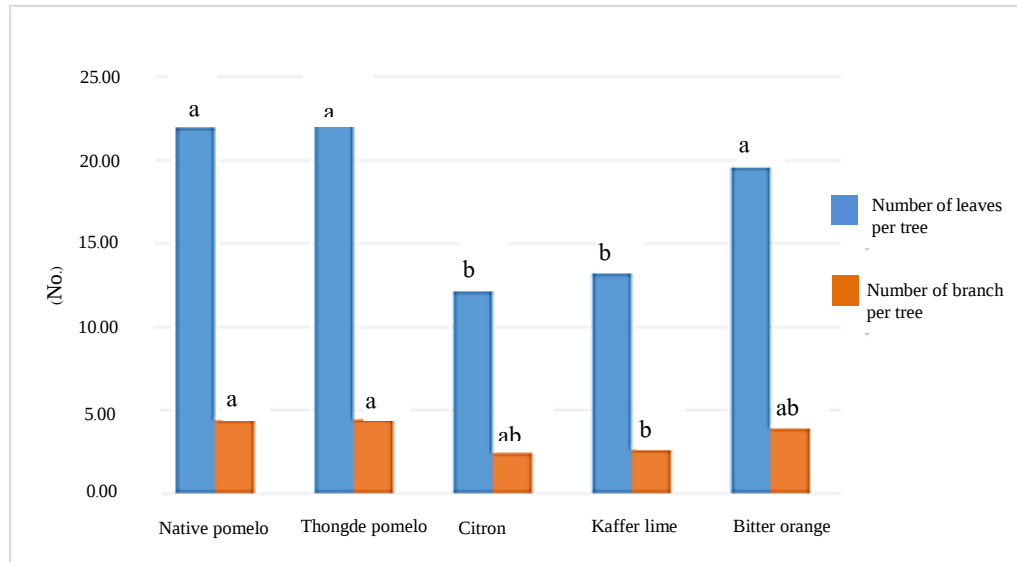


Figure 3 Average of number of leaves per tree (No.) and number of branch per tree (No.) of Neck orange on various rootstocks after 7 months of cleft grafting.

จากการศึกษาลักษณะต่าง ๆ ของกิ่งส้มजूที่ต่อกิ่งบนต้นตอพืชตระกูลส้ม 5 ชนิด ที่ได้จากการเลือกต้นตอที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง และมีการปลูกของเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งเป็นชนิดที่ปลูกมากและเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน สามารถหาได้ง่าย และคาดว่าสามารถปรับตัวและทนต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูกได้มากพอสมควร พบว่า ความสูงส้มजू ความสูงเหนือรอยต่อ ขนาดลำต้นใต้รอยต่อ ขนาดลำต้นเหนือรอยต่อ จำนวนใบต่อต้น และจำนวนกิ่งต่อต้น จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละเดือนที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมในช่วงดังกล่าวที่มีปริมาณฝนตกไม่สม่ำเสมอ (ตารางที่ 1) ทำให้ได้รับปัจจัยดังกล่าวไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ของส้มजूบนต้นตอส้มทั้ง 5 ชนิด ส่วนใหญ่เพิ่ม

สูงขึ้นทุก ๆ เดือน โดยเฉพาะต้นส้มजूที่ใช้ต้นตอเป็นส้มซ่า สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตในภาพรวมที่ดีกว่าการใช้ต้นตอชนิดอื่น คือหลังการต่อกิ่งเป็นเวลา 7 เดือน มีค่าเฉลี่ยของลักษณะ ความสูงต้น ความสูงต้นเหนือรอยต่อ ขนาดลำต้นใต้รอยต่อ ขนาดลำต้นเหนือรอยต่อ จำนวนใบต่อต้น และจำนวนกิ่งต่อต้นเท่ากับ 40.31, 23.30, 0.64, 0.41, 19.57 และ 4.47 และพบว่า ต้นส้มजूที่ใช้ต้นตอเป็นมะนาวควายส่งเสริมการเจริญเติบโตในภาพรวมได้น้อยที่สุด แสดงว่าเนื้อเยื่อเจริญของส้มซ่าสามารถที่จะเกิดการประสานของรอยต่อของต้นตอกับกิ่งพันธุ์ได้เข้ากันได้ดีในเบื้องต้นได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ อาจเนื่องจากว่าส้มซ่าอาจเป็นพันธุ์ที่มีสายพันธุ์ที่ใกล้เคียงกับส้มजूมากที่สุด จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตเป็นไปในทิศทางที่มีการเจริญได้รวดเร็วขึ้น ตามการรายงานของ Puangjirik

and Phinyo (2008) พบว่า การต่อกิ่งมะนาวเป็นรำไพบบนต้นต่อมะนาวพวงทำให้กิ่งพันธุ์ดีเจริญเติบโตดีเนื่องจากเป็นพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกันทางพันธุกรรมกับกิ่งพันธุ์ดีมากที่สุด เนื้อเยื่อจึงประสานกันได้ดีและต้นที่ทำการต่อกิ่งสามารถตั้งตัวได้รวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันมะนาวพวงมีรากที่สามารถหาอาหารได้ดีจึงมีอาหารไปเลี้ยงกิ่งพันธุ์ดีได้มากเมื่อเทียบกับ มะตูม มะขวิด และส้มโอ ดังนั้นคุณสมบัติของต้นตอที่ดีคือต้องช่วยส่งเสริมความแข็งแรงของกิ่งพันธุ์ดี และไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิต Khamlert (2009) รายงานว่า การต่อกิ่งของพืชเป็นการนำส่วนของพืชมาเชื่อมต่อกันซึ่งส่วนหนึ่งทำหน้าที่เป็นลำต้นส่วนบน (scion) อีกส่วนหนึ่งทำหน้าที่เป็นราก (rootstock) หลังจากการต่อกิ่งอาจทำให้การประสานของรอยต่อไม่ดีหรือเข้ากันไม่ได้ หรือมีการประสานของรอยต่อได้ดีแต่อาจมีการเติบโตแตกต่างจากต้นเดิม โดยกิ่งพันธุ์ดีหรือต้นตออาจมีคุณสมบัติทนต่อโรค (Zhang *et al.*, 1988) ซึ่งต้นตอแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะมีทั้งข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบรวมอยู่ด้วย ไม่มีต้นตอชนิดใดที่มีสมบัติดีเด่นทุกอย่าง (Castle, 1992) การแบ่งกลุ่มของต้นตอสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่แข็งแรงส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดี (vigor) และกลุ่มที่อ่อนแอส่งเสริมการเจริญได้ในอัตราที่ต่ำ (weak) จากการทดลองนี้มีความสูงต้นมากกว่าการทดลองของ Lim *et al.* (2000) ที่ใช้ต้นตอพืชตระกูลส้ม 7 ชนิด ในการต่อกิ่งส้มโชกุน คือ ส้มเขียวหวาน ส้มฟรุ๊ตมอนด์ มะสัง ส้มโอ ส้มซ่า มะกรูด และมะขวิด มีค่าเฉลี่ยของความสูงต้นเท่ากับ 34.10, 32.60, 19.80, 19.40, 18.40, 16.60 และ 14.90 เซนติเมตร ตามลำดับจากการใช้ต้นตอส้มชนิดต่าง ๆ 5 ชนิด ต่อการเจริญเติบโตของส้มจุกเห็นได้ว่าต้นตอของส้มซ่าส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเนื่องจากให้ลักษณะบางประการ เช่น ความสูงต้น ความสูงต้น

เหนือรอยต่อและจำนวนกิ่ง ที่ดีกว่าต้นตอส้มโอพื้นเมือง ส้มโอทองดี และมะกรูด สอดคล้องกับ Lim *et al.* (2000) ที่ใช้ต้นตอพืชตระกูลส้ม 7 ชนิด พบว่านอกจากส้มเขียวหวานแล้ว ส้มซ่ากับมะสังสามารถทำเป็นต้นตอของส้มโชกุนได้

