

ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2564

Vol.2 No.3 September – December 2021

- ผลของการเสริมผงปลาป่นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปัง
นักวิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์, ศิริรัตน์ มีธรรม, วิภาวรรณ พันเลี้ยว, เบญญาลักษณ์ ศุภพิชญ์นาม,
อรุษา วาณิช และนิตยา ภูงาม
- ผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณ *Escherichia coli* และแลกโตบาซิลลัส
ในลูกสุกรหย่านม
สุกฤดีล ปิยะเดชสุนทร, จริญญา เนียมจิตร, อวตดา ชูศรีสัตยา และกรปภา วัฒนกุลวัต
- การอนุบาลปลาอุกอุยเทศในระบบน้ำไหลผ่าน
พิชฎ เดชอนันต์, กฤติมา กษมาวุฒิ และสำเนา เสาวกุล
- การศึกษาปริมาณเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากเครื่องทำน้ำเย็น
วันพิติ ธรรมศรี, อัญชิสา ไพบุลย์, มารวย พักปากน้ำ และมาริสสา เสียบแสง
- ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด
ยศพล อุทะโยธิน, สราวุฒิ เพ็ชรทับทิม, วัชรพล อินทสร, กนกกร ชุนหัทธกุล, ฐิตยา เนตรวงษ์
และสุระสิทธิ์ ทรงมา
- ผลของพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลต่อปริมาณฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง
อริสรา โพธิ์สนาม, จิราวรรณ ทองมหา, ดาราวรรณ อุทาวงศ์, พิชราภรณ์ ถิ่นจันทร์ และกุลวดี แก้วท่า
- การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของชนิดและปริมาณตัวดูดซับต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสของพอลิพรอสลิน
เทียมมะณีย์ รัตนวิระพันธ์, สมภพ สอนงาษฎร์, สิริญา ภาคดี และสุขุมารณ์ สิกธิธรรม
- ความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันบริเวณห้วยหญ้าไคร้ และห้วยพรมแล้งในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
จังหวัดเพชรบูรณ์
สิริกมล พลายงาม และนิศาตร์ณ์ ตั้งไพโรจน์วงศ์
- การปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษา: บริษัท รวิวิทย์
ประเทศไทย
ธีรภัทร สิ้นสันเทียะ และพูนระ ศรีสระคู
- สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมด้วยวัสดุพูน : กรณีศึกษาอบตะไคร้
ธนากร หอมจำปา, วิโรช ทัศนะ, ประทีป ตุ่มทอง และประพันธ์พงษ์ สมศิลา

ISSN 2730 - 163X

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) ผลของการเสริมผงปลาป่นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมผิง 2) ผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณ *Escherichia coli* และแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านม 3) การอนุบาลปลาตุ๊กตาทะเลในระบบน้ำไหลผ่าน 4) การศึกษาปริมาณเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากเครื่องทำน้ำเย็น 5) ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด 6) ผลของพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลต่อปริมาณฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง 7) การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของชนิดและปริมาณตัวดูดซับต่อกระบวนการไมโครเวฟไฟโรไลซิสของพอลิโพรพิลีน 8) ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันบริเวณห้วยหญ้าเหว และห้วยพรมแล้งในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ 9) การปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษา: บริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย 10) สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม ด้วยวัสดุพูน: กรณีศึกษาอบตะไคร้ โดยบทความได้ผ่านการพิจารณาและการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี Agriculture and Technology Journal

วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม																																									
เจ้าของ/สำนักงานวารสาร	คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี 145 หมู่ 15 ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000 โทร. 044-153093 โทรสาร. 044-153093 E-mail: atj.rmuti@gmail.com Website: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/index																																									
ที่ปรึกษาบรรณาธิการ	รศ.ดร.สำเนาวิ	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์																																							
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์																																							
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์																																							
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาส์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์																																							
	อาจารย์อัญวีณ์	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์																																							
กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ	<table><tr><td>ศ.ดร.สนั่น</td><td>จอกลอย</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.สุขสันต์</td><td>ห่อพิบูลสุข</td><td>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี</td></tr><tr><td>ศ.ดร.อนันต์</td><td>พลธานี</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.ธเนศ</td><td>เสถียรนาม</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.ทวนทอง</td><td>จุฑาเกตุ</td><td>มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี</td></tr><tr><td>ศ.ดร.ปิยะดา</td><td>ธีระกุลพิศุทธิ์</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.อุทัยรัตน์</td><td>ณ นคร</td><td>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์</td></tr><tr><td>ศ.ดร.อลงกลด</td><td>แทนอมทอง</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.สุวัจน์</td><td>ธัญรส</td><td>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</td></tr><tr><td>ศ.ดร.เมธา</td><td>วรรณพัฒน์</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.สิงหนาท</td><td>พวงจันทร์แดง</td><td>มหาวิทยาลัยขอนแก่น</td></tr><tr><td>ศ.ดร.กุลเชษฐ์</td><td>เพียรทอง</td><td>มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี</td></tr><tr><td>พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤษ ศรีเกษม</td><td colspan="2">โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช</td></tr></table>			ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤษ ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	
ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี																																								
ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี																																								
ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์																																								
ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย																																								
ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น																																								
ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี																																								
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤษ ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช																																									

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.พันธวัศ	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนัญญา	ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์	จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.รัชพล	สันติวรกร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.กริช	สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.วิศิษฐ์พร	สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บรรจง	บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยิด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์	อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.วีระเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อรอนงค์	ภูสีฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.สิริภัทร	เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.รัตติกาล	เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วช.บางพระ
ผศ.ดร.พัชริน	สงศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดิล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.วิไลพร	อินสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิขันธ์	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุริยา	อดดุ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ศุภลักษณ์	เกตุตากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.วิภาสทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์	เต็มกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.นิตยา	ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
อาจารย์ปรัชญา	บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

- ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 3

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต	งามเสน่ห์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์	อุทโท	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์	อ่อนสอาด	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวาพัฒน์	แซ่จิ้ง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์	ระย่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรลัดดา	เจือจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรณรัตน์	สกุลนามรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาโนช	ข้าเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุเมศวร์	สุขศรีศิริวัชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ	แก้ววินัด	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวดี	สราภิรมย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา	เลาหศิลปสมจิตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรวิภา	แพงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหภัทร	ชลาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ
อาจารย์ ดร.จิระวัลย์	โคตรศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.กิตติชัย	ไชยสีดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อาจารย์ ดร.สุทธนา	ปลอดสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.โกวิทย์	น้อยโคตร	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อาจารย์ ดร.วิทยา	อินทร์สอน	วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์
อาจารย์ ดร.นพดล	สมผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.วารินทร์	แสนมาโนช	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.อารีย์	ไกรสุรย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อาจารย์ ดร.พันธกานต์	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อาจารย์ ดร.เพ็ญ	ผาใต้	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
อาจารย์ ดร.สุรัชย์	รัตนสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
อาจารย์ ดร.สุวัฒน์	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรและเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่มจำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุก ๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 10 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5 เรื่อง กองบรรณาธิการมุ่งมั่นที่จะให้วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TCI)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ลิทธิวงษ์

บรรณาธิการ

ผลของการเสริมผงปลาป่นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมผิง	1
Effect of fish meal supplement on quality of Khanom ping product	
ณัฐวณิชกุล เศรษฐปราโมทย์ ศิริรัตน์ มีธรรม วิภาวรรณ พันเลี้ยว	
เบญญาลักษณ์ ศุภพิชญ์นาม อรุชา วานิช และนิตยา ภูงาม	
ผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณ <i>Escherichia coli</i>	10
และแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านม	
Effects of Tannin supplementation on growth performance, <i>Escherichia coli</i>	
and <i>Lactobacillus</i> concentration in weaned pigs	
สุทธิธิดา ปิยะเดชสุนทร จริญญา เนียมจิตร อวัสดา ชุศรีสัตยา และกรปภา ผานิตกุลวัต	
การอนุบาลปลาดุกอุยเทศในระบบน้ำไหลผ่าน	22
Nursing of hybrid catfish (<i>Clarias macrocephalus</i> x <i>C. gariepinus</i>)	
in flow through water systems	
พิเชฐ เดชอนันต์ กฤติมา กษมาวุฒิ และสำเนา ส้าวกุล	
การศึกษาปริมาณเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากเครื่องทำน้ำเย็น	34
The study of iron concentration, water hardness and coliform bacteria	
from water coolers	
วันปิติ ธรรมศรี อัญชิสา ไพบูลย์ มารวย พักปากน้ำ และมาริสา เลียบแสง	

ตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

44

Solar-powered banana oven with hybrid system

ยศพล จูทะโยธิน สรวาภูมิ เพ็ชรทับทิม วัชรพล อินเกสร ทินกร ชุณหภัทรกุล
จิตติยา เนตรวงษ์ และสุระสิทธิ์ ทรงมั่ว

ผลของพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลต่อปริมาณฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง

57

Effect of pasteurization and sugar on phenolic content, ascorbic acid
and antioxidant activity of Ya-Nang (*Tiliacora triandra* Diels) juice

อริสรา โพธิ์สนาม จิรวารรณ ทองมหา ดาราวรรณ อุทาวงค์ พัทธราภรณ์ ถิ่นจันทร์
และกุลวดี แก้วก่า

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของชนิดและปริมาณตัวดูดซับต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสของพอลิโพรพิลีน

67

Preliminary study on the effect of absorber type and quantity on microwave
pyrolysis process of polypropylene

เทียมมะณีย์ รัตนวิระพันธ์ สมภาพ สอนองราชฤทธิ์ ลิริญญา ภักดี
และสุชมาภรณ์ สิทธิธรรม

ความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันบริเวณห้วยห้วยาเครือ และห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

79

Butterfly species diversity in Yakruae and Phromleang streams,
Nam Nao national park, Phetchabun Province

สิริกมล พลายงาม และนิศารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์

การปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ 95

กรณีศึกษา: บริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย

Improving the production process of motorcycle crankshaft

case study of Revaltech Thailand

ธีรภัทร ลินสันเทียะ และพูนธนะ ศรีสระคู

สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมด้วยวัสดุพูน: 105

กรณีศึกษาอบตะไคร้

Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer Including porous media:

A case study of lemongrass drying

ธนกร หอมจำปา วิโรช ทศนะ ประทีป ตุ่มทอง และประพันธ์พงษ์ สมศิลา

Received: August 3, 2021; Revised: September 8, 2021; Accepted: September 21, 2021

ผลของการเสริมผงปลาป่นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมผิง

Effect of fish meal supplement on quality of Khanom ping product

ณัฏวาลินคณ เศรษฐฐปรามโทย์¹ ศิริรัตน์ มีธรรม¹ วิภาวรรณ พันเลียว¹ เบญญาลักษณ์ ศุภพิชญ์นาม²อุรชา วานิช³ และนิตยา ภูงาม^{1*}Natwalinkhol Settapramote¹, Sirirat Meethum¹, Vipawan Panliaw¹, Benyaluk Supitnam²,Uracha Wanich³ and Nittaya Phungam^{1*}^{1*} คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์² โรงเรียนช่างฝีมือในวังหญิง จังหวัดกรุงเทพมหานคร³ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

*Corresponding Author E-mail Address: nittaya.ph@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

ขนมผิงเป็นขนมไทยทำจากแป้งผสมกับน้ำตาล นำไปอบให้มีสีเหลืองนวลและให้สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเท่านั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเนื้อปลาป่นต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมผิง ผลการศึกษาการคัดเลือกสูตรพื้นฐานผลิตภัณฑ์ขนมผิง 3 สูตร พบว่า สูตรที่ 1 มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 7.73 ± 1.03 (ระดับความชอบปานกลาง) จากนั้นศึกษาการเสริมเนื้อปลาป่นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ของวัตถุดิบทั้งหมด พบว่าการเสริมเนื้อปลาป่นที่ต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมผิงด้านกายภาพ เคมี และทางด้านประสาทสัมผัสที่ต่างแตกต่างกัน และพบว่า การเสริมเนื้อปลาป่นร้อยละ 5 ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมเนื้อปลาป่นร้อยละ 5 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.85 และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.47 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 65.50, 2.21 และ 17.26 ตามลำดับ ค่าความกรอบ และความแข็งของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 30.31 ± 1.78 N และ 34.20 ± 3.11 N ตามลำดับ ผลทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ได้รับคะแนนคุณภาพทางด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 6.40 ± 1.13 , 6.56 ± 1.30 และ 7.13 ± 1.97 (ระดับความชอบปานกลาง) ดังนั้นการเสริมปลาป่นในผลิตภัณฑ์ขนมผิงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดีเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภคทั่วไป

คำสำคัญ: ขนมผิง ผงปลาป่น คุณภาพอาหาร

Abstract

Khanom ping is a Thai confectionary made from flour and sugar then bake until have light yellow colour this product providing the nutrition only carbohydrate. The aim of this research was to investigate the effect of fish meal supplement on quality of Khanom ping product. Firstly, the appropriate original recipe was selected from three original recipes. Recipe 1 was selected due to the highest overall acceptance as 7.73 ± 1.03 (moderate liking). Then, fish meal with 0, 2.5, 5 and 7.5% by total weight of materials were supplemented to recipe 1. Physical, chemical and sensory properties of Khanom ping were determined. The results showed that physical, chemical and sensory properties were different among percentage of adding fish meal ($p \leq 0.05$). The optimum fish meal supplement was 5% by total weight of materials. Moisture content and water activity were 2.85 and 0.47, respectively. The physical property, colour $L^* a^* b^*$ were 65.50, 2.21 and 17.26, respectively. Crunchiness and hardness were 30.31 ± 1.78 N and 34.20 ± 3.11 N, respectively. The acceptance of colour taste and overall acceptance were 6.40 ± 1.13 , 6.56 ± 1.30 and 7.13 ± 1.97 , respectively (moderate liking). Consequently, supplement of fish meal into Khanom ping product could improve the appearance and acceptance.