สรุป

การใช้ต้นตอพืชตระกูลส้ม 5 ชนิด ที่ใช้ในการต่อกิ่งแบบเสียบลิ่มส้มจุก จากการใช้ต้นตอส้มเพาะเมล็ด 5 พันธุ์ ได้แก่ ส้มโอพันธุ์พื้นเมือง ส้มโอพันธุ์ทองดี มะนาวควาย มะกรูด และส้มซ่า เมื่อต้นกล้าอายุ 6 เดือน นำกิ่งส้มจุกพันธุ์ทำการต่อกิ่ง โดยทำการศึกษาลักษณะความสูงต้น ความสูงเหนือรอยต่อ เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นจากบริเวณใต้รอยต่อ และเหนือรอยต่อ จำนวนใบต่อต้น และจำนวนกิ่งต่อต้น จากผลการทดลองพบว่า การใช้ส้มซ่าในการต่อกิ่งสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต ในด้านความสูงต้น ความสูงต้นเหนือรอยต่อและจำนวนกิ่ง ที่ดีกว่าการใช้ต้นตอชนิดอื่น และมะนาวควายจะส่งเสริมการเจริญเติบโตได้น้อยที่สุด ซึ่งในช่วงเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 4 หลังจากต่อกิ่งยังไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน แต่หลังการต่อกิ่งตั้งแต่เดือนที่ 5, 6 และ 7 พบว่า มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น ความสูงต้นเหนือรอยต่อ และจำนวนกิ่งต่อต้น สูงกว่าต้นตอชนิดอื่น ซึ่งจากลักษณะเหล่านี้แสดงว่าการประสานรอยของกิ่งส้มจุกที่ใช้ส้มซ่าเป็นต้นตอมีการประสานเข้ากันได้ดี มีแนวโน้มที่จะให้ลักษณะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตทางลำต้นและคาดว่าน่าจะให้ผลผลิตที่ดีกว่าการใช้ต้นตอชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติผู้สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Castle, W.S. 1992. **Rootstock Selection**. Published documents, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida.
- Gonzalez, A. and Figueroa, L.A. 1996. Comportamiento de patrones en combinacion con tangelo Orlando. **Journal of Agriculture of the University of Puerto-Rico** 80(3): 203-205.
- Khamlert, S. 2009. **Principles and methods of plant propagation**. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University Publications, Bangkok. (in Thai)
- Lim, M. 1993. **Orange Production**. Department of plant science, Faculty of Natural Resources Prince of Songkla University, Songkhla. (in Thai)
- Lim, M., Sasomsuk, M. and Te-chato, S. 2000. Effect of citrus rootstocks on grafting success of shogum (*Citrus reticulata* Blanco cv. Shogum). **Journal of Agriculture** 16(2): 136-147. (in Thai)
- Meteorological station. 2019. **Summary of weather characteristics**. Published documents, Nakhon Si Thammarat Meteorological station, Nakhon Si Thammarat. (in Thai)
- Neck orange. 2021. **Neck orange (*Citrus reticulata* Blanco.)**. Published documents, Research Center for Perennial Plants and Tropical Fruit Trees, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla (in Thai)
- Puangjik, H. and Phinyo, M. 2008. Influence of some citrus rootstocks on the growth of *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle by grafting method. **Agricultural Sciences** 39(3)(Suppl.): 102-105.
- Ramin, A.A. and Alirezanezhad, A. 2005. Effects of citrus rootstocks on fruit yield and quality of ruby red and marsh grapefruit. **Fruits** 60(5): 311-317.
- Rodriguez-Gamir, J., Intrigliolo, D.S., Primo-Millo, E. and Forner-Giner, M.A. 2010. Relationships between xylem anatomy, root hydraulic conductivity, leaf/root ratio and transpiration in citrus trees on different rootstocks. **Physiologia Plantarum** 139(2): 159-169.
- Sadudee, R. 1994. Shabby disease of neck orange (*Citrus reticulata* Blanco.). **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 16: 353-367. (in Thai)
- Wanthanaphuti, N. 1999. **Plant propagation**. Odeon Store Publishing House, Bangkok. (in Thai)
- Watanawan, P. 1997. **The Science of Orange**. Pikanet Printing Center Co., Ltd., Bangkok. (in Thai)
- Zhang, T. M. , Liang, X. Y. and Reistacher, C. N. 1988. Occurrence and detection of citrus tatter leaf virus (CTLV) in Huangyan, Zhejiang Province, China. **Plant Disease** 72: 543-545.

การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ประเภทตู้เสื้อผ้าไม้ไผ่

โดยการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคันเซ

Design of Bamboo Wardrobe Furniture Products

by Applying Kansei Engineering Technique

สุรสิทธิ ระวังวงศ์^{1,2*}, ธยา ภิรมย์¹, จุลาลักษณ์ โรจนานุกุล¹, อภิชาล ทองมั่ง กำเนิดว่า¹ และ พีรพงษ์ พันธะศรี³

Surasit Rawangwong^{1,2*}, Thaya Pirom¹, Julaluk Rodjananugoon¹, Apichon Thongmung Kamnerdwam¹

and Pheeraphong Phanthasri³

Received: 22 February 2022, Revised: 30 August 2022, Accepted: 23 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ เนื่องจากผลิตภัณฑ์แบบเดิมยังไม่สนองความต้องการของลูกค้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคันเซ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีขั้นตอนเริ่มจากการรวบรวมและคัดเลือกความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ การวิเคราะห์ และกำหนดภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์การสร้างแบบสอบถาม แล้วนำข้อมูลจากการสำรวจมาวิเคราะห์เชิงปริมาณประเภทที่ 1 (การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ) ในรูปแบบของสมการพยากรณ์ สำหรับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ พร้อมจำลองรูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ผลการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าได้รับการออกแบบและพัฒนาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ในส่วนของการใช้งาน วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวางของเสื้อผ้า รูปแบบการเปิดบานประตู ลักษณะของตู้ และโครงสร้างของตู้เสื้อผ้า ซึ่งมีความสอดคล้องกับอารมณ์ ความรู้สึก และความต้องการของผู้บริโภคได้ ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าแบบใหม่ที่ได้รับการพัฒนาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับความรู้สึกมีอัตลักษณ์ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคมากที่สุด โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีและ

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² Materials Processing Technology Research Unit, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

³ สาขาออกแบบ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

³ Department of Design, Faculty of Arts, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): surasit.r@rmutsv.ac.th

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 นอกจากนี้ ยังพบว่างานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางสำหรับช่วยให้นักออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถตอบสนองต่อพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น

คำสำคัญ: การออกแบบผลิตภัณฑ์, ตู้เสื้อผ้า, วิศวกรรมคันเซ, ไม้ไผ่

ABSTRACT

This research aims to design bamboo wardrobe furniture products by applying Kansei engineering techniques and to create an idea for designing wardrobe products that can respond the behavior and needs of consumers. Initially, the survey data were analyzed by using quantification theory type I (multiple linear regression) in the form of a forecast equation for expressing the relationship between Kansei words and product characteristics to make a new product model. This study revealed the bamboo wardrobe products are designed and developed the product characteristics in the area of use, the material used to make the plates on the wardrobe, the opening style of the door, the appearance of the wardrobe, and the structure of the wardrobe in accordance with the emotions, feelings, and needs of consumers. The results of this study showed that new wardrobe products developed product characteristics in line with a sense of identity, which has the greatest impact on consumer satisfaction. The average satisfaction score is 4.50, which is good. Additionally, it was found that this research serves as a guideline for helping designers to design new products that can better respond to consumer behavior and needs.

Key words: product design, wardrobe, kansei engineering, bamboo

บทนำ

ไผ่เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและกึ่งร้อน ในประเทศไทยพบการเจริญเติบโตของไผ่ในทุกภาค ด้วยลักษณะพิเศษที่เป็นพืชโตเร็ว ให้หน่อและเนื้อไม้ เพื่อการอุปโภคบริโภค จึงเป็นพืชอเนกประสงค์ที่คนไทยคุ้นเคยตลอดมา (Phuangchik *et al.*, 2015) ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์หญ้า (Gramineae) แต่เป็นพืชตระกูลหญ้าที่สูงที่สุดในโลก ไม้ไผ่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไผ่ธรรมชาติในประเทศกว่า 28 ล้านไร่ นอกจากนี้ คนไทยยังนิยมปลูกไผ่ไว้รอบบ้านสำหรับทำเครื่องใช้ ไผ่ยังช่วยในการอนุรักษ์ดินและน้ำเนื่องจากมีระบบรากเหง้าที่ยึดเหนี่ยวกันแน่นหนา

ป้องกันการพังทลายของดินได้ (Sukjai *et al.*, 2021) ทั้งนี้ ไผ่ยังถือว่าเป็นวัสดุพื้นถิ่นที่พบเห็นในวิถีชีวิตของชาวบ้าน เนื่องจากหาง่าย มีราคาถูก ใช้เครื่องมือช่างทั่วไปก็สามารถขึ้นรูปได้ มีการนำไปใช้สำหรับทำเครื่องมือ เครื่องใช้ เครื่องประดับ เครื่องเรือน เครื่องมือจับสัตว์ เครื่องเล่น และเครื่องดนตรี (Kumsingsree, 2018)

จังหวัดสตูล เป็นจังหวัดที่มีชื่อเสียงในภาคใต้ด้านการท่องเที่ยว เป็นพื้นที่แหล่งธรรมชาติที่มีคุณค่าและเป็นอุทยานธรณีโลก ด้านการอนุรักษ์มรดกทางธรณีวิทยา โบราณคดี นิเวศวิทยา และวัฒนธรรม ส่งผลให้ผู้ประกอบการโรงแรม รีสอร์ท ร้านค้าต่าง ๆ ในจังหวัดสตูล มีการตื่นตัวเพื่อรองรับ

การท่องเที่ยวในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งชุมชนและกลุ่มผู้ผลิตได้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ของใช้ ของประดับตกแต่ง ของฝากของที่ระลึกต่าง ๆ จะเชื่อมโยงกับอุทยานธรณีโลก โดยเน้นการใช้ทรัพยากรที่อยู่ในท้องถิ่นสำหรับการขับเคลื่อนผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ ซึ่งเป็นสินค้าชนิดหนึ่งในพื้นที่อำเภอเมือง มะนัง ละงู หุ่นหว้า และควนกาหลง โดยการทำเครื่องเรือนเครื่องใช้ งานจักสานจากไม้ไผ่ และการสานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ ซึ่งถือเป็นอาชีพดั้งเดิมของชาวบ้านมากกว่า 20 กลุ่ม แต่เนื่องจากมีวัตถุดิบที่เป็นไม้ไผ่ปริมาณมาก จากเดิมเป็นแค่ทำเครื่องเรือนเครื่องใช้ งานจักสานในระดับครัวเรือน และเป็นกิจกรรมเล็ก ๆ ของกลุ่มชาวบ้านที่รวมตัวกันเอาไม้ไผ่มาทำเครื่องเรือน งานจักสานเป็นผลิตภัณฑ์ของใช้เล็ก ๆ เพื่อใช้ในครัวเรือน เช่น ตะกร้า หมวก กระเป๋าของที่ระลึก ของใช้ ของตกแต่งบ้าน และผลิตภัณฑ์จักสานจากไม้ไผ่ประเภทอื่น ๆ สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องเรือนจากไม้ไผ่ กลุ่มผู้ผลิตฯ ได้นำเอาไม้ไผ่มาทำโต๊ะ เก้าอี้ ชุมนั่ง ชั้นวางของ และเครื่องเรือนอื่น ๆ ที่ใช้ในบ้านเรือน โรงแรม รีสอร์ท ร้านอาหาร ร้านกาแฟ เป็นต้น จึงถูกปรับเปลี่ยนรูปแบบหน้าที่ประโยชน์การใช้งานตามสถานะเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมนำไปสู่การสร้างสรรคผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเสริมสร้างยกระดับเศรษฐกิจ สร้างรายได้ให้กับกลุ่มชุมชนที่ผลิตได้เช่นเดียวกัน (Chainun *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม รูปแบบของเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ที่ถูกผลิตขึ้นในปัจจุบันยังคงไม่ได้รับการพัฒนาหรือสร้างเอกลักษณ์ความแปลกใหม่ มีผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงและเหมือนกันกับหลาย ๆ จึงเป็นสาเหตุให้จำหน่ายได้เฉพาะกลุ่ม เน้นการตัดราคาเพื่อสร้างความพึงพอใจต่อกลุ่มลูกค้า

จากการลงพื้นที่สำรวจและสอบถามกลุ่มผู้ผลิตฯ พบว่ามีปัญหาที่คล้ายกันนั้นคือ ผลิตภัณฑ์

เป็นงานเครื่องเรือน งานหัตถกรรม และงานช่าง ซึ่งมีคุณค่าทางจิตใจ แต่ประโยชน์ใช้สอยของผลิตภัณฑ์ยังไม่ตอบโจทย์ความต้องการของลูกค้า รูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มผู้ผลิตฯ ทำกันยังไม่ค่อยดึงดูดความสนใจของลูกค้า ไม่สอดคล้องกับยุคสมัยปัจจุบันที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ผู้ที่กำลังซื้อจะเป็นสังคมเมืองภาคธุรกิจ และนักท่องเที่ยว กลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ จึงมีความสนใจกลยุทธ์การออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องเรือนเครื่องใช้จากไม้ไผ่ที่มีความหลากหลายและสนองความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้เพื่อตอบสนองและขยายตลาดกลุ่มเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่รู้จักด้วยแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ให้เกิดเป็นเครื่องเรือนเครื่องใช้ และของตกแต่งเพื่อทุกคน จากฐานจุดเด่นด้านอัตลักษณ์ของพื้นที่ ภูมิปัญญา และวัฒนธรรมท้องถิ่นภาคใต้ที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มจากไม้ไผ่

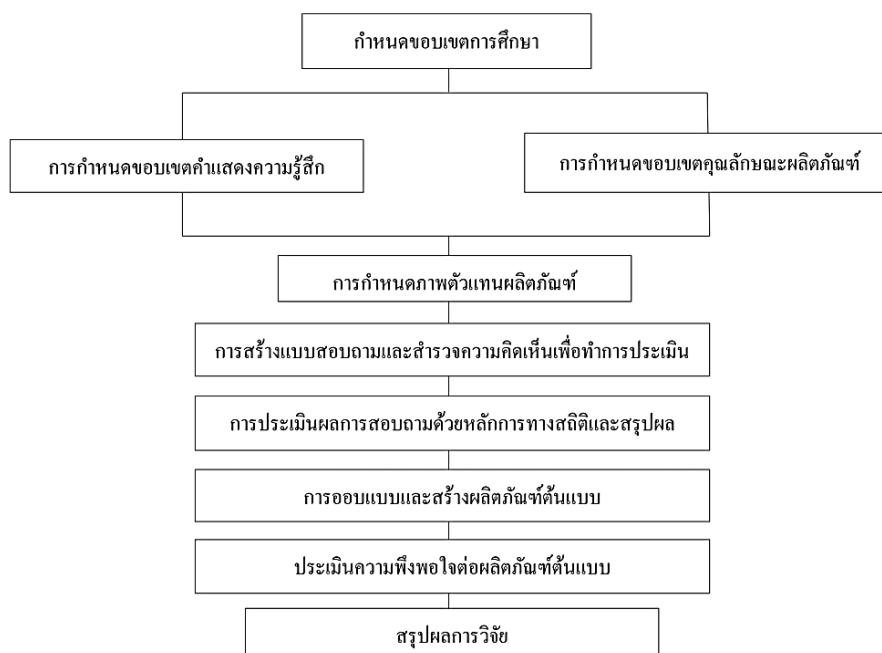
เทคนิควิชากรรมคันเซ (Kansei Engineering) เป็นแนวทางและเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มุ่งเน้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ (Khumpong and Kasemset, 2012) วิศวกรรมคันเซได้รับการพัฒนาให้เป็นเทคนิคที่มุ่งเน้นผู้บริโภค การตอบสนองทางอารมณ์ ความรู้สึกของลูกค้า และแปลงเป็นองค์ประกอบการออกแบบของผลิตภัณฑ์ (Quan *et al.*, 2018) โดยเป็นเทคนิคที่เน้นการสร้าง ความพึงพอใจและให้ความสำคัญกับลูกค้าโดยนำข้อมูลป้อนกลับจากลูกค้ามาศึกษาและระบุนความต้องการของลูกค้าออกมา และค้นหาวิธีการในการที่จะทำให้อรรถประโยชน์ดังกล่าวอย่างเหมาะสม (Adiyanto *et al.*, 2019) ทำให้ความผิดพลาดจากผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ไม่ตรงกับความต้องการของลูกค้าลดลง อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ช่วยในการลดระยะเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และยังสามารถหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ อีกทั้งยังทำ