Keywords: Khanom ping product, Fish meal, Quality

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ขนมผิงจัดเป็นขนมไทยประเภทหนึ่ง ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากประเทศโปตุเกส ขนมมีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดเล็ก สีเหลืองนวล ทำมาจากไข่ แป้ง น้ำตาลทราย และกะทิ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิต โดยทั่วไปจะนิยมรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมผิงเป็นขนมขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์ขนมผิงเป็นขนมว่าง และของฝากที่เป็นที่นิยมในการบริโภคเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีรสชาติหวาน กรอบ และหอมกลิ่นควันเทียน โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นเด็กจะนิยมรับประทานเป็นอย่างสูง (นพวรรณ, 2539) การผลิตขนมผิงอาจมีการเติมส่วนประกอบอื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และสร้างความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ (นรินทร์, 2563) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ขนมผิงมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น นอกจากแป้ง และน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักแล้ว จึงได้เติมผงปลาป่นลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมผิงเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าทางการตลาดให้กับวัตถุดิบ เช่น เนื้อปลา เนื่องจากปลานิลเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในทุกพื้นที่ ในช่วงฤดูกาลที่มีผลผลิตออกมาจำนวนมากส่งผลให้ผลผลิตล้นตลาด หรือ ปลาที่มีขนาดใหญ่ (Over side) เช่น น้ำหนักปลา 2 - 3 กิโลกรัม ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของตลาดทำให้ขายยากและมีราคาต่ำ (วลัย และคณะ, 2551) ดังนั้นการนำเนื้อปลานิลที่ตกเกรดมาทำเป็นปลาป่นใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมผิงมีคุณภาพทางด้านกายภาพที่ดีขึ้น เช่น สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส เนื่องจากปลาป่นมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำที่ดีช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขนมผิงมีความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แห้งและแข็งจนเกินระดับที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และมีคุณค่าทางโภชนาการที่เพิ่มขึ้นเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Khan et al., 2020) รวมทั้งเป็นการสร้างมูลค่าทางการตลาดของผลผลิตให้เพิ่มขึ้นสามารถสร้างความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ขนมผิงเพิ่มมากยิ่งขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาศึกษาการเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์ขนมผิง อาทิเช่น การเสริมน้ำใบข้าวบดในผลิตภัณฑ์ขนมผิง พบว่า ปริมาณของน้ำใบข้าวบด ร้อยละ 10 ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด

ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด ซึ่งมีระดับความชอบอยู่ในระดับความชอบปานกลาง (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2558) และการเสริมสมุนไพร 7 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึง ประกอบด้วย หน่อกล้วย ต้นหอม ตะไคร้ ใบมะกรูด ขิง ผักชี ใบชะพลู และสมุนไพรทั้ง 7 ชนิด รวมกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึงสูตรต้นหอมมีค่าคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงที่สุด และสูตรสมุนไพรรวมมีค่าคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมต่ำที่สุด (นรินทร์, 2563) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาขนมทองม้วนข้าวกล้องเสริมโปรตีนจากเนื้อปลา โดยศึกษาอัตราส่วนของเนื้อปลาลาปที่เหมาะสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนที่เสริมปลาลาป ร้อยละ 10 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และส่งผลิตภัณฑ์ทองม้วนมีคุณลักษณะกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น (คันสนีย์, 2559) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการเสริมผงปลาลาปในผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึง งานวิจัยครั้งนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเสริมผงปลาลาปต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึง โดยศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางด้านประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสูตรต้นแบบของผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึงและปริมาณผงปลาลาปที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึง เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยชนิดอื่น พร้อมกับเป็นการส่งเสริมและอนุรักษ์ขนมไทยให้เป็นขนมเพื่อสุขภาพอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ อุปกรณ์

แป้งมัน (ตราไทย 5 ดาว) น้ำตาลทรายขาว (ตราช้อน) กะทิ (ตราชาวเกาะ) ไข่ไก่ (ตลาดสด เทศบาลจังหวัดสุรินทร์) เนื้อปลานิล (ห้างสรรพสินค้า บิ๊กซี สาขาสุรินทร์)

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาสูตรต้นแบบในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึง

ศึกษาสูตรต้นแบบในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึงด้วยสูตรพื้นฐาน 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 (จริยา, 2549) สูตรที่ 2 (นิรนาม, 2564) และ สูตรที่ 3 (ศรีสมร, 2539) ส่วนผสมดังตารางที่ 1 วิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึงเริ่มจากนำน้ำตาลผสมกะทิมาตั้งไฟอ่อนคนให้เข้ากันจนเป็นยางมะตูม ยกออกจากเตาพักให้อุ่น แล้วจึงเติมไข่แดงคนให้เข้ากัน จากนั้นเติมแป้งที่คั่ว และร่อนเรียบร้อยแล้ว นวดให้เข้ากันแล้วนำมาพักเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ครบเวลาพักจึงนำมาปั้นเป็นก้อนกลมขนาด 2 กรัม แล้วอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 10 - 12 นาที หรือจนกระทั่งสุก ได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึง แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึงที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w), ค่าสี ($L^* a^* b^*$) และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 - Point Hedonic Scale

ตารางที่ 1 สูตรผสมพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ขนมฝังบึงต้นแบบ

วัตถุดิบ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
แป้งมัน (กรัม)	48.4	44.0	48.4
กะทิ (กรัม)	24.2	26.5	33.6
น้ำตาล (กรัม)	24.1	26.5	13.4
ไข่แดง (กรัม)	3.3	3.0	4.6

2. การศึกษาการเสริมปริมาณผงปลาป่นที่ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมผิง

2.1 กระบวนการเตรียมผงปลาป่น

เนื้อปลานิลถูกเตรียมจากการเลือกปลานิล จากนั้นนำมาล้างทำความสะอาด เอาเกล็ด หน้าง และก้างออก หั่นเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อปลาให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร นำมาล้างในน้ำเกลือความเข้มข้น ร้อยละ 4 (น้ำ 1 ลิตร เกลือ 40 กรัม) พร้อมทั้งหั่นมะกรูด 2 ลูก ใส่ในน้ำเกลือ เพื่อช่วยกำจัดกลิ่นคาวของเนื้อปลา ประมาณ 2 - 3 ครั้ง นำขึ้นให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นใส่กระทะตั้งไฟปานกลาง คั่วจนแห้ง ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วระดับ 1 ได้เป็นผงปลาป่น (สุเมธา และอมรรัตน์, 2554) แล้วเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทดลองในขั้นต่อไป

2.2 การศึกษาการเสริมปริมาณผงปลาป่นที่ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมผิง

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมผิงที่ดีที่สุดจากข้อ 1 โดยการเสริมผงปลาป่นในปริมาณ ร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่นที่ได้ มาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w), ค่าสี ($L^* a^* b^*$), ค่าเนื้อสัมผัส (Texture analyze) และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9 - Point Hedonic Scale

3. การวิเคราะห์คุณภาพเคมี กายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมผิง

3.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

นำผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัด Moisture Balance (MB25, OHAUS) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

นำผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (AQUA LAB) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.3 วิเคราะห์ค่าสี

นำผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น มาป่นให้ละเอียดแล้วจึงนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (Ultras can VIS, Hunter Lab) ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่างมีค่า 0 ถึง 100 โดย 0 หมายถึง ความสว่างสีดำ และ 100 ความสว่างสีขาว) a^* (+ หมายถึงสีแดง และ - หมายถึงสีเขียว) และ b^* (+ หมายถึงสีเหลือง และ - หมายถึงสีน้ำเงิน) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.4 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่นมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analyzer (TA.XT.plus, Satable Micro systems Ltd.) ใช้หัวทดสอบขนาด P36 โดยทดสอบแรงกดสูงสุด (Maximum force, N) แสดงค่าความแข็ง (Hardness, N) แสดงค่าความกรอบ (Crispness) ของผลิตภัณฑ์ขนมผิง ทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ

3.5 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น ด้วยวิธีการทดสอบแบบ 9-Hedonic Scale Test พิจารณาทางด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน การให้คะแนนผลิตภัณฑ์คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ 9 = ชอบมากที่สุด

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) การยอมรับของผู้บริโภค วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Completely Block Design) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan 's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การศึกษาสูตรต้นแบบในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมผิง

ในการศึกษาการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบสูตรพื้นฐาน 3 สูตร โดยได้ทำการวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* , b^* ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 พบว่า คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรพื้นฐาน มีค่าสี L^* , a^* และ b^* ที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า L^* , a^* และ b^* อยู่ในช่วงระหว่าง 47.81-64.57, 1.77-5.88 และ 13.60-15.05 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าสูตรที่ 2 มีค่า L^* (47.81) ต่ำที่สุด a^* (5.88) และ b^* (15.05) สูงที่สุด ซึ่งลักษณะผลิตภัณฑ์ขนมผิงดังกล่าวมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มกว่าสูตรที่ 1 และ 3 (รูปที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบสูตรที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลมากกว่าสูตรอื่น เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนในระหว่างการอบจึงเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไรเซชัน (Caramelization) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (Non-enzymatic browning reaction) จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มกว่าสูตรอื่น ๆ (Kitts, 2006) ผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรพื้นฐานทั้งสามสูตรมีปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีปริมาณความชื้น (ร้อยละ) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วงระหว่าง 1.78 - 4.95 และ 0.25 - 0.46 ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบสูตรที่ 1 มีปริมาณความชื้น (1.78) และปริมาณน้ำอิสระ (0.25) ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณกะทิซึ่งเป็นของเหลวที่สำคัญในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบของสูตรที่ 1 มีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบ สูตรที่ 2 และ 3 นอกจากนี้ยัง พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบ สูตรที่ 1 มากกว่าผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบของ จักรกฤษณ์ และคณะ (2558) อีกด้วย สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบทั้งสามสูตร พบว่า มีคะแนนด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัสที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ระหว่าง 5.80 - 6.73 และ 6.06 - 7.26 ตามลำดับ แต่ในขณะที่คะแนนด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนอยู่ระหว่าง 5.66 - 7.20, 5.60 - 7.46 และ 6.13 - 7.73 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมผิงต้นแบบ สูตรที่ 1 ได้คะแนนความชอบโดยรวม (7.73) มากที่สุด (ระดับความชอบมาก) เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบมีความกรอบ และเมื่อรับประทานเข้าไปตัวขนมจะละลายในปาก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548) ได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบสูตรอื่น ๆ ดังลักษณะของขนมผิง ในภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรพื้นฐาน

สูตรผลิตภัณฑ์ ขนมผิง	ค่าสี			ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	a_w
	L^*	a^*	b^*		
สูตรที่ 1	61.80±2.03 ^b	2.56±0.06 ^b	13.60±0.40 ^c	1.78±0.17 ^c	0.25±0.04 ^b
สูตรที่ 2	47.81±0.08 ^c	5.88±0.15 ^a	15.05±0.26 ^a	3.78±0.15 ^b	0.46±0.02 ^a
สูตรที่ 3	64.57±0.74 ^a	1.77±0.09 ^c	14.02±0.38 ^b	4.95±0.11 ^a	0.41±0.03 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ผลคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรพื้นฐานจำนวน 3 สูตร

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
สี	7.20±1.42 ^a	6.20±1.65 ^{ab}	5.66±1.49 ^b
กลิ่น ^{ns}	6.73±1.33	5.80±1.37	6.53±1.76
รสชาติ	7.46±1.12 ^a	5.60±1.91 ^b	6.46±1.68 ^{ab}
เนื้อสัมผัส ^{ns}	7.26±1.43	6.06±1.75	6.13±1.68
ความชอบโดยรวม	7.73±1.03 ^a	6.13±1.50 ^b	6.53±1.64 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันบนบรรทัดหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



สูตรที่ 1



สูตรที่ 2



สูตรที่ 3

รูปที่ 1 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรพื้นฐาน ทั้ง 3 สูตร

2. การศึกษาการเสริมปริมาณผงปลาป่นต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมผิง

สำหรับการศึกษาการเสริมปริมาณผงปลาป่นต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมผิงที่อัตราส่วน ร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น ได้แก่ ค่าสี ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ค่าสี L^* , a^* และ b^* อยู่ในช่วงระหว่าง 61.80 - 70.04, 2.14 - 2.56 และ 13.60 - 17.74 ตามลำดับ ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วงระหว่าง 1.78-3.01 และ 0.25-0.47 ตามลำดับ โดยค่าสี a^* ของผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่นในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในขณะที่ ค่าสี L^* และ b^* ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อนำผงปลาป่นซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีนมาเสริมในผลิตภัณฑ์ขนมผิง ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมผิงมีโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งโปรตีนที่อยู่ภายในเนื้อปลา คือ ไมโอไฟบิลลาร์ (Myofibrillar) ที่มีสัดส่วนประมาณ ร้อยละ 70 - 80 ของโปรตีนทั้งหมด ที่ประกอบด้วย ไมโอซิน แอคติน โทรโปนิน และโทรโปไมโอซิน โดยโปรตีนมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและจับกับน้ำได้ดี (Stefansson and Hultin, 1994; Khan et al., 2020) จึงส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่น

ผงบลาป่น (ร้อยละ)	ค่าสี			ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่า a_w
	L^*	a^{*ns}	b^*		
0.0	61.80±2.03 ^b	2.56±0.06	13.60±0.40 ^c	1.78±0.17 ^c	0.25±0.04 ^b
2.5	70.04±1.00 ^a	2.14±0.09	16.48±0.33 ^b	1.95±0.13 ^a	0.45±0.01 ^a
5.0	65.50±1.76 ^b	2.21±0.03	17.26±0.30 ^{ab}	2.85±0.77 ^a	0.47±0.03 ^a
7.5	64.54±0.59 ^b	2.38±0.05	17.74±0.41 ^a	3.01±0.34 ^a	0.47±0.03 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่น ได้แก่ ความกรอบ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 25.17 - 37.49 N และความแข็ง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 29.80 - 42.80 N แสดงผลดังตารางที่ 5 พบว่า เมื่อผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่น ส่งผลทำให้ค่าความกรอบและค่าความแข็งลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ดังนั้นจึงสอดคล้องกับการวัดปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่นมีองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถอุ้มน้ำและจับกับน้ำได้ดี (Khan et al., 2020) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นและค่า a_w สูงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความกรอบและค่าความแข็งลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่น