ให้เกิดการทำงานเป็นทีม เนื่องจากการตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับมติของเสียงส่วนใหญ่ จึงเกิดเป้าหมายร่วมกัน สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมในการออกความคิดเห็นเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นการประสานความร่วมมือทำให้เกิดความราบรื่น และความถูกต้องในการดำเนินการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากการค้นคว้าผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซ สำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่าได้ประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซสำหรับการเลือกแวนกันแดคคอมเมิร์ซ (Chuan *et al.*, 2013) การออกแบบนวัตกรรมนาฬิกาปลุกจากไม้นี้ไฟ (Shergian and Immawan, 2015) การออกแบบขวดลายดั้งเดิม (Chen *et al.*, 2021)

จากข้อมูลข้างต้นจึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้ เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไฟประเภทตู้เสื้อผ้าโดยการประยุกต์ใช้วิศวกรรมคั่นเซ สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าตามยุคปัจจุบันมากขึ้น และยังคงเป็นการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไฟ หรือวัสดุอื่น ๆ โดยให้กลุ่มผู้ผลิตฯ สามารถนำวัสดุอื่น ๆ ในท้องถิ่น เช่น ไม้ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น สำหรับเอาไปใช้ตกแต่งเพื่อเพิ่มมูลค่าในตัวผลิตภัณฑ์ และก่อให้เกิดประโยชน์และสามารถตอบสนองความต้องการของตลาด หรือลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย เช่น กลุ่มโรงแรม รีสอร์ท ร้านอาหาร ร้านกาแฟ และบ้านเรือนทั่วไป ที่ชอบผลิตภัณฑ์เครื่องเรือนเครื่องใช้ที่ทำจากไม้ไฟ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับสมาชิกกลุ่มผู้ผลิตฯ ในเครือข่ายตลอดห่วงโซ่อุปทาน และนำไปสู่การสร้างชุมชนที่เข้มแข็ง เนื่องจากสามารถสร้างรายได้เลี้ยงครอบครัว และการสร้างงานในท้องถิ่นได้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไฟประเภทตู้เสื้อผ้า โดยการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซ ทำการสำรวจอารมณ์ ความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ด้วยการเก็บแบบสอบถามการวิจัยตามกระบวนการของเทคนิควิศวกรรมคั่นเซ โดยเก็บข้อมูลการวิจัยในช่วงเดือน ตุลาคม 2563 ถึง มกราคม 2564 การลงพื้นที่เก็บข้อมูลประกอบด้วยแบบสอบถามจำนวนทั้งหมด 3 ชุด โดยแบบสอบถามในแต่ละชุดมีรายละเอียดของกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามที่แตกต่างกัน คือ แบบสอบถามที่ 1 ผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 29 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ส่วนแบบสอบถามที่ 2 และแบบสอบถามที่ 3 ผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 323 ท่าน และ 58 ท่าน ตามลำดับ ประกอบด้วย ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ ผู้บริโภคกลุ่มโรงแรม รีสอร์ท ร้านอาหาร บ้านเรือน และลูกค้าที่ใช้เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไฟ ผลการสำรวจจากแบบสอบถามทั้ง 3 ชุด จะถูกนำมาวิเคราะห์ผ่านกระบวนการของเทคนิควิศวกรรมคั่นเซ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อกำหนดเชิงคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ โดยสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การกำหนดขอบเขตการศึกษา (Choice of domain)

สำรวจกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ผุ อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล เพื่อกำหนดขอบเขตการศึกษาพบว่า ทางกลุ่มผู้ผลิตมีความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ผุประเภทตู้เสื้อผ้า ที่มีวัตถุดิบหลักคือ ไม้ผุ ซึ่งมีปริมาณมากในพื้นที่จังหวัดสตูล อีกทั้งกำหนดกลุ่มผู้บริโภคหรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์คือ กลุ่มโรงแรม รีสอร์ท ร้านกาแฟ บ้านเรือน และกลุ่มลูกค้าที่ชอบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เครื่องเรือนจากไม้ผุ นอกจากนี้ ในส่วนของภาพผลิตภัณฑ์อาจเป็นภาพตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือภาพผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิด เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบผลิตภัณฑ์

2. การกำหนดขอบเขตคำแสดงความรู้สึก (Span the semantic space)

รวบรวมและคัดเลือกคำแสดงความรู้สึก (Kansei word) ซึ่งเป็นแบบสอบถามที่ 1 เป็นแบบสอบถามที่แสดงถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ผุประเภทตู้เสื้อผ้า เพื่อใช้เชื่อมโยง

กับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้ (Lee *et al.*, 2002)

1) การรวบรวมคำแสดงความรู้สึก

รวบรวมและคัดเลือกคำแสดงความรู้สึก (Kansei word) ที่แสดงถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ผุประเภทตู้เสื้อผ้า โดยสืบค้นและรวบรวมจากหลายแหล่งข้อมูล เช่น สื่ออินเทอร์เน็ต นิติสาร วารสาร ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ใช้งานที่มีประสบการณ์ เป็นต้น

2) การคัดเลือกคำแสดงความรู้สึก

นำคำแสดงความรู้สึกที่ได้จากการรวบรวมในขั้นตอนก่อนหน้าจัดทำแบบสอบถามที่ 1 เพื่อคัดกรองคำแสดงความรู้สึก โดยใช้วิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item objective congruence; IOC) โดยมีค่าในการประเมินแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ -1, 0, 1

จากการศึกษาเครื่องมือและการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย พบว่า การตัดสินใจค่า IOC นั้นจะทำการคัดเลือกค่า $IOC > 0.5$ เพราะสามารถแสดงถึงความเที่ยงตรงและยอมรับได้ แต่ทำการปฏิเสธค่า

แสดงความรู้สึกลึกที่มีค่า $IOC < 0.5$ เพราะเป็นค่าที่ต้องมีการปรับปรุงหรือไม่ยอมรับ ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกค่าแสดงความรู้สึกลึกที่มีค่า $IOC > 0.5$ เพราะเป็นค่าที่แสดงถึงความเที่ยงตรงและยอมรับได้ตามหลักเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Srisatidnarakul, 2012)

3) การแปลความหมาย

นำผลการคัดเลือกค่าแสดงความรู้สึกลึกที่ผ่านการคัดเลือก ($IOC > 0.5$) ระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องเรือน อีกครั้งเพื่อคัดเลือกค่าแสดงความรู้สึกลึกที่สามารถสื่อถึงผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าได้มากที่สุด

3. การกำหนดขอบเขตคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ (Span the space of properties)

รวบรวมและคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อความรู้สึกของผู้บริโภค ซึ่งเป็นแบบสอบถามที่ 2 และการออกแบบผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

1) การรวบรวมคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ (Collection)

รวบรวมคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ โดยอ้างอิงจากขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ซึ่งได้ทำการรวบรวมจากหลายแหล่งข้อมูล ได้จากนิยามภาพลักษณ์ และการสร้างสรรค์แนวความคิดใหม่ที่ได้จากการผสมผสานของผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน จากนั้นนำคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มาทำแผนผังความคิด โดยผลลัพธ์ที่ได้เพื่อให้ทราบรายการคุณลักษณะก่อนทำการคัดเลือกในขั้นตอนถัดไป

2) การคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ (Selection)

นำคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรวบรวมคุณลักษณะที่ทำการรวบรวมคุณลักษณะผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนก่อนหน้าจัดทำแบบสอบถามที่ 2 และทำ

การประเมินโดยกลุ่มผู้บริโภค จำนวน 323 คน เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีระดับคะแนนมากกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินทั้งหมด สุดท้ายในส่วนคุณลักษณะใหม่ จะได้รับการประเมินและคัดเลือกโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นต้น

3) กำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ (Compiling)

ทำการระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ อีกครั้ง เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเป็นและสำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกของผู้บริโภคสำหรับเฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ประเภทตู้เสื้อผ้า

4. การกำหนดภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์

รวบรวมภาพผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลักและคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อยที่มีรูปแบบหลากหลายและมีความแตกต่างกัน จากนั้นประยุกต์ใช้แผนภาพความสัมพันธ์ (Relation diagram) ในการแบ่งกลุ่มภาพผลิตภัณฑ์ออกเป็นกลุ่มตามผลการวิเคราะห์ขอบเขตคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นเลือกภาพผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อยตรงกับขอบเขตคุณลักษณะผลิตภัณฑ์มากที่สุดมาเป็นภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของแบบสอบถามขั้นต่อไป

5. การสร้างแบบสอบถามและสำรวจความคิดเห็นเพื่อทำการประเมินผลิตภัณฑ์

สร้างแบบสอบถามที่ 3 โดยองค์ประกอบของแบบสอบถามประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน คือ คำค้นเซที่แสดงขอบเขตความรู้สึก คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่แสดงขอบเขตคุณลักษณะ และภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการคัดเลือกในขั้นตอนก่อนหน้า โดยระดับการให้คะแนนที่ใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ จากนั้นทำการประเมินโดยกลุ่มผู้บริโภค จำนวน 58 คน เพื่อ

ศึกษาว่าคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ใดที่ส่งผลและสื่อถึงอารมณ์ความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้ามากน้อยเพียงใด จากนั้นดำเนินการสรุปข้อมูลจากแบบสอบถามที่ 3 โดยแสดงข้อมูลในรูปแบบแผนภูมิและนำข้อมูลบางส่วนไปวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติต่อไป

6. การประเมินผลการสอบถามด้วยหลักการทางสถิติและสรุปผล

เป็นการสังเคราะห์ผลจากแบบสอบถามที่ 3 ที่ผ่านการประเมินแบบสอบถามด้วยกลุ่มผู้บริโภคร่วม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้กันมากคือ เครื่องมือทางสถิติ โดยเฉพาะทฤษฎีเชิงปริมาณประเภทที่ 1 (Quantification theory type I; QT1) แสดงดังภาพที่ 2 และสามารถสรุปรายละเอียดขั้นตอน 4 ขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

1) รวบรวมผลจากการสำรวจกลุ่มเป้าหมายเบื้องต้น

นำข้อมูลส่วนของระดับคะแนนในกลุ่มเป้าหมายประเมินในแต่ละค่าแสดงความรู้สึกของตัวแทนผลิตภัณฑ์แต่ละภาพมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณโน้มของข้อมูลว่าค่าแสดงความรู้สึกแต่ละค่ามีความโดดเด่นสำหรับผลิตภัณฑ์ และมีความสัมพันธ์กับภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์มากที่สุด

2) วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมประยุกต์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เพื่อหาค่า R-Square Adjust หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณยกกำลังสอง (Square Multiple Correlation Coefficient; MCC²) โดยทั่วไปแล้วค่า MCC² จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.00 ถึง +1.00 จึงจะยอมรับผล การหาค่าในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ จะใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณยกกำลังสอง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณจะมีค่าเท่ากับค่า R-value ในการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า MCC²>0.7 โดยสมการของ MCC² แสดงดังสมการที่ (1)

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 \sum (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

การวิเคราะห์หาสมการถดถอยพหุคูณจะทำให้ได้สมการพยากรณ์เชิงเส้นตรงในรูปคะแนนดิบ แสดงดังสมการที่ (2)

$$Y_i = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_px_p \quad (2)$$

เมื่อ Y_i คือ คะแนนพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบของตัวแปรเกณฑ์ a คือ ค่าคงที่ b คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปของคะแนนดิบของตัวแปรพยากรณ์ x คือ ตัวแปรพยากรณ์ซึ่งมีหลายตัว และ R คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

3) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก

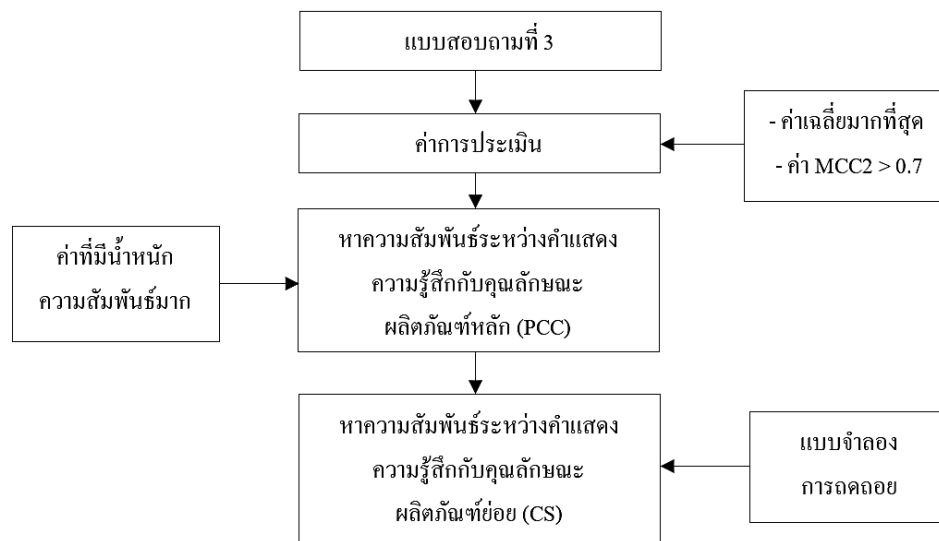
วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก (Partial Correlation Coefficient; PCC) ที่มีน้ำหนักความสัมพันธ์

มากและมีผล ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับวิธีดำเนินการวิจัยของ Yodwangjai (2014); Pimapsri (2011) ที่มีผล ($P < 0.05$)

4) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย (Category Score; CS) ด้วยแบบจำลองการถดถอย จากนั้น

พิจารณาค่า CS ที่มีผล $P < 0.05$ ทั้งนี้ มีการพิจารณาร่วมกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีค่า PCC ที่มากและมีน้ำหนักความสัมพันธ์สูงมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย และเพื่อกำหนดเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับทีมออกแบบผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางสถิติ (Pimapsri, 2011)

7. การออกแบบและสร้างขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าให้กับทีมออกแบบ โดยการแปลความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สู่องค์ประกอบของด้านการออกแบบเพื่อกำหนดเป็นแนวทางข้อมูลพื้นฐาน (Roy *et al.*, 2009) ในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ ประเภทตู้เสื้อผ้า และดำเนินการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ จากนั้นมีการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เพื่อทราบถึงต้นทุนที่ใช้ในการสร้างต้นแบบและครอบคลุมในการกำหนดราคาค่าตั้งต้นของต้นแบบผลิตภัณฑ์

8. ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบมาทำการสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มเดิม คือ กลุ่มผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มโรงแรม รีสอร์ท ร้านกาแฟ บ้านเรือน และกลุ่มลูกค้าที่ชอบเฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละประเด็น ซึ่งระดับคะแนนความพึงพอใจที่มีต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ต้นแบบด้านการออกแบบ ด้านการผลิต และด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซสำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า สามารถสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้ โดยกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มผู้ชาย 59 % อยู่ในช่วงอายุ 35-39 ปี 42% และเป็นกลุ่มอาจารย์/นักวิชาการ 52%

1. ผลการกำหนดขอบเขตคำแสดงความรู้สึก

ผลการรวบรวมคำแสดงความรู้สึก (Kansei Word) ที่แสดงถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า พบว่าคำคั่นเซที่แสดงถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ (IOC>0.5) มีจำนวน 13 คำ ดังตารางที่ 1 โดยกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่จะเป็น ผู้ชาย 59% อยู่ในช่วงอายุ 35-39 ปี 42% หลังจากนั้นดำเนินการระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ พบว่าผู้เชี่ยวชาญได้ดำเนินการตัดคำที่ไม่แสดงถึงผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่จำนวน 7 คำ

ตารางที่ 1 คำคั่นเซที่แสดงถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

คำคั่นเซที่แสดงถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า		
ความกลมกลืน	ทนทาน	โดดเด่น
ทันสมัย	สร้างสรรค์	เรียบง่าย
แข็งแรง	มีคุณค่า	สวยงาม
มีความลงตัว	อัตลักษณ์	สะดวกสบาย
เหมาะสมกับการใช้งาน		