คุณภาพทางกายภาพ	อัตราส่วนการเสริมผงบลาป่นต่อผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่น (ร้อยละ)			
	0	2.5	5.0	7.5
ค่าความกรอบ	37.49±9.95 ^a	25.17±2.72 ^c	30.31±1.78 ^b	31.49±2.01 ^b
ค่าความแข็ง	42.80±5.45 ^a	29.80±1.92 ^c	34.00±3.11 ^b	38.20±1.30 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่น ที่มีอัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ของน้ำหนักรวมทั้งหมด โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ซึ่งใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ได้ผลดังตารางที่ 6 พบว่า ความชอบต่อกลิ่น และเนื้อสัมผัส โดยผู้ประเมินที่ไม่ผ่านการฝึกฝน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.80 - 6.73 และ 6.20 - 7.26 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในขณะที่คุณลักษณะด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรควบคุมและสูตรการเสริมผงบลาป่น ร้อยละ 5.0 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า การเสริมผงบลาป่น ร้อยละ 5.0 ส่งผลทำให้สีและรสชาติของคุณภาพผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุม เนื่องจากเนื้อบลาป่นผ่านการทำให้แห้งด้วยการคั่วแห้งเมื่อนำมาผสมในผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบร่วน และเมื่อรับประทานเข้าไปตัวขนมจะละลายในปาก ตรงตามมาตรฐาน มผช. จึงทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548) นอกจากนี้ผู้บริโภคจะได้คุณค่าทางโภชนาการอาหารจากเนื้อบลาที่ผสมในผลิตภัณฑ์ขนมฝักริมผงบลาป่นทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของขนมฝักริมผงบลาป่นปริมาณที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 7.5 มีคะแนนด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมต่ำที่สุด (5.76 และ 5.76 ตามลำดับ) เนื่องจากการเสริมผงบลาป่นในปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้รสชาติของขนมฝักริมผงบลาป่น เพราะในขั้นตอนการเตรียมบลาป่นมีการล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 4

ซึ่งทำให้ผงปลาป่นมีรสเค็มของเกลือติดอยู่เมื่อเติมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ขนมผิงในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้มีรสชาติเค็มมากขึ้นจึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่นร้อยละ 7.5 มีค่าต่ำสุดคล้อยกับงานวิจัยของ ศันสนีย์ (2559) ศึกษาอัตราส่วนของเนื้ปลาป่นในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนข้าวกลิ้ง จำนวน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มเนื้ปลาป่น ร้อยละ 15 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนมี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากทำให้เกิดกลิ่นปลาตกเกินไป เนื้อสัมผัสขนมทองม้วนหยาบหนา มีรสชาติเค็มมากขึ้น เพราะปลาป่นมีการล้างด้วยเกลือ

ตารางที่ 6 ผลคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	อัตราส่วนการเสริมผงปลาป่นต่อผลิตภัณฑ์ขนมผิง (ร้อยละ)			
	0	2.5	5.0	7.5
สี	7.20±1.42 ^a	5.46±1.50 ^c	6.40±1.13 ^a	6.36±1.15 ^b
กลิ่น ^{ns}	6.73±1.33	5.80±1.54	5.93±1.89	5.80±1.44
รสชาติ	7.46±1.12 ^a	6.16±1.72 ^b	6.56±1.30 ^a	5.76±1.47 ^c
เนื้อสัมผัส ^{ns}	7.26±1.43	6.20±1.76	6.23±1.30	6.36±1.35
ความชอบโดยรวม	7.73±1.03 ^a	6.23±1.77 ^b	7.13±1.97 ^a	5.76±1.69 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

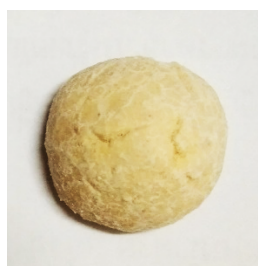
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ร้อยละ 0



ร้อยละ 2.5



ร้อยละ 5



ร้อยละ 7.5

ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่น อัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5

บทสรุป

ผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรต้นแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรที่ 1 จากนั้นนำมาศึกษาการเสริมปริมาณผงปลาป่นที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ขนมผิง พบว่า การเสริมเนื้ปลาป่นในผลิตภัณฑ์ขนมผิงในปริมาณที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมผิงด้านกายภาพ เคมี และทางด้านประสาทสัมผัส ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมผิงที่เสริมผงปลาป่น ร้อยละ 5 ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ได้รับคะแนนคุณภาพความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรผลิตภัณฑ์ขนมผิงสูตรควบคุม โดยผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมผงปลาป่นได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภค อยู่ในระดับความชอบปานกลาง (จากคะแนน 7 คะแนน) อย่างไรก็ตามการเสริมเนื้ปลาป่นเข้าไปช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ และทางผู้วิจัยจะมีการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สำหรับอุปกรณ์ และสถานที่ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ เพียรทอง, อรพินธ์ ทันเที่ยง, จิราพัทธ์ แก้วศรีทอง และอารี ธนวัฒน์ชัย. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมผิงเสริมหน้าไบบัก. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 22 ธันวาคม 2558. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. กำแพงเพชร. 808-815.
- จรรยา เดชกุญชร. (2549). ขนมไทยเล่ม 1. สำนักพิมพ์เพชรการเรือน. กรุงเทพฯ.
- นพวรรณ จงสันติกุล. (2539). ขนมไทย. สำนักพิมพ์แสงแดด. กรุงเทพฯ.
- นรินทร์ เจริญพันธ์. (2563). การใช้ประโยชน์จากแป้งปลายข้าวในการผลิตขนมผิงสูตรสมุนไพร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 28(9): 1595-1607.
- นรินาม. (2564). วิธีทำขนมผิง เมนูขนมไทยโบราณ กรุบกรอบ ละลายในปาก. ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2564. <https://www.wongnai.com/recipes/khanom-ping?ref=ct>.
- วลัย หุตะโกวิท, บุษรา สร้อยระย้า, ชญาภัทร สุทธิมิตร, น้อมจิตต์ สุธิบุตร, นพพร สกลยืนยงสุข, เจตนิพัทธ์ บุญสวัสดิ์ และธนภพ โสตรโยม. (2551). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากปลาน้ำจืดเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. กรุงเทพฯ.
- คันสนีย์ อุตมอ่าง. (2559). การพัฒนาทองม้วนข้าวกล้องเสริมโปรตีนจากเนื้อปลาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านกุดกุ่ม ตำบลบึงคล้า อำเภอห้วยสัก จังหวัดเพชรบูรณ์. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์.
- ศรีสมร คงพันธุ์. (2539). ตำรับขนมไทย. สำนักพิมพ์แสงแดด. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2548). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ขนมผิง มผช. 745/2548. รายงานการประชุม. กองบริหารมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สุเมภา เทิดขวัญชัย และอมรรัตน์ เจริญชัย. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลานิลหยอง. วารสารคหเศรษฐศาสตร์. 54: 5-11.
- Kitts D.D., Wu C.H., Kopec A. and Nagasawa T. (2006). Chemistry and genotoxicity of caramelized sucrose. Molecular Nutrition & Food Research. 50: 1180-1190.
- Khan S., Rehman A., Shah H., Aadil R.M., Ali A., Shehzad Q., Shehzada W., Ashrafa F., Yanga A., Karima A., Khaliqd A. and Xia W. (2020). Fish Protein and its derivatives: the novel applications, bioactivities, and their functional significance in food products. Food Reviews International. 23: 1-28.
- Stefansson G. and Hultin H.O. (1994). On the solubility of cod muscle proteins in water. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42(26): 56-64.

Received: August 10, 2021; Revised: September 23, 2021; Accepted: October 1, 2021

ผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณ *Escherichia coli* และแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านม

Effects of Tannin supplementation on growth performance, *Escherichia coli* and *Lactobacillus* concentration in weaned pigs

สุทธิดล ปิยะเดชสุนทร¹ จริญญา เนียมจิตร¹ อวัสดา ชุศรีสัตยา¹ และกรปภา พานิตกุลวัต^{1*}
Sudthidol Piyadeatsoontorn¹, Charinya Niamjit¹, Awatsada Chusrisattaya¹ and
Kornpapha Phanitkullawat^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address: Kornpapha.ph@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

แทนนิน (Tannin) คือ สารประกอบโพลีฟีนอลตามธรรมชาติ สามารถลดการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารและมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสริมแทนนินต่อปริมาณ *E. coli* และแลคโตบาซิลลัสของลูกสุกรหย่านม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยใช้ลูกสุกรหย่านม (ดูรีออก × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) จำนวน 12 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 8.11 ± 0.56 กิโลกรัม แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ตัว 1 ตัว ได้แก่ T1) กลุ่มควบคุม (Placebo; distilled water) T2) แทนนิน 1% และ T3) กลุ่มควบคุมผลบวก (ยาปฏิชีวนะ Enrofloxacin; 1 – 3 วัน) ใช้ระยะเวลาการทดลอง 7 วัน จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) พบว่าแทนนินที่ระดับ 1% สามารถยับยั้ง *E. coli* (10^8 CFU/ml) ได้ระดับวงใสขนาด 7.00 ± 0.00 มิลลิเมตร การเสริมแทนนินในปริมาณ 1% อย่างต่อเนื่องในกลุ่ม T2 ทำให้ปริมาณ *E. coli* ลดลงจาก 1.12 ± 0.69 MPN/ml เป็น 0.62 ± 0.52 MPN/ml ผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงสุดที่ระดับ 457.25 ± 0.04 กรัม ($p > 0.05$) และส่งผลต่อระดับปริมาณความเข้มข้นของแลคโตบาซิลลัสคงที่ ($4.03 \pm 1.70 - 4.96 \pm 1.85$ log CFU/ml) สรุปได้ว่าการเสริมแทนนินในการเลี้ยงลูกสุกรหย่านมไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและปริมาณ *E. coli* แต่มีแนวโน้มที่ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่นในลูกสุกรหย่านม และทำให้ระดับปริมาณความเข้มข้นของแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านมมีความคงที่ซึ่งส่งผลดีต่อลูกสุกร

คำสำคัญ: แทนนิน เชื้อ อี. โคไล แลคโตบาซิลลัส ลูกสุกรหย่านม

ABSTRACT

Tannin is a natural polyphenol compound. It can reduce the digestion of protein in food and has antibacterial effect. The objective of this study was to study tannin supplementation on growth performance (ADG), *Escherichia coli* (*E. coli*) and lactobacillus concentration in weaned pigs. A total of 12 crossbred weaned pigs (Duroc × Landrace × Large White) with an initial average body weight of 8.11 ± 0.56 kg were randomly divided into three groups (4 replicates/pig/group). Treatments included: T1) Placebo control group (Distilled water); T2) 1% tannin; T3) positive control group (Enrofloxacin; 1-3 days). The trial period was 7 days. From *in vitro* experiment, the result showed that 1% tannin was able to clear zone inhibit *E. coli* (10^8 CFU/ml) at 7.00 ± 0.00 mm. Under *in vivo*, the study showed that providing 1% tannin supplementation in weaned pig can result in stabilizing lactobacillus concentration level (4.03 ± 1.70 - 4.96 ± 1.85 log CFU/ml) which is good for piglets. While supplemented tannin had no effect on neither growth performance nor *E. coli* concentration ($p > 0.05$).

Keywords: Tannin, *Escherichia coli*, Lactobacillus, Weaned Pigs

บทนำ

สุกรเป็นหนึ่งในสัตว์เศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรไทย เมื่อพิจารณาประกอบกับข้อมูลทางสถิติของการผลิตสุกรในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 - 2563 จากรายงานของกรมปศุสัตว์ไทย แสดงให้เห็นการเติบโตของอุตสาหกรรมการผลิตสุกรที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์จากสุกรของผู้บริโภคในตลาดที่สูงขึ้น อุตสาหกรรมตลาดเนื้อสุกรที่ขยายตัวขึ้น ส่งผลให้การผลิตลูกสุกรมากขึ้น และเพื่อลดการสูญเสียลูกสุกรหลังหย่านมซึ่งเป็นวัยที่เผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสูงเนื่องจากการเปลี่ยนผ่านของอาหารและสภาพแวดล้อมซึ่งส่งผลต่อกระบวนการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายโดยเฉพาะระบบภูมิคุ้มกันและจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารทำให้ลูกสุกรหย่านมมีความเสี่ยงติดเชื้อและเกิดโรคสูง ปัญหาโรคท้องร่วงเป็นสาเหตุสำคัญที่พบบ่อยในการเลี้ยงสุกร โดยมีเชื้อโรคหลากหลายชนิดที่ทำให้เกิดโรคท้องร่วง ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย อาทิ *Escherichia coli* (*E. coli*), *Salmonella* spp. และ *Clostridium perfringens* ซึ่ง *E. coli* เป็นหนึ่งในเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคท้องร่วงมากที่สุดโดยเฉพาะในลูกสุกรหย่านม (Girard and Bee, 2020) เชื้อไวรัส Rotavirus และ Coronavirus และโปรโตซัวส่งผลให้เกิดอัตราการตายสูง ด้วยปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้ลูกสุกรอนุบาลมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ความสามารถในการผลิตลดลง และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการรักษาเพิ่มสูงขึ้น (Mohamed et al., 2017) โรคท้องร่วงจาก *E. coli* เป็นอาการที่เกิดจากความไม่สมดุลของลำไส้ ส่งผลให้เกิดภาวะการหลั่งกรดมากเกินไป (Hypersecretion) ของ chloride ions และ bicarbonate ions และการออสโมซิสของน้ำเข้าสู่โพรงลำไส้ (Lumen) ทำให้เกิดอาการท้องร่วง (Girard and Bee, 2020) เนื่องด้วยปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้ผู้เลี้ยงสุกรเลือกใช้ยาปฏิชีวนะในการรักษาและเพื่อลดอุบัติการณ์ของโรคท้องร่วงในสุกรอนุบาลอย่างแพร่หลาย การใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในการผลิตสัตว์ ได้มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลานานและได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามียาปฏิชีวนะในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ ทั้งยังสามารถลดแบคทีเรียก่อโรค โดยทั่วไปหากมีอาการท้องร่วงในสุกร เกษตรกรนิยมรักษาด้วยยาปฏิชีวนะ Enrofloxacin หรือ Colistin อย่างไรก็ตามการใช้ยาปฏิชีวนะบ่อยครั้งและไม่สมเหตุผลส่งผลต่อการดื้อยาปฏิชีวนะในสุกร ประสิทธิภาพในการใช้ยาปฏิชีวนะลดลง และเกิดการตกค้างของยาปฏิชีวนะในเนื้อสัตว์ซึ่งอันตรายต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะโลหะหนักอย่าง zinc และ

copper oxide ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานในยาปฏิชีวนะที่ใช้ในลูกสุกรหย่านม (2,000 - 3,000 ppm) (Caprarulo et al., 2021) ทั้งนี้องค์ระหว่างประเทศหลายแห่งได้มีการรณรงค์ให้ลดการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการผลิตสุกรอย่างแพร่หลาย โดยปัจจุบันได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวางเพื่อค้นหาทางเลือกจากธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ สารสกัดจากพืชได้รับความสนใจเป็นอย่างมากและเป็นหนึ่งในสารประกอบที่ได้รับการศึกษามากที่สุด แทนนิน (Tannin) เป็นหนึ่งในสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ของพืช อันพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น กระถิน อบเชย มะม่วง ถั่ว เป็นต้น โดยพบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชไม่ว่าจะเป็นดอก ใบ เปลือก เมล็ด ผล และราก (Brus et al., 2013) แทนนินมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในหลายด้าน อาทิ ด้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สารประกอบจากพืชโดยเฉพาะ แทนนินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญในการใช้เป็นสารต้านจุลชีพที่สามารถนำมาทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมสัตว์ได้ แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) ชนิดหนึ่งที่พบได้ในระบบย่อยอาหาร มีประโยชน์ต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิต ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัสมาเป็นโปรไบโอติกส์อีกหนึ่งทางเลือกหลักที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพการเติบโตของสุกรหลังหย่านมในกลุ่มผู้เลี้ยงสุกร โดยที่แลคโตบาซิลลัสมีส่วนช่วยในการรักษามวลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารและลดจุลชีพที่เป็นอันตรายต่อร่างกายสัตว์ (Dowarah et al., 2017) จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ที่มีวัตถุประสงค์ศึกษาผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณ *E. coli* และแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ออกแบบการทดลองโดยใช้รูปแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และคำนวณจำนวนสัตว์ทดลองด้วยโปรแกรม G power 3.1.9.7 โดยกำหนดค่าระดับผลกระทบ (Effect size f) 1.60 ค่าระดับนัยสำคัญ (α error probability) 0.05 ค่าอำนาจในการทดสอบ ($1 - \beta$ error probability) 95 เปอร์เซนต์ และข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และใช้สถิติในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Tukey's Honesty Significant Difference; HSD ที่ระดับนัยสำคัญ 95 เปอร์เซนต์ โดยใช้โปรแกรมคำนวณค่าทางสถิติ R Version 4.0.3

สัตว์ทดลองและการวางแผนการทดลอง

เพื่อศึกษาผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณ *E. coli* และแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านมในการทดลองใช้ลูกสุกรหย่านม ลูกผสม 3 สายพันธุ์ (ดอร์ค × แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์) จำนวน 12 ตัว โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 4 ตัว แบบคละเพศ (เพศผู้ตอนแล้ว 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว) ข้ำละ 1 ตัว ลูกสุกรมีน้ำหนักเฉลี่ย 8.11 ± 0.56 กิโลกรัม จัดแบ่งคอกสำหรับเลี้ยงสุกรออกเป็น 3 คอก โดยแต่ละคอกจะเลี้ยงลูกสุกรหย่านม 4 ตัว แบบคละเพศ ได้แก่ T1) กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมแทนนิน โดยให้ยาหลอก (Placebo) ปริมาณ 4 มิลลิลิตร/ตัว/วัน ตลอดการทดลอง T2) กลุ่มที่เสริมแทนนิน 1 เปอร์เซนต์ ตลอดการทดลอง T3) กลุ่มควบคุมผลบวก (Positive control) ได้รับยาปฏิชีวนะ Enrofloxacin ปริมาณ 10 มิลลิกรัม/ตัว/วัน เป็นการให้อย่างต่อเนื่องกันในวันที่ 1 - 3 และให้ยาหลอกแทนยา Enrofloxacin ในวันที่ 4 - 7 ของการทดลอง ลูกสุกรทุกตัวได้รับอาหารชนิดเดียวกันอย่างเต็มที่ โดยให้ลูกสุกรกินอาหารแบบไม่จำกัด (*ad libitum*) และมีน้ำสะอาดอย่างเพียงพอ มีการจัดสุขาภิบาลตามหลักวิชาการและมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสุกรตลอดระยะเวลาการทดลอง

วิธีการทดลองและการเก็บตัวอย่าง

เตรียมน้ำกลั่นปริมาณ 4 มิลลิลิตรต่อตัว บรรจุลงในกระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร (T1) เตรียมสารแทนนินปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำปราศจากเชื้อบรรจุลงในกระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร (T2) เตรียมยาปฏิชีวนะ Enrofloxacin ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อตัวในปริมาณแบบรักษาโรค โดยวิธีการบีบใส่ปากลูกสุกรหย่านม โดยกลุ่ม T1 และ T2 ให้ทรีทเม้นต์อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง ต่างจากกลุ่ม T3 ให้อย่างต่อเนื่องกันในวันที่ 1 - 3 ของการทดลอง และให้ Placebo แทนยาปฏิชีวนะ Enrofloxacin ในวันที่ 4 - 7 ของการทดลอง โดยสอดปลายกระบอกฉีดยาเข้าบริเวณด้านข้างปากลูกสุกรหย่านมแล้วค่อย ๆ ดันน้ำกลั่นในกระบอกฉีดยาจนหมด

เก็บตัวอย่างมูลลูกสุกรในวันที่ 1 3 และ 7 ของการทดลอง เพื่อตรวจประเมินปริมาณ *E. coli* และปริมาณความเข้มข้นของแลคโตบาซิลลัส ซึ่งนำหมักลูกสุกรเพื่อวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ใช้แทนินทดสอบการยับยั้ง *E. coli* เพื่อสังเกตประสิทธิภาพของสารแทนนิน เก็บตัวอย่างมูลลูกสุกรหย่านมทั้ง 12 ตัว โดยทำการ rectal swab ด้วยไม้พันสำลีหนึ่งฆ่าเชื้อ นำตัวอย่างที่เก็บใส่ไว้ในสาร CARY-BLAIR MEDIUM (OXOID®) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างที่เก็บมาแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การทดสอบแทนนินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการยับยั้ง *E. coli* (in vitro)

นำตัวอย่างมูลลูกสุกรหย่านมของทุกกลุ่มการทดลองปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Eosin Methylene Blue; EMB (OXOID®) โดยวิธีการกระจายเชื้อ Spread plate บ่มเชื้อบนอาหารที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบการต้านยาปฏิชีวนะด้วยวิธี Disk diffusion ตามวิธีการของ Hudzicki (2009) คัดเลือกโคโลนีที่มีลักษณะเขียวเหลือบ (Metallic Sheen) รูปร่างกลม (Circular) ผิวเรียบ (Smooth) และระดับความนูนของโคโลนีค้ำจากผิวอาหารเล็กน้อย (Convex) มา Cross streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง (EMB) เพื่อแยกโคโลนีของ *E. coli* ออกจากโคโลนีของเชื้อกลุ่มโคลิฟอร์มอื่น เลือก *E. coli* จำนวน 1 โคโลนี บ่มในสารละลายเปปโตนที่ปราศจากเชื้อ 8 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งได้เชื้อที่มีความเข้มข้น 10^8 CFU/ml เทียบกับ McFarland Standard 0.5 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร แล้วนำมา Spread plate ด้วยไม้พันสำลีที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ และตรวจการยับยั้ง *E. coli* โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระดับของสารแทนนิน ทดสอบด้วยการนำจานเพาะเชื้อที่มี EMB agar มาวางดิสก์ของสารแทนนินที่ระดับ 0.1 0.3 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 10 ไมโครลิตร และ Enrofloxacin 5 ไมโครกรัม (OXOID®) โดยเปรียบเทียบขนาดวงใส (Clear zone) รอบ ๆ แผ่นยาปฏิชีวนะและวัดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นหน่วยมิลลิเมตร

การตรวจประเมินปริมาณ *E. coli* (in vivo)

นำตัวอย่างมูลลูกสุกรหย่านมของทุกกลุ่มการทดลองตรวจหาปริมาณ *E. coli* ด้วยวิธีการตรวจนับจุลินทรีย์ MPN (Most probable number) (Myers et al., 2007) โดยการนำตัวอย่างปริมาณ 1,000 ไมโครลิตร มาบ่มในสารละลายเปปโตน (peptone) ทำการเจือจางต่อไปจนถึงระดับความเจือจางที่ 10 ปีเปดตัวอย่างที่แต่ละระดับความเจือจาง (10^{-2} 10^{-3} 10^{-4}) ลงในหลอดอาหาร Lauryl Sulfate Tryptose Broth (LSTB) ที่มีหลอดดักก๊าซ นำหลอดอาหารทั้งหมดไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 - 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงตรวจผลโดยนับจำนวนหลอดที่ให้ผลบวก ยืนยันผลการทดสอบในขั้น Presumptive ถ่ายเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวกใน LSTB ลงใน Escherichia coli Broth (EC broth) นำไปบ่มที่ 35 - 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจผลโดยที่หลอดที่ให้ผลบวกจะเกิดก๊าซ การทดสอบยืนยันตัวแบคทีเรีย *E. coli* ให้สุปและเชื้อจากหลอดที่ให้ผลบวกใน อาหาร EC broth มา streak ลงบนผิวหน้าอาหาร EMB แล้วนำไปบ่มที่ 35 - 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การเลือกโคโลนี *E. coli* โดยการถ่ายเชื้อลงบน Plate count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 35 - 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เชื้อที่เจริญบนอาหาร PCA มาย้อมแกรม สังเกตรูปร่างของเซลล์จากกล้องจุลทรรศน์ซึ่ง จะเป็น

แบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน ไม่สร้างสปอร์ ถ้าใช้ให้น้ำไปทดสอบต่อไปโดยการทดสอบลักษณะจำเพาะของ *E. coli* จากการย้อมสีแกรมลบตามวิธีการของ Smith & Hussey (2005) ให้ผลบวก MR test และให้ผลลบของ VP test ตามวิธีของ Mcdevitt (2009) และให้ความชุ่มชื้นแก่โคโลนีบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดแยกแล้วไว้ในสารละลายเปปโตนที่ปราศจากเชื้อ ปริมาตร 1,500 ไมโครลิตร ผสมกับกลีเซอรอล (Glycerol) 500 ไมโครลิตร

การตรวจประเมินปริมาณแลคโตบาซิลลัส (*in vivo*)

นำตัวอย่างมูลของกลุ่มทดลองแต่ละกลุ่มการทดลองปริมาณ 1 มิลลิลิตร เพื่อตรวจหาปริมาณความเข้มข้นของแลคโตบาซิลลัส ด้วยวิธีการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน (Standard Plate Count; SPC) อ้างอิงตามวิธีของ Sudthidol et al. (2018) โดยทำการละลายตัวอย่างด้วยสารละลายเปปโตนที่ปราศจากเชื้อปริมาตร 9 มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปิเปตมูลที่เจือจางปริมาณ 1 มิลลิลิตรมาเพาะในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS Agar ที่เติม CaCO_3 0.4 เปอร์เซ็นต์ นับจำนวนโคโลนีที่มีบริเวณวงใส ที่มีลักษณะรูปร่างกลม คัดเฉพาะ plate ที่จำนวนโคโลนีนับได้อยู่ในช่วง 30 - 300 แล้วมาคำนวณหาเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็น CFU/ml

การทดสอบคุณสมบัติแลคโตบาซิลลัส ตามวิธีของ Sudthidol et al. (2018) คัดเลือกโคโลนีที่มีบริเวณใสบน MRS agar ที่เติม CaCO_3 0.4 เปอร์เซ็นต์ นำไปย้อมสีแกรมเพื่อการติดสีแกรมบวก รูปร่างท่อน ไม่สร้างสปอร์ แล้วนำไปทดสอบเอนไซม์ คีตาเลส โดยใช้ลูปเขี่ยเชื้อจากโคโลนีที่สนใจลงบนสไลด์ที่มี H_2O_2 3 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 หยด ซึ่งแลคโตบาซิลลัส ให้ผลบวก (ไม่เกิดฟองอากาศ)

ผลการวิจัย

จากการทดลองเก็บตัวอย่างมูลลูกสุกรหย่านม มาแยกเชื้อโดยเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง EMB และทดสอบการยับยั้ง *E. coli* ให้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของแทนนินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการยับยั้ง *E. coli* (10^8 CFU/ml)

Items*	Clear zone (mm) Mean $\pm$ SD
Concentration of Tannin (%)	
0.1	0 ^a
0.3	0 ^a
0.5	0 ^a
1.0	7.00 $\pm$ 0.00 ^b
Enrofloxacin 5 μ g	18.33 $\pm$ 0.33 ^c

หมายเหตุ: * 3 replicates, ^{a-c} Mean followed by different superscript letters within a column are significantly different by Turkey's test ($p < 0.05$)

จากการทดสอบการยับยั้ง *E. coli* (*in vitro*) โดยการนำ *E. coli* ความเข้มข้น 10^8 CFU/ml ทดสอบด้วยวิธีการ Disk diffusion ด้วยคุณสมบัติของแทนนินต่อการพบวงใส ของ *E. coli* ที่ระดับความเข้มข้น 10^8 CFU/ml พบว่าแทนนินที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้วงใสเฉลี่ย 7.00 $\pm$ 0.00 มิลลิเมตร ต่างจากแทนนินที่ระดับ 0.1 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่พบวงใส ในขณะที่ Enrofloxacin 5 ไมโครกรัม ให้วงใสขนาดเฉลี่ย 18.33 $\pm$ 0.33 มิลลิเมตร

ชั่งน้ำหนักลูกสุกรหย่านม ในวันเริ่มต้นการทดลอง (Day 1) วันที่ 3 (Day 3) และวันสิ้นสุดการทดลอง (Day 7) นำมาคำนวณทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของการเสริมแทนนิน 1 เปอร์เซ็นต์ ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม (8.11 ± 0.56 กิโลกรัม)

Items	Treatments (Mean $\pm$ SD)			p-value
	T1	T2	T3	
Body weight (kg)				
Day 1	7.88 $\pm$ 0.67	8.10 $\pm$ 0.96	8.35 $\pm$ 0.75	0.712
Day 3	9.00 $\pm$ 0.67	9.30 $\pm$ 0.96	9.05 $\pm$ 0.75	0.847
Day 7	11.00 $\pm$ 0.67	11.30 $\pm$ 0.96	10.78 $\pm$ 0.75	0.697
ADG (g)	446.50 $\pm$ 0.03	457.25 $\pm$ 0.04	346.75 $\pm$ 0.10	0.102