ดังนั้น สรุปได้ว่าคำแสดงความรู้สึกที่สามารถสื่อถึงความรู้สึกเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้า โดยคำนึงถึงคำที่เหมาะสมที่สุดและสามารถนำไป

เป็นแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า มีจำนวน 6 คำ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการกำหนดขอบเขตคำแสดงความรู้สึก

ผลการกำหนดขอบเขตคำแสดงความรู้สึกทั้ง 6 คำ		
ความกลมกลืน	ทันสมัย	อัตลักษณ์
โดดเด่น	แข็งแรง	สวยงาม

2. ผลการกำหนดขอบเขตคุณลักษณะผลิตภัณฑ์

ผลการรวบรวมคุณลักษณะที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า จำนวน 12 คุณลักษณะหลัก และ 25 คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย จากนั้นเมื่อนำไปเก็บแบบสอบถามที่ 2 แล้วคัดเลือกเฉพาะคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีระดับ

คะแนนมากกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินทั้งหมด คือ 4.02 และนำคุณลักษณะที่ได้กลับไปคัดกรองกับผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบอีกครั้ง พบว่าคุณลักษณะที่ถูกคัดเลือกมีจำนวนทั้งหมด 5 คุณลักษณะ ดังตารางที่ 3

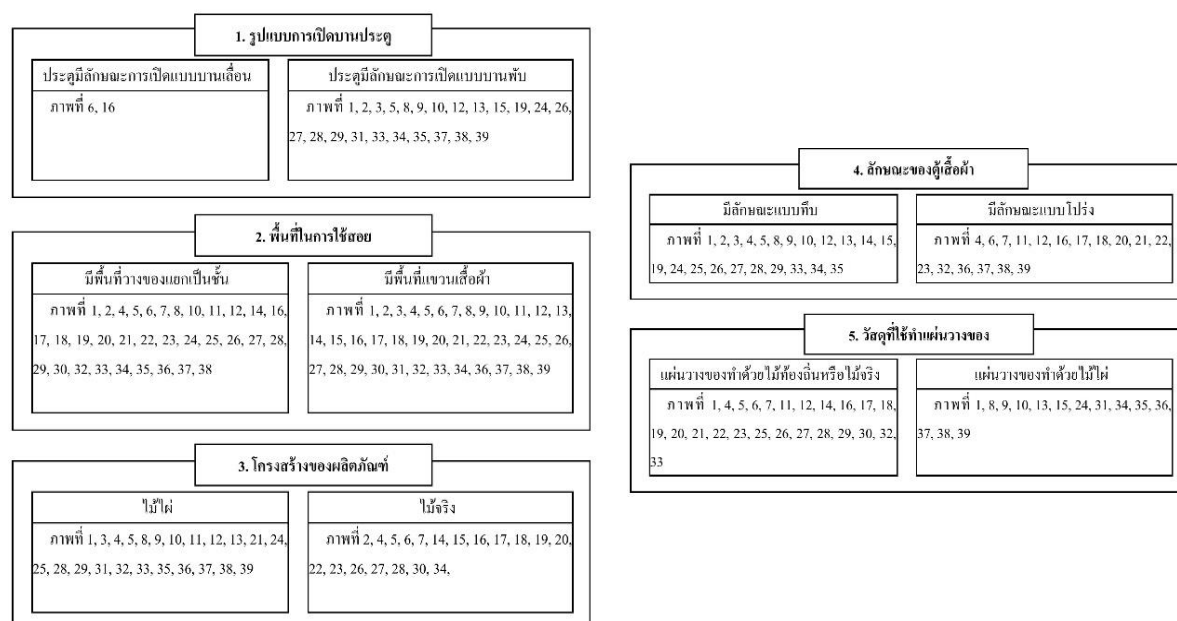
ตารางที่ 3 คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าที่ได้รับการคัดเลือก

ลำดับ	คุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก	คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย	ค่าเฉลี่ย
1	รูปแบบการเปิดบานประตู	ลักษณะการเปิดแบบบานเลื่อน ลักษณะการเปิดแบบบานพับ	4.67
2	พื้นที่ในการใช้สอย	มีพื้นที่วางของแยกเป็นชั้น พื้นที่แขวนเสื้อผ้า	4.66
3	โครงสร้างของผลิตภัณฑ์	ไม้ไผ่ ไม้จริง	4.65
4	ลักษณะของตู้เสื้อผ้า	มีลักษณะแบบทึบ มีลักษณะโปร่ง	4.55
5	วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวางของ	แผ่นวางของทำด้วยไม้ท่อนกลึงหรือไม้จริง แผ่นวางทำด้วยไม้ไผ่	4.27

3. ผลการรวบรวมภาพผลิตภัณฑ์

จากการรวบรวมภาพผลิตภัณฑ์จากวารสารที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้าและสื่ออินเทอร์เน็ต พบว่า มีภาพผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าที่มีคุณลักษณะหลากหลาย จำนวน 39 ภาพ ทั้งนี้ เมื่อประยุกต์ใช้แผนผังกลุ่มความคิดในการแบ่งกลุ่มตัวแทนผลิตภัณฑ์ด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ ดังการ

วิเคราะห์ในภาพที่ 3 ขอบเขตคุณลักษณะที่กำหนดในตารางที่ 2 โดยนำภาพแต่ละภาพมาคัดเลือกภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติครอบคลุมถึงคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือกได้มากที่สุด จึงยกตัวอย่างการเปรียบเทียบ แสดงดังตารางที่ 4 ดังนั้น ผลการประยุกต์ใช้แผนผังกลุ่มความคิดสรุปได้ว่าภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคัดเลือกเป็นภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์มีจำนวนทั้งสิ้น 5 ภาพ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การประยุกต์ใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยงในการแบ่งกลุ่มภาพผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ภาพ

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ (Pinterest, 2021)

ภาพที่	ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์	คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของภาพที่ตรงตามคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย	จำนวนคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของภาพที่ตรงตามคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย
1		1. ประตูมีลักษณะการเปิดแบบบานพับ 2. มีพื้นที่วางของแยกเป็นชั้น 3. มีพื้นที่แขวนเสื้อผ้า 4. แผ่นวางของทำด้วยไม้ 5. มีลักษณะแบบทึบ 6. ไม้จริง	6 คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย
2		1. มีพื้นที่วางของแยกเป็นชั้น 2. ไม้โฟม 3. มีลักษณะแบบทึบ 4. แผ่นวางของทำด้วยไม้ 5. ไม้จริง	4 คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย

ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ 1 ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ 2 ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ 3 ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ 4 ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ 5



ภาพที่ 4 ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าที่ผ่านการคัดเลือก (Pinterest, 2021)

4. ผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีเชิงปริมาณประเภทที่ 1

ข้อมูลจากแบบสอบถามที่ 3 ซึ่งกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง 70.7% อยู่ในช่วงอายุ 25-29 ปี 43.1% และผลการนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ทฤษฎีเชิงปริมาณประเภทที่ 1 หรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Linear multiple regression) ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกจำนวน 6 คำ ได้แก่ โคดเด่น สวยงาม อัดลัทธิ ทนสมัย กลมกลืน และแข็งแรง ภาพ

ตัวแทนผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ภาพ และคุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก (Partial Correlation Coefficient: PCC) จำนวน 5 คุณลักษณะ คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย (Category Score: CS) จำนวน 10 คุณลักษณะ พบว่า ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยในแต่ละค่าแสดงความรู้สึกมีความโดดเด่นและมีความสัมพันธ์กับภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยสูงสุดร่วมกับค่า $MCC^2 > 0.7$ แสดงดังตารางที่ 5 พบว่ามีค่า $MCC^2 > 0.7$ ที่ตรงกับค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่จำนวน 4 ค่าแสดงความรู้สึก

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยสูงสุดร่วมกับค่า MCC^2 ที่มีค่ามากกว่า 0.7 ของผลิตภัณฑ์ผู้เสียผ้า

ค่าแสดงความรู้สึก ภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์	ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4	ภาพที่ 5
โดดเด่น	3.98	4.26	4.34**	4.07	4.16
สวยงาม	4.19	4.10	4.22	4.38	4.47**
อึดถึกทน	4.43*	4.29	4.40	4.00	4.12
ทันสมัย	4.31	4.12	4.40*	4.26	4.03
กลมกลืน	4.40	4.03	4.17	4.41**	4.22
แข็งแรง	4.43**	4.07	4.05	4.09	4.02

หมายเหตุ * ค่าแสดงความรู้สึกที่มีคะแนนค่าเฉลี่ยสูงสุดของภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์

** ค่าแสดงความรู้สึกที่มีค่า $MCC^2 > 0.7$

ดังนั้น ผู้วิจัยได้นำผลข้อมูลค่าแสดงความรู้สึกที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดและมีค่า $MCC^2 > 0.7$ ก่อนหน้าจำนวน 4 คำที่ผ่านเกณฑ์ คือ ค่าแสดงความรู้สึกที่สื่อถึงความโดดเด่น สวยงาม กลมกลืน และแข็งแรง ไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เพื่อหาค่าคุณลักษณะ

ผลิตภัณฑ์หลัก (PCC) และหาค่าคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย (CS) ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 16 แสดงดังสมการที่ (3) ถึงสมการที่ (6) ทั้งนี้ มีการกำหนดตัวแปรคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อยของผู้เสียผ้าทั้งหมด 10 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวแปรคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อยของผู้เสียผ้าทั้งหมด 10 ตัวแปร

ตัวแปร	ความหมาย	ตัวแปร	ความหมาย
X_1	ประตูลักษณะการเปิดแบบบานเลื่อน	X_6	โครงสร้างไม้จริง
X_2	ประตูลักษณะการเปิดแบบบานพับ	X_7	ผู้เสียผ้ามีลักษณะแบบทึบ
X_3	มีพื้นที่วางของแยกเป็นชั้น	X_8	ผู้เสียผ้ามีลักษณะโปร่ง
X_4	มีพื้นที่แขวนเสื้อผ้า	X_9	แผ่นวางของทำด้วยไม้ทองถิ่นหรือไม้จริง
X_5	โครงสร้างไม้ไฟ	X_{10}	แผ่นวางของทำด้วยไม้ไฟ

$$\begin{aligned} \text{โดดเด่น} = & 3.330 + 0.145X_2 + 0.803X_3 + 0.709X_4 - 0.100X_5 + 0.179X_6 + 0.513X_7 \\ & - 1.900X_8 + 0.698X_9 + 0.846X_{10} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{สวยงาม} = 3.860 + 0.442X_2 - 0.002X_3 + 0.0683X_4 + 0.0912X_7 + 0.645X_9 \quad (4)$$

$$\text{กลมกลืน} = 3.580 + 0.614X_2 + 0.166X_3 + 0.211X_4 + 0.580X_7 \quad (5)$$

$$\text{แข็งแรง} = 3.49 - 0.130X_1 - 0.296X_2 - 0.066X_3 + 0.124X_4 + 1.560X_5 + 0.219X_7 + 0.099X_{10} \quad (6)$$

เมื่อวิเคราะห์ผลการถดถอยด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 16 เพื่อหาค่า PCC และหาค่า CS เรียบร้อยแล้ว จากนั้นดำเนินการคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปเป็นข้อกำหนดพื้นฐานในการออกแบบ โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกคือ คัดเลือกเฉพาะคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความรู้สึกกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก (PCC) และคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย (CS) ที่มีค่าการวิเคราะห์เป็นค่าบวก ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($P < 0.05$) เพราะมีผลต่อความรู้สึกในทิศทางเดียวกัน ค่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณประเภทที่ 1 ในส่วนของค่าคุณลักษณะหลักที่แสดงความสัมพันธ์สอดคล้องกับความรู้สึกแต่ละค่าและค่าคุณลักษณะย่อย จากผลการวิจัยจะขอยกตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า

ความรู้สึกสวยงาม มีคุณลักษณะเด่นในด้านประตู มีลักษณะการเปิดแบบบานพับ (X_2) มีพื้นที่วางของแยกเป็นชั้น (X_3) มีพื้นที่แขวนเสื้อผ้า (X_4) ตู้เสื้อผ้ามีลักษณะแบบทึบ (X_7) และแผ่นวางของทำด้วยไม้ท่อนถี่หรือไม้จริง (X_9) ซึ่งจะคัดเลือกค่าการวิเคราะห์ในแต่ละคุณลักษณะผลิตภัณฑ์จากภาพตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการประกอบการพิจารณาของแต่ละค่าแสดงความรู้สึก คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการวิเคราะห์คือ พื้นที่ในการใช้งาน วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวางของ รูปแบบการเปิดปิดบานประตู และลักษณะของตู้เสื้อผ้าเพื่อให้เกิดข้อสรุปของผลการวิเคราะห์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์สรุปผลได้ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการคัดเลือกคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของตู้เสื้อผ้า

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ									
ลำดับ	คุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก	PCC	P-Value	คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อย	CS	P-Value	ค่าแสดงความรู้สึกที่สื่อถึงคุณลักษณะ	ภาพแนวทางการออกแบบ	MCC ²
1	พื้นที่ในการใช้งาน	1.231	0.000	มีพื้นที่วางของแยกเป็นชั้น	0.803	0.000	โดดเด่น	ภาพที่ 3	0.71
				มีพื้นที่แขวนเสื้อผ้า	0.709	0.000			
				แผ่นวางของทำด้วยไม้ท่อนถี่	0.689	0.000			
2	วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวางของ	0.677	0.000	หรือไม้จริง	0.645	0.000	สวยงาม	ภาพที่ 5	0.80
				แผ่นวางของทำด้วยไม้ไผ่	0.846	0.001			
				ประตูมีลักษณะการเปิดปิด	0.442	0.000			
3	รูปแบบการเปิดปิดบานประตู	0.614	0.000	แบบบานพับ	0.614	0.000	กลมกลืน	ภาพที่ 4	0.71
				ตู้เสื้อผ้ามีลักษณะแบบทึบ	0.580	0.000			
4	ลักษณะของตู้เสื้อผ้า	0.580	0.000				กลมกลืน	ภาพที่ 4	0.71
5	โครงสร้างของผลิตภัณฑ์	1.555	0.000	โครงสร้างไม้ไผ่	1.560	0.000	แข็งแรง	ภาพที่ 1	0.74

5. ผลการออกแบบและสร้างขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

จากการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลักและคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ย่อยที่สื่อถึงความรู้สึกในด้านต่าง ๆ ของการออกแบบผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า พบว่าทีมออกแบบและผู้เชี่ยวชาญด้านการขึ้นรูปเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ได้ใช้

ค่าแสดงความรู้สึกในการออกแบบผลิตภัณฑ์ 3 ค่าแสดงความรู้สึกหลัก ๆ ได้แก่ โดดเด่น ความสวยงาม และแข็งแรง อีกทั้งได้นำข้อกำหนดในการออกแบบแสดงดังตารางที่ 8 มาทำการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ พบว่าสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แสดงดังภาพที่ 5

ตารางที่ 8 ข้อกำหนดในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า

ลำดับ	คุณลักษณะผลิตภัณฑ์หลัก	รายละเอียด
1	พื้นที่ในการใช้งาน	ออกแบบให้มีพื้นที่การใช้งานที่สามารถวางของแยกเป็นชั้น และมีพื้นที่แขวนเสื้อผ้าที่เหมาะสม
2	วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวางของบนตู้เสื้อผ้า	เป็นการนำไม้จริงในท้องถิ่น เช่น ไม้ปาล์มน้ำมัน หรือไม้ไผ่มาสร้างสรรค์ในส่วน of แผ่นพื้น หรือชั้นวางของ
3	รูปแบบการเปิดบานประตู	ออกแบบเป็นลักษณะการเปิด-ปิดแบบบานพับ
4	ลักษณะของตู้เสื้อผ้า	ออกแบบให้มีลักษณะที่ทึบทั้งด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง
5	โครงสร้างของตู้เสื้อผ้า	โครงสร้างหลักเป็นไม้ไผ่มีความแข็งแรง ขนาดใหญ่ สามารถรองรับน้ำหนักและเสริมความแข็งแรง