หมายเหตุ: T1 = Placebo 4 ml/Day, T2 = Tannin 1%, Enrofloxacin 10 mg, ADG = Average Daily Gain (gram)

จากตารางที่ 2 เมื่อทำการทดลองในสุกร (*in vivo*) วันเริ่มต้น (Day1) พบว่ากลุ่ม T3 (8.35 ± 0.75 กิโลกรัม) มีน้ำหนักเริ่มต้นมากกว่ากลุ่ม T2 (8.10 ± 0.96 กิโลกรัม) และ กลุ่ม T1 (7.88 ± 0.67 กิโลกรัม) ทั้งนี้ น้ำหนักเริ่มต้นของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับวันที่ 3 (Day3) และ วันสุดท้ายของการทดลอง (Day7) ในแต่ละกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างหากพิจารณาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในแต่ละกลุ่มการทดลองเปรียบเทียบ ณ วันเริ่มต้น วันที่ 3 และวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าในกลุ่ม T2 น้ำหนักเฉลี่ยในวันสุดท้ายของการทดลอง (11.30 ± 0.67 กิโลกรัม) มากกว่าในวันเริ่มต้น (8.10 ± 0.96 กิโลกรัม) และวันที่ 3 (9.30 ± 0.96 กิโลกรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกัน ส่วนในกลุ่ม T1 พบน้ำหนักเฉลี่ยในวันสุดท้ายของการทดลอง (11.00 ± 0.67 กิโลกรัม) มากกว่าในวันเริ่มต้น (7.88 ± 0.67 กิโลกรัม) และวันที่ 3 (9.00 ± 0.67 กิโลกรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกัน เมื่อสังเกตกลุ่ม T3 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยในวันสุดท้ายของการทดลอง (10.78 ± 0.75 กิโลกรัม) สูงกว่าในวันเริ่มต้น (8.35 ± 0.75 กิโลกรัม) และวันที่ 3 (9.05 ± 0.75 กิโลกรัม) ของการทดลอง ซึ่งไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตโดยการประเมินจากค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) พบว่ากลุ่ม T2 (457.25 ± 0.04 กรัม) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่ากลุ่ม T1 (446.50 ± 0.03 กรัม) และกลุ่ม T3 (346.75 ± 0.10 กรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองเก็บมูลลูกสุกรหย่านม มาประเมินปริมาณ *E. coli* ด้วยวิธี MPN และคำนวณทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณ *E. coli* ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 และเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี Pour plate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS และคำนวณทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของแลคโตบาซิลลัส ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของการเสริมแทนนิน 1 เปอร์เซ็นต์ ต่อปริมาณ *E. coli* และแลคโตบาซิลลัสของลูกสุกรหย่านม

Items	Treatments (Mean±SD)			p-value
	T1	T2	T3	
<i>Escherichia coli</i> (MPN/ml)				
Day 1	0.43±0.21	1.12±0.69	0.82±0.58	0.236
Day 3	0.53±0.30	0.69±0.55	0.81±0.38	0.662
Day 7	0.56±0.27	0.62±0.52	0.85±0.97	0.816
p-value	0.742	0.462	0.997	
<i>Lactobacillus</i> (log CFU/ml)				
Day 1	7.19±0.14 ^a	4.03±1.70	4.27±1.87	0.167
Day 7	2.78±0.06 ^b	4.96±1.85	2.78±0.26	0.078
p-value	< 0.001	0.261	0.147	

หมายเหตุ: T1 = Placebo 4 ml/day, T2 = Tannin 1%, Enrofloxacin 10 mg, MPN = Most probable number, CFU = Colony forming unit, ^{a, b} Mean followed by different superscript letters within a column are significantly different by Turkey's test (p<0.05)

จากตารางที่ 3 เมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่ากลุ่ม T2 (1.12±0.69 MPN/ml) มีปริมาณ *E. coli* มากกว่ากลุ่ม T3 (0.82±0.58 MPN/ml) และกลุ่ม T1 (0.43±0.21 MPN/ml) ทั้งนี้ค่าระดับปริมาณ *E. coli* เริ่มต้นของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับวันที่ 3 และวันสุดท้ายในแต่ละกลุ่มการทดลองที่ค่าระดับปริมาณ *E. coli* ไม่แตกต่างกัน หากพิจารณาระดับปริมาณ *E. coli* ในแต่ละกลุ่มการทดลองเปรียบเทียบ ณ วันเริ่มต้น วันที่ 3 และวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าในกลุ่ม T2 พบค่าระดับปริมาณของ *E. coli* ในวันสุดท้ายของการทดลอง (0.62±0.52 MPN/ml) ลดลงกว่าในวันเริ่มต้น (1.12±0.69 MPN/ml) และวันที่ 3 (0.69±0.55 MPN/ml) เป็นค่าระดับปริมาณ *E. coli* ที่ลดลง แต่ไม่แตกต่างกัน เมื่อสังเกตจากกลุ่ม T1 พบค่าระดับปริมาณ *E. coli* ในวันสุดท้ายของการทดลอง (0.56±0.27 MPN/ml) สูงกว่าวันเริ่มต้นการทดลอง (0.43±0.21 MPN/ml) และวันที่ 3 (0.53±0.30 MPN/ml) ซึ่งไม่แตกต่างกัน รวมถึงกลุ่ม T3 พบค่าระดับปริมาณ *E. coli* ในวันที่ 7 (0.85±0.97 MPN/ml) สูงกว่าในวันที่ 1 (0.82±0.58 MPN/ml) และวันที่ 3 (0.81±0.38 MPN/ml) ซึ่งไม่แตกต่างกัน

จากการเสริมแทนนินในวันเริ่มต้นการทดลอง กลุ่ม T1 (7.19±0.14 log CFU/ml) พบค่าระดับความเข้มข้นของปริมาณแลคโตบาซิลลัส มากกว่ากลุ่ม T3 (4.27±1.87 log CFU/ml) และกลุ่ม T2 (4.03±1.70 log CFU/ml) ทั้งนี้ค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสเริ่มต้นของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน และในวันสุดท้ายของการทดลองกลุ่ม T2 (4.96±1.85 log CFU/ml) พบค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส สูงมากกว่ากลุ่ม T1 (2.78±0.06 log CFU/ml) และ T3 (2.78±0.26 log CFU/ml) ทั้งนี้ค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน หากพิจารณาระดับปริมาณของแลคโตบาซิลลัสในแต่ละกลุ่มการทดลองเปรียบเทียบ ณ วันเริ่มต้น และวันสุดท้ายของการทดลองจะพบว่าในกลุ่ม T1 พบค่าระดับปริมาณของแลคโตบาซิลลัสในวันเริ่มต้นการทดลอง (7.19±0.14 log CFU/ml) มีค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสสูงกว่าในวันสุดท้ายของการทดลอง (2.78±0.06 log CFU/ml) อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.001) ต่างจากกลุ่ม T2 และ T3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส อย่างไรก็ตามหากสังเกตปริมาณแลคโตบาซิลลัส ในกลุ่ม T2 จากวันเริ่มต้นการทดลอง (4.03±1.70 log CFU/ml) จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (4.96±1.85 log CFU/ml) ปริมาณแลคโตบาซิลลัส มีความคงที่ไม่มีการลดลงของระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส

การอภิปรายผล

ผลของแทนนินต่อการยับยั้ง *E. coli* (*in vitro*) ความเข้มข้น 10^8 CFU/ml ต่อการพบวงใส พบว่าแทนนินที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้วงใสเฉลี่ย 7.00 ± 0.00 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับการทดลองของ Min et al. (2008) ที่อธิบายว่าแทนนินมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* โดยอาศัยกลไกการทำลายเสถียรภาพของผนังเซลล์ภายนอกของแบคทีเรีย ยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ของแบคทีเรีย และสกัดกั้นไม่ให้สารอาหารเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ต่างจากแทนนินที่ระดับ 0.1 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่พบวงใส อย่างไรก็ตามหากทดลองในตัวสัตว์อาจมีผลต่อ *E. coli* ในลำไส้ โดยอาศัยกลไกการตอบสนองของร่างกายสัตว์ต่อสารแทนนินที่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปจับกับ Fungal protein, Bacteria protein, Viral protein หรือ Macro-molecules อื่น ๆ ของเชื้อที่รุกรานในร่างกายทำให้เชื้อไม่สามารถทำอันตรายกับร่างกายได้ ในขณะที่ Enrofloxacin 5 ไมโครกรัม ให้วงใสขนาดเฉลี่ย 18.33 ± 0.33 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่สามารถยับยั้ง *E. coli* ได้ ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Antje et al. (2017) ซึ่งพบว่า Enrofloxacin ออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย สามารถยับยั้ง *E. coli* ที่อยู่ในลำไส้ โดยการยับยั้งเอนไซม์ DNA-gyrase ทำให้ขัดขวางขบวนการสังเคราะห์ของ DNA ในโครงสร้างของเชื้อแบคทีเรียได้ ทั้งนี้ต้องมีการทดลองการเสริมในตัวลูกสุกรต่อไป

ผลของการเสริมแทนนินต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม

จากตารางที่ 2 เมื่อทำการทดลองในสุกร (*in vivo*) วันเริ่มต้น (Day 1) พบว่ากลุ่ม T3 (8.35 ± 0.75 กิโลกรัม) มีน้ำหนักเริ่มต้นมากกว่ากลุ่ม T2 (8.10 ± 0.96 กิโลกรัม) และ กลุ่ม T1 (7.88 ± 0.67 กิโลกรัม) ทั้งนี้ น้ำหนักเริ่มต้นของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับวันที่ 3 (Day 3) และวันสุดท้ายของการทดลอง (Day 7) ในแต่ละกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างหากพิจารณาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในแต่ละกลุ่มการทดลองเปรียบเทียบ ณ วันเริ่มต้น วันที่ 3 และวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าในกลุ่ม T2 มีน้ำหนักเฉลี่ยในวันสุดท้ายของการทดลอง (11.30 ± 0.67 กิโลกรัม) มากกว่าในวันเริ่มต้น (8.10 ± 0.96 กิโลกรัม) และวันที่ 3 (9.30 ± 0.96 กิโลกรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เพราะการศึกษารั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการทดลองสั้นประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมจึงไม่เห็นผลชัดเจน ทั้งนี้ผลการทดลองให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Yu et al. (2020) ที่มีการเสริมแทนนิน 0.2 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารลูกสุกรหย่านม ไม่พบความแตกต่างของอัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และสอดคล้องกับการวิจัยของ Marion et al. (2018) ที่ศึกษาผลของการใช้แทนนินเกล็ด CT (Condensed Tannin) ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ระดับการเสริมแทนนิน 1 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงสุกรหย่านม (Swiss Large White) ที่มีน้ำหนัก 7.8 ± 0.8 กิโลกรัม โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 14 วัน พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรหลังหย่านม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Brus et al. (2013) อธิบายว่าหลังจากเสริมแทนนินเกล็ด CT ที่ระดับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงสุกร (Swedish Landrace $\times$ Large White) อายุ 23-127 วัน พบว่าการเสริมแทนนินมีผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในช่วงวันที่ 23-82 ของการทดลอง จะสังเกตได้ว่าระยะเวลาที่นานขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการกินได้และการดูดซึมสารอาหารในลำไส้ของลูกสุกรหย่านมสืบเนื่องมาจากคุณสมบัติของแทนนินที่เป็นสารต้านจุลชีพและต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงแทนนินเกล็ด CT ที่มีความคงตัวสูงละลายน้ำได้น้อยกว่าชนิด HT (Hydrolyzable Tannin) จึงต้องอาศัยระยะเวลานานกว่าเพื่อส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต หากทำการทดลองที่มีระยะเวลายาวขึ้นอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้ ส่วนในกลุ่ม T1 พบน้ำหนักเฉลี่ยในวันสุดท้ายของการทดลอง (11.00 ± 0.67 กิโลกรัม) มากกว่าในวันเริ่มต้น (7.88 ± 0.67 กิโลกรัม) และวันที่ 3 (9.00 ± 0.67 กิโลกรัม) ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสัตว์ทดลองในกลุ่ม T1 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาหลอก เป็นสุกรที่มีเงื่อนไขภาวะปกติ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่แสดงให้เห็นในวันที่ 1 วันที่ 3 และ วันที่ 7 แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อสังเกตกลุ่ม T3 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยในวันสุดท้ายของการทดลอง (10.78 ± 0.75

กิโลกรัม) สูงกว่าในวันเริ่มต้น (8.35 ± 0.75 กิโลกรัม) และวันที่ 3 (9.05 ± 0.75 กิโลกรัม) ของการทดลอง ซึ่งไม่แตกต่างกัน โดยที่ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของกลุ่ม T3 ในทางสถิติไม่แตกต่างจากกลุ่ม T1 และ T2 อาจสืบเนื่องมาจากกลุ่ม T3 มีการปรับเปลี่ยนการให้ Enrofloxacin ในช่วงการทดลอง ซึ่งให้ต่อเนื่องจากวันเริ่มต้นการทดลองถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นหยุดการให้ Enrofloxacin โดยใช้ยาหลอกแทนจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง บ่งชี้ว่าสัตว์ทดลองในกลุ่ม T3 ไม่ได้ได้รับ Enrofloxacin ตั้งแต่วันที่ 4 ร่างกายสัตว์จึงมีการปรับเปลี่ยนประสิทธิภาพการเจริญเติบโตให้เป็นไปตามปกติ จากการศึกษาของ Foditsch et al. (2019) อธิบายว่า Enrofloxacin มีคุณสมบัติในการรักษาการติดเชื้อ และฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Enrofloxacin ที่เสริมในสุกรไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ลูกสุกรยังคงเจริญเติบโตตามปกติ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตโดยการประเมินจากค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) พบว่ากลุ่ม T2 (457.25 ± 0.04 กรัม) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่ากลุ่ม T1 (446.50 ± 0.03 กรัม) และกลุ่ม T3 (346.75 ± 0.10 กรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลอาจเป็นไปตามการศึกษาของ Faccin et al. (2020) ซึ่งอธิบายว่าลูกสุกรหย่านที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นสูงจะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันดีกว่าลูกสุกรที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นต่ำ ซึ่งตามรายงานกลุ่ม T3 มีน้ำหนักเริ่มต้นมากที่สุดแต่เป็นกลุ่มที่ให้ Enrofloxacin ในวันที่ 1-3 และใช้ยาหลอกแทนในวันที่ 4 จนวันสุดท้ายของการทดลองจึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันต่ำกว่ากลุ่ม T2 ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยกว่าในวันเริ่มต้นการทดลองของวันที่ 3

ผลของการเสริมแทนนินต่อปริมาณ *E. coli* และแลคโตบาซิลลัสของลูกสุกรหย่าน

จากตารางที่ 3 เมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่ากลุ่ม T2 (1.12 ± 0.69 MPN/ml) มีปริมาณ *E. coli* มากกว่ากลุ่ม T3 (0.82 ± 0.58 MPN/ml) และกลุ่ม T1 (0.43 ± 0.21 MPN/ml) ทั้งนี้ค่าระดับปริมาณ *E. coli* เริ่มต้นของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับวันที่ 3 และวันสุดท้ายในแต่ละกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน หากพิจารณาระดับปริมาณ *E. coli* ในแต่ละกลุ่มการทดลองเปรียบเทียบ ณ วันเริ่มต้น วันที่ 3 และวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าในกลุ่ม T2 พบค่าระดับปริมาณของ *E. coli* ในวันสุดท้ายของการทดลอง (0.62 ± 0.52 MPN/ml) ลดลงมากกว่าในวันเริ่มต้น (1.12 ± 0.69 MPN/ml) และวันที่ 3 (0.69 ± 0.55 MPN/ml) เป็นค่าระดับปริมาณ *E. coli* ที่ลดลง แต่ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Marion et al. (2018) อธิบายถึงการเสริมแทนนินเกล็ด (HT) 1 เปอร์เซ็นต์ ในลูกสุกรพันธุ์ Large White น้ำหนัก 7.8 ± 0.8 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 14 วันพบว่าการเสริมแทนนินช่วยลดความรุนแรงของอาการท้องร่วง โดยกลไกของแทนนินที่เข้าไปเกาะผนังเซลล์ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์เชื้อแบคทีเรีย แต่ไม่สามารถลดค่าระดับปริมาณ *E. coli* เช่นเดียวกับการศึกษาของ Giacomo et al. (2010) ที่อธิบายถึงการใส่สารสกัดจากไม้เถาวัลที่มีแทนนิน 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 1.13, 2.25 และ 4.5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าสารสกัดจากไม้เถาวัลที่อุดมไปด้วยแทนนินส่งผลต่อการลดปฏิกิริยาย่อยโปรตีนของแบคทีเรียในลำไส้ ทำให้ระดับปริมาณ *E. coli* มีแนวโน้มลดลง แต่ทั้งนี้สมควรได้รับการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อแสดงถึงค่าระดับปริมาณ *E. coli* ที่ชัดเจนมากขึ้น เมื่อสังเกตจากกลุ่ม T1 พบค่าระดับปริมาณ *E. coli* ในวันสุดท้ายของการทดลอง (0.56 ± 0.27 MPN/ml) สูงกว่าวันเริ่มต้นการทดลอง (0.43 ± 0.21 MPN/ml) และวันที่ 3 (0.53 ± 0.30 MPN/ml) ซึ่งไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสัตว์ทดลองในกลุ่ม T1 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาหลอก เป็นสุกรที่มีเงื่อนไขภาวะปกติ ระดับปริมาณเชื้อที่แสดงให้เห็นในวันเริ่มต้น วันที่ 3 และวันสุดท้ายของการทดลอง แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของค่าระดับปริมาณ *E. coli* ที่ไม่แตกต่างกัน และเมื่อสังเกตกลุ่ม T3 พบค่าระดับปริมาณ *E. coli* ในวันที่ 7 (0.85 ± 0.97 MPN/ml) สูงกว่าในวันที่ 1 (0.82 ± 0.58 MPN/ml) และวันที่ 3 (0.81 ± 0.38 MPN/ml) ซึ่งไม่แตกต่างกัน สามารถอธิบายได้ว่ากลุ่ม T3 ได้รับ Enrofloxacin ต่อเนื่องจากวันเริ่มต้นการทดลองถึงวันที่ 3 ซึ่งหลังจากนั้นหยุดการให้ Enrofloxacin โดยใช้ยาหลอกแทนจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง บ่งชี้ว่าสัตว์ทดลองในกลุ่ม T3 ในช่วงวันที่ 1-3 ของการทดลอง Enrofloxacin ออกฤทธิ์ในวงกว้างทั้งต่อแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวกโดยทำหน้าที่ยับยั้งเอนไซม์ DNA gyrase ยับยั้งการสังเคราะห์และจำลองดีเอ็นเอของแบคทีเรีย และทำลายเซลล์แบคทีเรีย (Bactericidal) และเมื่อไม่ได้รับ Enrofloxacin ตั้งแต่วันที่ 4 ร่างกายสัตว์จึงมีการปรับระดับปริมาณ *E. coli* เพิ่มขึ้นแต่ยังคงเป็นไปตามปกติ

จากการเสริมแทนนินในวันเริ่มต้นการทดลอง กลุ่ม T1 ($7.19 \pm 0.14 \log \text{CFU/ml}$) พบค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสมากกว่ากลุ่ม T2 ($4.03 \pm 1.70 \log \text{CFU/ml}$) และกลุ่ม T3 ($4.27 \pm 1.87 \log \text{CFU/ml}$) ทั้งนี้ระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน และในวันสุดท้ายของการทดลองกลุ่ม T2 ($4.96 \pm 1.85 \log \text{CFU/ml}$) พบค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสสูงกว่ากลุ่ม T1 ($2.78 \pm 0.06 \log \text{CFU/ml}$) และกลุ่ม T3 ($2.78 \pm 0.26 \log \text{CFU/ml}$) ทั้งนี้ค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสของทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน หากพิจารณาระดับปริมาณของแลคโตบาซิลลัสในแต่ละกลุ่มการทดลองเปรียบเทียบ ณ วันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการทดลองจะพบว่าในกลุ่ม T1 พบค่าระดับปริมาณของแลคโตบาซิลลัสในวันเริ่มต้นการทดลอง ($7.19 \pm 0.14 \log \text{CFU/ml}$) มีค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสสูงกว่าในวันสุดท้ายของการทดลอง ($2.78 \pm 0.06 \log \text{CFU/ml}$) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) ในกลุ่ม T2 และ T3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส จากข้อมูลดังกล่าว ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของการทดลองของกลุ่ม T1 สามารถอธิบายเชิงสถิติได้ว่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสวันเริ่มต้นมีระดับที่สูงกว่าวันสุดท้ายของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) เนื่องจากสัตว์ทดลองในกลุ่ม T1 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับยาหลอก เป็นลูกสุกรหย่านมที่มีเงื่อนไขภาวะเป็นปกติ ระดับปริมาณเชื้อที่แสดงให้เห็นในวันที่ 1 และวันสุดท้ายของการทดลอง แสดงให้เห็นธรรมชาติของระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสที่มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องกับระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส ในกลุ่ม T3 ที่มีระดับลดลงจาก $4.27 \pm 1.87 \log \text{CFU/ml}$ เป็น $2.78 \pm 0.26 \log \text{CFU/ml}$ ซึ่งในกลุ่ม T3 ให้ Enrofloxacin ต่อเนื่องจากวันเริ่มต้นการทดลองถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นหยุดการให้ Enrofloxacin และให้ยาหลอกแทนจนถึงวันที่ 7 บ่งชี้ว่าสัตว์ทดลองในกลุ่ม T3 ไม่ได้ได้รับ Enrofloxacin ตั้งแต่วันที่ 4 ร่างกายสัตว์จึงมีการปรับระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสให้เป็นไปตามปกติ หรือเป็นไปได้ว่าปริมาณแลคโตบาซิลลัสในกลุ่ม T3 ไม่ได้ลดลงเพราะ Enrofloxacin แต่ลดลงเองตามธรรมชาติเช่นเดียวกับกลุ่ม T1 ที่ปริมาณแลคโตบาซิลลัสลดลง แต่แตกต่างจากกลุ่ม T2 ที่ให้สารแทนนินตลอดการทดลอง ซึ่งไม่มีผลต่อระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบกับระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสโดยธรรมชาติที่มีในกลุ่ม T1 และ T3 จะพบว่ากลุ่ม T2 มีค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัสสูงกว่ากลุ่ม T1 และ T3 ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าสารแทนนินที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเสริมความคงที่ของค่าระดับปริมาณแลคโตบาซิลลัส ทำให้ส่งผลดีต่อตัวสัตว์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Giacomo et al. (2010) เมื่อเสริมแทนนินไม้เถาวัล (CT) ที่ 1.13 2.5 และ 4.5 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าจำนวนแลคโตบาซิลลัส มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในลำไส้เล็ก และแบคทีเรียไม่ได้รับผลกระทบหลังจากการเสริมแทนนิน

บทสรุป

การเสริมแทนนินในการเลี้ยงสุกรอนุบาลไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและปริมาณ *E. coli* แต่มีแนวโน้มที่ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่นในลูกสุกรหย่านม และทำให้ระดับปริมาณความเข้มข้นของแลคโตบาซิลลัสในลูกสุกรหย่านมมีความคงที่ซึ่งส่งผลดีต่อลูกสุกร

เอกสารอ้างอิง

Antje R., Gesine S., Saskia R., Jessica M., Jurgen W., Manfred K. and Heike K. (2017). Effects of intramuscularly administered Enrofloxacin on the susceptibility of commensal intestinal *Escherichia coli* in pigs (*Sus scrofa domestica*). BMC Veterinary Research. 10: 118-126.

- Brus M., Dolinsek J., Cencic A. and Skorjanc D. (2013). Effect of chestnut (*Castanea sativa* Mill) wood tannins and organic acids on growth performance and faecal microbiota of pigs from 23 to 127 days of age. *Agricultural Science*. 19(4): 841-847.
- Caprarulo V., Giromini C. and Rossi L. (2021). Review: Chestnut and quebracho tannins in pig nutrition: the effects on performance and intestinal health. *Animal*. 15(1): 100064.
- Dowarah R., Verma A.K. and Agarwal N. (2017). The use of *Lactobacillus* as an alternative of antibiotic growth promoters in pigs: A review. *Animal Nutrition*. 3(1): 1-6.
- Faccin J.E.G., Laskoski F., Cemin H.S., Mellagi A.P.G., Bernardi M.L., Ulguim R.R., Bortolozzo F.P. and Tokach M.D. (2020). Evaluating the impact of weaning weight and growth rate during the first week post weaning on overall nursery performance. *Journal of Swine Health and Production*. 28(2): 70-78.
- Foditsch C., Pereira R.V.V., Siler J.D., Altier C. and Warnick L.D. (2019). Effects of treatment with enrofloxacin or tulathromycin on fecal microbiota composition and genetic function of dairy calves. *Plos One* 14(12): e0219635.
- Giacomo B. and Pinna C. (2010). The utilization of prebiotics and symbiotics in pig. *Italian Journal of Animal Science*. 13: 169-178.
- Girard M. and Bee G. (2020). Invited review: Tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. *Animal*. 14(1): 95-107.
- Hudzicki J. (2009). Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol. *Journal of American Society for Microbiology*. 1-23.
- Marion G., Sophie T., Nicolas P., Dou H., Catherine O. and Giuseppe B. (2018). Hydrolysable chestnut tannins for reduction of postweaning diarrhea: efficacy on an experimental ETEC F4 Model. *Plos One*. 13(5): 1-15.
- McDevitt S. (2009). Methyl Red and Voges-Proskauer test protocols. *Journal of American Society for Microbiology*. 1-9.
- Min B.R., Pinchak W.E., Merkel R., Walker S., Tomita G. and Anderson R.C. (2008). Comparative antimicrobial activity of tannin extracts from perennial plants on mastitis pathogens. *Scientific Research and Essays*. 3(2): 066-073.
- Mohamed R., Fairbrother J.M., Beaudry F. and Letellier A. (2017). Postweaning diarrhea in pig: risk factors and non-Colistin-based control strategies. *Acta Veterinaria Strategies*. 59(31): 1-19.
- Myers D.N., Stoeckel D.M., Bushon R.N., Francy D.S. and Brady A.M.G. (2007). Fecal indicator bacteria: U.S. geological survey techniques of water-resources investigations, book 9, chap. A7, section 7.1 (version 2.0)
- Smith A.C. and Hussey M.A. (2005). Gram stain protocols. *American Society for Microbiology*. Washington DC: USA.
- Sudthidol P., Pairat S., Udom C. and Bopit P. (2018). Effect of *Lactobacillus* probiotics supplementation on intestinal bacteria and growth performance in weaned pigs. *Veterinary Integrative Sciences*. 16(3): 211-221.

Yu J., Song Y., Yu B., He J., Zheng P., Mao X., Huang Z., Luo Y., Luo J., Yan H., Wang Q., Wang H. and Chen D. (2020). Tannic acid prevents post-weaning diarrhea by improving intestinal barrier integrity and function in weaned piglets. *Journal of Animal Science Biotechnology*. 87: 1-11.