ภาพที่ 5 ต้นแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า

หลังจากการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า และได้การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย ค่าวัสดุ 1,500 บาท ค่าแรงงาน 1,100 บาท ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการผลิต 350 บาท ดังนั้น ต้นทุนการผลิตรวมของผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า เท่ากับ 2,950 บาท

6. ผลการประเมินความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

หลังจากได้ดำเนินสร้างขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า ผู้วิจัยได้พิจารณานำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้กลุ่มผู้บริโภคกลุ่มร้านค้าตัวแทนจำหน่าย และกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ จังหวัดสตูล จำนวน 150 ท่าน

ประเมินความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า มีความพึงพอใจในคุณลักษณะด้านความมีอัตลักษณ์มากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 ในส่วนระดับความพึงพอใจในประเด็นรองลงมา คือ คุณลักษณะด้านความสวยงาม โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41

จากการวิจัยนี้ พบว่า ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้าที่ได้รับการพัฒนาตามคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rahayu *et al.*, 2020) ได้ออกแบบผลิตภัณฑ์เก้าอี้อ่านหนังสือ

ทั้งด้านรูปทรงของผลิตภัณฑ์ ขนาด และฟังก์ชันการใช้งานด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซ ทั้งนี้ ยังพบว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการวิจัยเทคนิควิศวกรรมคั่นเซ ยังพบว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ ประกอบด้วย การออกแบบเฟอร์นิเจอร์ (Lei *et al.*, 2015) ผลิตภัณฑ์จากกระจูดประเภทของประดับตกแต่ง (Rawangwong *et al.*, 2021) ของใช้สำหรับเด็กประเภทกระเป๋า (Janari and Rakhmawati, 2016) และของที่ระลึกประเภทเซรามิก (Tama *et al.*, 2015) เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เป็นเพียงการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ให้กับกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ และได้ถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซให้กับกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ และกลุ่มผู้ผลิตได้อาเนกขัตติยะของกระบวนการเทคนิควิศวกรรมคั่นเซไปขยายผลต่อยอดการประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่รูปแบบอื่น ๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองคุณลักษณะผลิตภัณฑ์และความต้องการของลูกค้าให้เหมาะสมกับสถานการณ์ทางการตลาดในปัจจุบันและการใช้ประโยชน์ของลูกค้าต่อไป

สรุป

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคั่นเซเพื่อให้การออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ ประเภทตู้เสื้อผ้า โดยผลิตภัณฑ์จะต้องสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ ทางผู้วิจัยได้ออกแบบและ สร้างขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้า ที่สามารถแสดงถึงความรู้สึกรัก 3 คำแสดงรู้สึกหลัก ๆ คือ สวยงาม โดดเด่นและแข็งแรง โดยดำเนินการออกแบบตามคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือกทั้งสิ้น 5

คุณลักษณะ คือ คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้านพื้นที่การใช้งาน วัสดุที่ใช้ทำแผ่นพื้น หรือชั้นวางของในตู้เสื้อผ้า รูปแบบการเปิดบานประตู ลักษณะของตู้ และโครงสร้างของตู้เสื้อผ้า จากนั้นเมื่อสร้างขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้าแล้ว ผู้วิจัยได้นำต้นแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เสื้อผ้าไปสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ตู้เสื้อผ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น พบว่ากลุ่มผู้บริโภคมีความพึงพอใจในคุณลักษณะด้านความมีอัตลักษณ์มากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 ในส่วนระดับความพึงพอใจในระดับรองลงมา คือ คุณลักษณะด้านความสวยงาม โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41 ดังนั้น ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ แนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทตู้เสื้อผ้าที่สามารถช่วยให้นักออกแบบกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์และออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าได้ เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ประเภทอื่น ๆ ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

- 1) งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้าในปัจจุบันเท่านั้น ฉะนั้นควรมีการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย
- 2) งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ กลุ่มผู้ผลิตควรให้ความสำคัญในประเด็นอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ช่องทางการตลาด การ

ลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เป็นต้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้ในตลาดอย่างต่อเนื่อง

3) การศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคอื่น ๆ สำหรับบูรณาการสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เช่น Business model CANVAS (BMC) แบบจำลองคาโน (Kano model) การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2564 และขอขอบคุณกลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Adiyanto, O., Jatmiko, H.A. and Emi. 2019. Development of food packaging design with kansei engineering approach. **International Journal of Scientific & Technology Research** 8(12): 1778-1780.
- Chainun, C., Kitipattanawit, J., Saksangnand, N. and Rinsangpin, M. 2019. Development of local wisdom product bamboo furniture, in Mae Hong Son province. **Rajabhat Chiang Mai Research Journal** 20(2): 38-52. (in Thai)
- Chen, D., Cheng, P., Simatrang, S. and Joneurairatana, E. 2021. Kansei engineering as a tool for the design of traditional pattern. **AUTEX Research Journal** 21(1):125-134.
- Chuan, N.K. , Sivajia, A. , Shahiminb, M.M. and Saadb, N. 2013. Kansei engineering for e-commerce sunglasses selection in Malaysia.

Procedia - Social and Behavioral Sciences 97: 707-714.

- Janari, D. and Rakhmawati, A. 2016. Developing baby bag design by using kansei engineering method. **Materials Science and Engineering** 4(105): 12-31.
- Khumpong, N. and Kasemset, C. 2012. Application of kansei engineering in food product development framework: a case study of parboiled rice, pp. 2030-2037. **In Industrial Engineering Network Conference 17-19 October 2012**. Cha-Am, Phetchaburi. (in Thai)
- Kumsingsree, R. 2018. The relationship between bamboo hut components, Bamboo species and connectors in bamboo hut construction, Kantaravichai district, Mahasarakham province. **Built Environment Inquiry Journal (BEI)** 17(1): 75-96. (in Thai)
- Lee, S.H., Harada, A. and Stappers, P.J. 2002. **Pleasure with Products: Design based on Kansei**. Copenhagen, Denmark.
- Lei, Q., Zhao, Q. and Zhang, Z. 2015. Study on the materials design of furniture based on kansei engineering. **International Journal of Engineering Innovation & Research** 4(2): 752-756.
- Phuangchik, T., Ruensuk, P. and Jirakiattikul, Y. 2015. Study on growth of four bamboo varieties. **Thai Journal of Science and Technology** 4(3): 302-309. (in Thai)
- Pimapsansri, K. 2011. New product development with kansei engineering, pp.331-337. **In At the 2nd national industrial operations development**

- symposium.** The Twin Towers Hotel Bangkok, Bangkok. (in Thai)
- Pinterest. 2021. **Bamboo Wardrobe Furniture Products.** Available Source: <https://www.pinterest.com/search/pins/?q=Bamboo%20Wardrobe%20Furniture%20Products&rs=typed>, March 15, 2021.
- Quan, H., Li, S. and Hu, J. 2018. Product innovation design based on deep learning and kansei engineering. **Applied Sciences** 8(12): 1-17.
- Rahayu, M., Ekananda H.A. and Mufidah, I. 2020. Designing a reading chair using kansei engineering approach. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 847: 012046.
- Rawangwong, S., Homkhiew, C., Phanthasri, P., Chumsri, P. 2021. Design and development of krajood decorations products using kansei engineering technique and kano's model. **UBU Engineering Journal** 14(4): 181-193. (in Thai)
- Roy, R., Goatman, M. and Khangura, K. 2009. User centric design and kansei engineering. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology** 1(3): 172-178.
- Shergian, A. and Immawan, T. 2015. Design of innovative alarm clock made from bamboo with kansei engineering approach. **Agriculture and Agricultural Science Procedia** 3:184-188.
- Srisatidnarakul, B. 2012. **Development and validation of research instruments: Psychometric properties.** Printing House of Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)
- Sukjai, K., Kalsirisilp, R. and Langapin, J. 2021. Design and development of bamboo craft splitting and slicing machine. **SWU Engineering Journal** 16(1): 71-81. (in Thai)
- Tama, I.P., Azila, W. and Hardiningtyas, D. 2015. Development of customer-oriented product design using kansei engineering and kano model: case study of ceramic souvenir. **Procedia Manufacturing** 4: 328-335.
- Yodwangjai, S. 2014. Product design and development for dinner chair of kansei engineering. **KKU Engineering Journal** 41(2): 191-200. (in Thai)