Received: September 17, 2021; Revised: October 26, 2021; Accepted: November 13, 2021

การอนุบาลปลาดุกอุยทะเลในระบบน้ำไหลผ่าน
Nursing of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*)
in flow through water systems

พิเชฐ เตชนันต์^{1*} กฤติมา กษมาวุฒิ¹ และสำเนาวิ เสาวกุล¹
 Phichet Detanun^{1*}, Krittima Kasamawut¹ and Samnao Saowakoon¹

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address: phichet.de@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษากการอนุบาลปลาดุกอุยทะเล (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 การอนุบาลในระบบน้ำไหลผ่าน โดยใช้ถังพลาสติกกลมรูปวงรี ที่ระดับความหนาแน่น 500, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 ตัวต่อตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 5 ซ้ำ ให้ไรแดงเป็นอาหารในอัตราเต็มที่ น้ำไหลผ่านที่อัตรา 30 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อายุ 1 - 10 วัน และช่วงที่ 2 นำมาลูกปลาที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 มารวมกันในแต่ละระดับความหนาแน่นนำไปอนุบาลต่อในกระชังในบ่อดินที่ความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร ชุดละ 3 ซ้ำ ให้อาหารปลาดุกเล็กที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน ปรับอาหารตามความเหมาะสมของปริมาณการกินของลูกปลาที่อายุ 11 - 30 วัน

ผลการศึกษาพบว่า ในการทดลองในช่วงที่ 1 ปลาดุกที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ย และการเจริญเติบโตดีที่สุด แตกต่างจากทุกชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการรอดตาย พบว่า กลุ่มปลาที่ความหนาแน่น 5,000 ตัวต่อตารางเมตร มีอัตราการรอดตายดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับระดับความหนาแน่นอื่น ๆ ส่วนผลการทดลองในช่วงที่ 2 เป็นเจริญเติบโตของปลาตั้งแต่วันที่ 11 - 30 พบว่า ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย และอัตราเพิ่มขึ้นของน้ำหนักต่อวัน ดีที่สุดแตกต่างจากทุกชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ความยาวเฉลี่ยและอัตราการรอดตายก็มีค่าสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปลาในชุดการทดลองอื่น ๆ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การอนุบาลปลาดุกอุยทะเลในระบบน้ำไหลผ่าน สามารถเลี้ยงได้ถึง 7,500 ตัวต่อตารางเมตร ที่อายุ 1 - 10 วัน และเมื่อนำไปเลี้ยงต่อในบ่อดิน จนถึงอายุ 30 วัน ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย

คำสำคัญ: ปลาดุกอุยทะเล การอนุบาลปลา ระบบน้ำไหลผ่าน ความหนาแน่น

Abstract

The study on the nursery method of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) was divided into 2 periods: Phase 1 nursery in the flowing water system, using a round oval-shaped plastic bucket at stocking densities of 500, 2,500, 5,000, 7,500 and 10,000 fish larvae per square meter. A completely randomized design (CRD) trial was planned for 5 replications. Moina was given as feed to satiation. Water flowing at the rate of 30 liters per hour at 1 - 10 days of age, and Phase 2, bringing the fish larvae from the first phase of the experiment to nurse in cages in earthen ponds by taking the fry from the first phase of the experiment. They were combined at each density level before being nursed in cages in earthen ponds at the density of 500 individuals per square meter. These were arranged in 3 replicates. The small catfish were fed with 32% protein as food at the rate of 5 - 10% of body weight per day. The diet was adjusted accordingly to the feeding amount of the fish fry at 11-30 days of age.

The results showed that in the first phase, the fish were nursed for 1 - 10 days at a density of 500 fish/m² had statistically significant ($p < 0.05$) higher in average weight, length, and daily weight gained and growth performance than all other experimental groups. When comparing survival rates, it was also found that fish groups at a density of 5,000 fish/m² had the best survival rate but not statistically different ($p > 0.05$) from fish fed at other densities. The results of Phase 2 fish growth from day 11 to day 30. It was found that the fish at the density of 500 fish/m² had the statistically ($p < 0.05$) highest in average weights and daily weight among all experimental groups. However, its mean length and survival rate were not statistically significantly different ($p > 0.05$) from other fish in the experimental density groups. These results indicated that nursery for hybrid catfish in the flowing water system up to 7,500 fish/m² can be reared at 1 - 10 days of age and when further cultured in ponds until 30 days of age, there is no effect on growth and survival rates.

Keywords: Hybrid catfish, Nursing management, Flow through water system, Stocking density

บทนำ

ปลาดุกอุยเทศหรือปลาดุกผสม หรือโดยทั่วไปเรียกว่าปลาดุกบิ๊กอุย เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับสองของประเทศไทยรองจากปลานิลทั้งเชิงผลผลิตและมูลค่า (กรมประมง, 2562) อีกทั้งเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Yi et al., 2003) เป็นปลาลูกผสมระหว่างปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) กับปลาดุกเทศหรือปลาดุกยักษ์ที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกากลาง (Viveen et al., 1986; Basiita and Rajts, 2021) โดยทั่วไปคนไทยนิยมบริโภคปลาดุกอุยเนื่องจากเนื้อนุ่มอร่อยและรสชาติดี แต่พบว่าปลาชนิดนี้เจริญเติบโตช้าและอ่อนแอต่อโรคทำให้ไม่คุ้มค่าในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ขณะที่ปลาดุกยักษ์มีเนื้อสีขาวและลักษณะเหลวทำให้ไม่เป็นที่นิยมในการบริโภค แต่ปลาชนิดนี้เจริญเติบโตเร็วและต้านทานโรคได้ดี ดังนั้นกรมประมงจึงทดลองผสมข้ามระหว่างปลาสองชนิดนี้ (Inter-specific hybridization) และประสบความสำเร็จในปี 2531 (มานพ และคณะ, 2533; สำเนา, 2561) จากการทดลองพบว่าการผสมข้ามระหว่างพ่อแม่ปลาดุกอุยกับน้ำเชื้อปลาดุกยักษ์ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีเนื่องจากไข่อัตราฟักและอัตราการตายของลูกปลาสูง และปลาลูกผสมที่ได้มีลักษณะภายนอกและเนื้อคล้ายปลาดุกอุยรวมทั้งเจริญเติบโตเร็วกว่า

ปลาตุ๊กยักษ์ (Bartley et al., 2001) ขณะที่การผสมข้ามระหว่างการใช้ไข่ปลาตุ๊กกับไข่ปลาตุ๊กยักษ์นั้นไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจเนื่องจากไข่มีอัตราการปฏิสนธิและลูกปลาอัตราการฟักต่ำ (สุจินต์ และคณะ, 2533)

หลังจากประสบความสำเร็จในการเพาะพันธุ์ กรมประมงได้ส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กบิกอูยเชิงพาณิชย์จนกระทั่งกลายเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ อย่างไรก็ตามเนื่องจากปลาชนิดนี้เจริญเติบโตเร็วและสามารถเลี้ยงได้อย่างหนาแน่นทำให้ผลผลิตออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณมาก ราคาจำหน่ายของปลาชนิดนี้จึงต่ำทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนน้อยและมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นการศึกษาการอนุบาลและการให้อาหารในช่วงการอนุบาลปลาตุ๊กบิกอูยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การศึกษาเทคนิคการอนุบาลและการจัดการปลาตุ๊กบิกอูยด้วยความหนาแน่นสูงที่เหมาะสมในระบบน้ำไหลผ่านจึงเป็นแนวทางที่น่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสม เนื่องจากมีการศึกษาแล้วพบว่าประสบผลสำเร็จในการเพาะพันธุ์ การอนุบาลและการเลี้ยงในปลา และสัตว์น้ำหลายชนิด ได้แก่ ปลาม้า และปลากะพงขาว เป็นต้น (สนธิพันธ์ และคณะ, 2556; ยศกร, 2564) ซึ่งระบบน้ำไหลผ่านในการเลี้ยงสัตว์น้ำอาจมีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น บ่อกลม บ่อสี่เหลี่ยม และบ่อแปดเหลี่ยม ด้านในของบ่อต้องลมนุ่มเพื่อให้การเคลื่อนตัวของน้ำเป็นวงกลมรอบศูนย์กลางของบ่อมากที่สุด เพื่อให้สารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำถูกรวมไว้ตรงกลางบ่อเพื่อระบายออกมาได้จำนวนมากและเร็วที่สุด เนื่องจากรูปแบบการเคลื่อนตัวของน้ำดังกล่าวจะทำให้บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสะอาด ลดปริมาณสารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์ได้มากขึ้น โดยอาศัยการเคลื่อนตัวของน้ำ ซึ่งทางเข้าของน้ำที่อยู่ด้านบนเมื่อปรับเป็นแนวนอน ขนานกับผิวน้ำจะสามารถควบคุมการไหลเวียนของน้ำในบ่อได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด (Timmons et al., 1998; Octaform, 2017)

การศึกษานี้ใช้ถังพลาสติกรูปวงรี ปล่อน้ำไหลผ่านและมีการเคลื่อนตัวของน้ำเป็นวงกลม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นฐานข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการผลิตลูกปลาชนิดนี้ ทำให้ทราบถึงความหนาแน่นที่เหมาะสมต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของลูกปลาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการเลี้ยงปลาตุ๊กบิกอูยให้มีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนต่ำ (Sugama et al., 2001) เพื่อเป็นประโยชน์ให้เกษตรกรสามารถจัดการการอนุบาลปลาชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้รับผลตอบแทนที่เหมาะสมในการลงทุนต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาช่วงที่ 1 อนุบาลในระบบน้ำไหลผ่าน

การอนุบาลลูกปลาตุ๊กบิกอูยในระบบน้ำไหลผ่าน ใช้ถังพลาสติกกลมรูปวงรีขนาดกว้าง 0.80 เมตร ยาว 1.07 เมตร ความสูง 0.30 เมตร เจาะรูระบายน้ำที่ ระดับความสูง 0.25 เมตร โดยปล่อยให้น้ำไหลผ่านเบา ๆ ตลอดเวลา (อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อชั่วโมง) น้ำล้นผ่านรูระบายน้ำ การวางแผนการศึกษาแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) แบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 5 ซ้ำ ที่ระดับความหนาแน่นแตกต่างกัน (ตารางที่ 1) ให้ไรแดงเป็นอาหารในปริมาณที่มากพอ อนุบาลเป็นระยะเวลา 10 วัน ตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย

การศึกษาช่วงที่ 2 อนุบาลในระบบกระชังจำลองเหมือนบ่อดิน

นำลูกปลาที่ได้ในแต่ละกลุ่มการทดลองมารวมกัน และนำลูกปลาที่ได้จากการศึกษาช่วงที่ 1 ในแต่ละกลุ่มการทดลองไปเลี้ยงต่อในกระชังขนาด ความกว้าง 1.00 เมตร ความยาว 1.00 เมตร ความสูง 1.50 เมตร (จมลงในดิน 0.10 เมตร อยู่ในระดับน้ำ 1.00 เมตร และพื้นน้ำ 0.40 เมตร) แบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ในระบบบ่อดินที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร เพื่อศึกษาว่าการอนุบาลปลาตุ๊กบิกอูยในถังพลาสติกที่ความหนาแน่นสูงนั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตในการเจริญเติบโตหรือไม่ โดยให้อาหารปลาตุ๊กเล็กมีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ โดยการนำมาแช่น้ำแล้วบดป็นเป็น

ก่อนให้ลูกปลากินในปริมาณ 10 - 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวในทุกกลุ่มการทดลองแล้วปรับอาหารตามความเหมาะสมของปริมาณการกินของลูกปลาเป็นเวลา 20 วัน (ตารางที่ 1)

ทำการประเมินอัตราการความหนาแน่นที่เหมาะสมของระบบการอนุบาลปลาดุกบักอยู่ในระบบน้ำไหลผ่าน โดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้อนุบาลปลาดุกบักอยู่ช่วงของการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทำการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทดลอง และระหว่างการทดลองทุกสัปดาห์ ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ใช้เทอร์โมมิเตอร์ ความโปร่งแสงของน้ำใช้ Secchi disc ความเป็นกรดเป็นด่าง ใช้ pH meter ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ใช้ DO meter YSI 52 ปริมาณแอมโมเนีย และ ปริมาณไนโตรเจน ใช้การไตเตรต (วิรัช, 2561; APHA-AWWA-WEF, 1992)

การประเมินการเจริญเติบโตและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

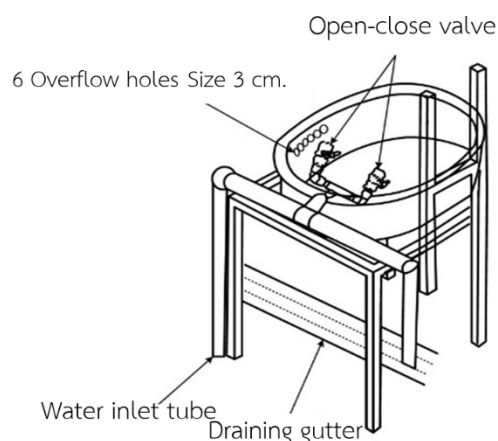
สุ่มลูกปลาดุกบักอยู่ในแต่ละชุดการทดลอง (ซ้ำ) ๆ ละ 10 ตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละช่วงนำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาว เพื่อหาค่าเฉลี่ยและประเมินการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย (วิมล, 2536) ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 1 Determination of the experimental groups

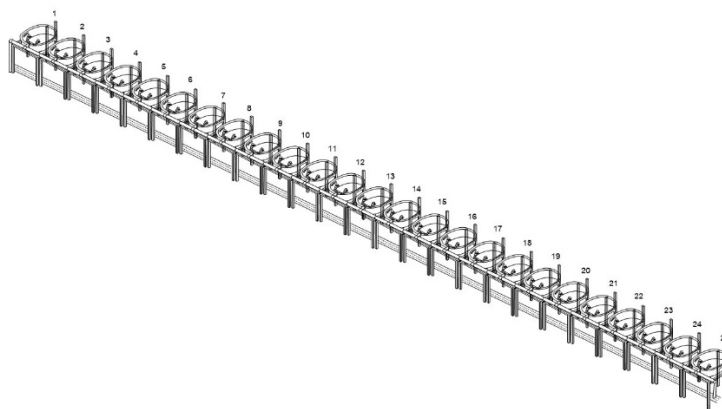
Treatment	Stocking density ⁽¹⁾ (fish/m ²)	Stocking density ⁽²⁾ (fish/m ²)
T1	500	500
T2	2,500	500
T3	5,000	500
T4	7,500	500
T5	10,000	500

หมายเหตุ: ⁽¹⁾ Nursing in oval plastic tanks with flow through water system

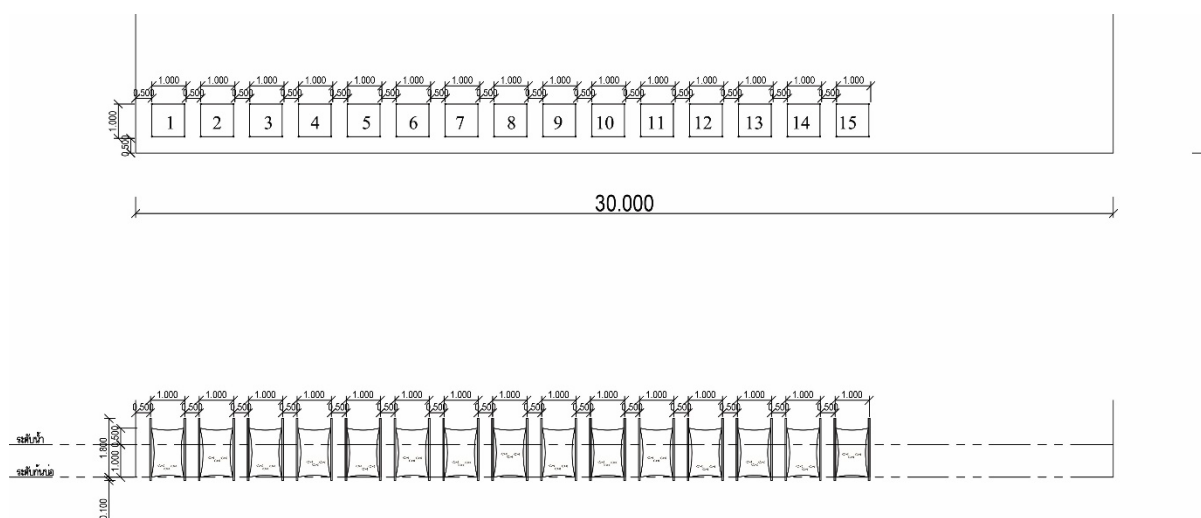
⁽²⁾ Nursing in earthen pond cages



รูปที่ 1 Characteristics of the oval plastic tanks with flow through water system



(1) Layout of oval plastic tanks with flow through water system in the experimental group



(2) Pattern of earthen pond cages in the experimental group

รูปที่ 2 Layout and pattern of nursing in oval plastic tanks with flow through water system (1) and earthen pond cages (2)

ผลการวิจัย

การศึกษาผลการอนุบาลลูกปลาดุกปักอยู่ในถังพลาสติกกลมรูปวงรีด้วยอัตราความหนาแน่นแตกต่างกัน 5 ระดับ อนุบาลเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า น้ำหนักเฉลี่ย และความยาวเฉลี่ยที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร มีการเจริญเติบโตดีที่สุด แตกต่างจากทุกกลุ่มการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีอัตราการรอดตายดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับอัตราการรอดตายระดับความหนาแน่น 2,500, 5,000 และ 7,500 ตัวต่อตารางเมตร แต่แตกต่างจาก 10,000 ตัวต่อตารางเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 Average of body weight, length, and survival rate of hybrid catfish fry fed in each treatment during the experimental period of 10 days

Stocking density (fish/m ²)	Weight (g)	Length (cm)	Survival rate (%)
T1 (500)	0.0602±0.0075 ^a	1.8620±0.1360 ^a	83.40±7.70 ^a
T2 (2,500)	0.0301±0.0004 ^b	1.5500±0.0689 ^b	79.22±7.99 ^{ab}
T3 (5,000)	0.0276±0.0012 ^b	1.3320±0.0694 ^c	85.26±5.89 ^a
T4 (7,500)	0.0259±0.0004 ^{bc}	1.2620±0.0496 ^{cd}	80.05±3.70 ^{ab}
T5 (10,000)	0.0214±0.0017 ^c	1.1760±0.0467 ^d	72.79±6.03 ^b

หมายเหตุ: mean values that have the same superscript letter vertically are not significantly different ($p>.05$)

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ระหว่างการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำ โดย อุณหภูมิ น้ำ อยู่ในช่วง 29.60 - 29.73 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.06 - 7.30 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 4.67 - 4.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.18 - 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าไนไตรท์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.08 - 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 Water quality parameters of the oval plastic tanks with flow through water system during the experimental period of 10 days

Parameters	Stocking density (fish/m ²)				
	T1 (500)	T2 (2,500)	T3 (5,000)	T4 (7,500)	T5 (10,000)
Temperature (°C)	29.73±1.52	29.73±0.98	29.70±0.70	29.70±0.73	29.60±1.02
pH	7.16±0.05	7.30±0.10	7.06±0.11	7.14±0.09	7.16±0.05
DO (mg/l)	4.83±0.21	4.73±0.25	4.77±0.21	4.87±0.15	4.67±0.31
Ammonia (mg/l)	0.18±0.02	0.18±0.08	0.21±0.02	0.23±0.09	0.24±0.04
Nitrite (mg/l)	0.08±0.01	0.09±0.01	0.10±0.00	0.11±0.01	0.09±0.00

ผลการเจริญเติบโตของปลาดุกบักอยู่ช่วงอายุระหว่างการทดลอง 11 - 30 วัน ที่เลี้ยงในกระชัง จำลองเหมือนบ่อดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยใช้ลูกปลาดุกบักอยู่ที่ได้จากการนำลูกปลาที่ได้จากชุดการทดลองที่ 1 ทั้ง 5 ระดับ พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด แตกต่างจากทุกชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ค่าน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นต่อวัน ที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร ดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราความหนาแน่น 2,500 และ 7,500 ตัวต่อตารางเมตร ส่วนความยาวเฉลี่ยและอัตราการรอดตายของปลาดุกบักอยู่ทุกระดับความหนาแน่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 Average of weight, length, and survival rate of hybrid catfish fry fed in earthen pond cages in each treatment during the experimental days 11 to 30

Stocking density (fish/m ²)	Weight (g)	Average Daily Weight Gain: ADG (g)	Length (cm)	Survival rate (%)
T1 (500)	0.6773±0.0392 ^a	0.0296±0.0012 ^a	4.0033±0.0750 ^a	55.80±4.26 ^a
T2 (2,500)	0.5922±0.0417 ^b	0.0281±0.0021 ^{ab}	4.0533±0.4523 ^a	56.26±0.64 ^a
T3 (5,000)	0.5433±0.0319 ^{bc}	0.0258±0.0015 ^{bc}	3.7567±0.2793 ^a	55.00±4.00 ^a
T4 (7,500)	0.5575±0.0435 ^{bc}	0.0266±0.0022 ^{abc}	3.9400±0.3850 ^a	60.93±7.87 ^a
T5 (10,000)	0.4953±0.0241 ^c	0.0237±0.0011 ^c	3.8667±0.1327 ^a	56.20±2.71 ^a

หมายเหตุ: mean values that have the same superscript letter vertically are not significantly different (p>.05)

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติคุณภาพน้ำทุก ๆ สัปดาห์ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของแต่ละพารามิเตอร์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองในทางสถิติคุณภาพน้ำ อุณหภูมิ น้ำ อยู่ในช่วง 29.13-29.87 องศาเซลเซียส ความโปร่งแสงของน้ำ อยู่ในช่วง 16.17-16.93 เซนติเมตร ความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.00-7.24 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อยู่ในช่วง 4.49-4.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.48-0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าไนไตรท์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 Water quality of Hybrid Catfish fry fed in the earthen pond cages during the experimental days 11 to 30

Parameters	Stocking density (fish/m ²)				
	T1 (500)	T2 (2,500)	T3 (5,000)	T4 (7,500)	T5 (10,000)
Temperature (°C)	29.13±0.79	29.17±0.96	29.87±0.49	29.82±0.42	29.30±0.62
Transparency (cm)	16.43±0.45	16.93±0.49	16.17±0.85	16.67±1.25	16.83±0.34
pH	7.24±0.09	7.16±0.11	7.00±0.16	7.12±0.13	7.16±0.11
DO (mg/l)	4.57±0.06	4.62±0.50	4.49±0.23	4.66±0.17	4.59±0.28
Ammonia (mg/l)	0.50±0.11	0.50±0.25	0.51±0.08	0.49±0.04	0.48±0.15
Nitrite (mg/l)	0.09±0.02	0.06±0.01	0.07±0.01	0.08±0.02	0.09±0.04

การอภิปรายผล

การศึกษาผลการอนุบาลลูกปลาดุกปักอยู่ในระบบน้ำไหลผ่านที่มีระดับความหนาแน่นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 500, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 ตัวต่อตารางเมตร เปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้อนุบาล โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วงการทดลอง ช่วงการทดลองที่ 1 ทดลองที่อัตราความหนาแน่นกำหนดโดยการอนุบาลที่อายุหลังจากที่ปลาเริ่มกินอาหารอายุ 3 วัน การอนุบาลแตกต่างกันใช้ระบบน้ำไหลผ่านอนุบาลในถังพลาสติกกลมรูปวงรีที่ระยะเวลา 1-10 วัน ผลการศึกษา พบว่า น้ำหนักเฉลี่ย และความยาวเฉลี่ยที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร มีการเจริญเติบโตดีที่สุด แตกต่างจากทุกกลุ่มการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบค่าอัตราการตายของปลาดุกปักอยู่ พบว่า ที่ระดับความหนาแน่น 5,000 ตัวต่อตารางเมตร มีอัตราการรอดตายดี

ที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับอัตราการรอดตายความหนาแน่น 500, 2,500, 5,000 และ 7,500 ตัวต่อตารางเมตร แต่แตกต่างจาก 10,000 ตัวต่อตารางเมตร

การทดลองในช่วงที่ 2 พบว่าผลการเจริญเติบโตของปลาอุกบึกอยู่ช่วงอายุระหว่างการทดลอง 11 - 30 วัน พบว่า น้ำหนักเฉลี่ย ที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด แตกต่างจากทุกชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าค่าน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นต่อวันนั้นที่ระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตรดีที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติกับอัตราความหนาแน่น 2,500 และ 7,500 ตัวต่อตารางเมตร ส่วนความยาวเฉลี่ยและอัตราการรอดตายของปลาอุกบึกอยู่ทุกระดับความหนาแน่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการศึกษาการเลี้ยงปลาอุกบึกอยู่ในระบบน้ำไหลผ่านในครั้งนี้นี้ สามารถอนุบาลได้ถึง 7,500 ตัวต่อตารางเมตร ที่อายุ 1 - 10 วัน และเมื่อนำไปเลี้ยงต่อไปในบ่อดิน จนถึงอายุ 30 วัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย ซึ่งคุณภาพน้ำในการทดลองทั้งสองช่วงทำการทดลอง พบว่าค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของแต่ละพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ความเป็นกรดเป็นด่าง ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แอมโมเนีย และไนไตรท์ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำ (วิรัช, 2561) ซึ่ง Panakulchaiwit et al. (2011) กล่าวว่า การทดลองเลี้ยงปลานิลที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน พบว่า ระดับความหนาแน่นในการเลี้ยงปลา มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ณ ระดับความหนาแน่นที่สูงขึ้น การเจริญเติบโตของลูกปลา (Individual growth rate) มีแนวโน้มลดลง (อนันต์ และคณะ, 2541) ได้อธิบายว่า ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันความหนาแน่นของประชากรปลาเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโต เนื่องจากบ่อหรือกระชังเลี้ยงปลามีกำลังการผลิตสูงสุด (Carrying capacity) จำกัดส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลาแต่ละตัวลดลง ในการเจริญเติบโตของปลานั้นหากสภาพแวดล้อมเหมาะสมปลาจะกินอาหารและมีการสะสมอาหารในตัวปลามาก จึงทำให้ปลาอ้วนและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (สมโภชน์, 2535; Hephher, 1967) สามารถกำหนดอัตราการปล่อยที่เหมาะสมได้ โดยใช้วิธีการคำนวณจำนวนปลาที่ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อหรือในกระชัง (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) เท่ากับน้ำหนักปลาที่คาดว่าจะจับได้ทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตร หาดด้วยน้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ต้องการจับ (วิรัช, 2544) และอัตราการรอดตายของปลามีความสัมพันธ์สอดคล้องกันกับระดับความหนาแน่น คือเมื่อเลี้ยงปลาที่มีความหนาแน่นที่มากขึ้นการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาจะลดลง เนื่องจากระดับความหนาแน่นที่มากขึ้นปลาจะมีความเครียดมากขึ้นส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง ส่วนอัตราการแลกเนื้อ มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งหากสามารถอนุบาลลูกปลาได้ในระดับความหนาแน่นสูง ๆ จะทำให้ได้ผลตอบแทนที่สูงขึ้นและคุ้มค่าต่อการลงทุน Shang (1986) กล่าวว่า การเลี้ยงปลาในอัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยบ่อเลี้ยงปลาสามารถให้ผลผลิตได้สูงสุดระดับหนึ่ง ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำนั้น ๆ และจะต้องมีที่ว่างสำหรับปลาอาศัยอยู่อย่างเพียงพอ รวมทั้งการบริหารจัดการคุณภาพน้ำและของเสียด้วย ซึ่งปลาอุกบึกอยู่สามารถอนุบาลได้ในอัตราความหนาแน่นที่สูง เนื่องจากเป็นปลาที่มีความอดทนสูง แข็งแรง อัตราความหนาแน่นนั้นจะส่งผลกระทบที่ชัดเจนต่ออัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อน หากปล่อยในอัตราความหนาแน่นที่ต่ำเกินไปอัตราการเจริญเติบโตจะสูงแต่อาจไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ ในทางตรงกันข้ามหากอนุบาลในอัตราความหนาแน่นมากเกินไปจะส่งผลให้การเจริญเติบโตช้าและเพิ่มอัตราการตายได้ (สมหวัง และสนธิพันธ์, 2537)

นอกจากอัตราการปล่อยที่เหมาะสมยังมีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณา เช่น ชนิดของลูกปลา วิธีการอนุบาล ชนิดอาหาร การจัดการ ตลอดจนขนาดของลูกปลาที่ต้องการ (อุทัยรัตน์, 2535) โดยระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงจะส่งผลต่ออัตราการให้อาหาร การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในแต่ละช่วงอายุ และอัตราการรอดตายด้วย (สำเนาวิ และคณะ, 2543; หทัยรัตน์ และสำเนาวิ, 2551; สำเนาวิ และคณะ, 2555; Garr et al., 2011; Roca and Main, 2012; Mensah et al., 2013; Mohamed et al., 2016) และมีผลต่อการกินอาหารของปลา (Yousif, 2002) ทั้งนี้การเลี้ยงปลาในอัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการการเลี้ยงสัตว์น้ำ การจัดการคุณภาพน้ำและของเสีย (Shang, 1986) ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่ประสบปัญหาในการอนุบาลลูกปลา ซึ่งจะพบอัตราการตายต่ำในช่วงแรกของการอนุบาล โดยเฉพาะระยะแรกฟักจนถึงอายุ 7 วัน (อาคม และคณะ, 2546) สอดคล้องกับ Ismi et al. (2012) รายงานว่า

กลุ่มปลากะรังมีอัตราการรอดตายค่อนข้างต่ำในระยะแรกของการอนุบาลลูกปลา ซึ่งความหนาแน่นของลูกปลาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการรอดตาย นอกจากนี้ในช่วงอายุ 30 - 40 วันพบว่าอัตราการรอดตายต่ำเช่นกัน เนื่องจากระยะนี้ปลามีการกินกันเอง (Cannibalism) ทำให้ผลผลิตของการอนุบาลค่อนข้างต่ำ (ไพบุลย์ และวรวิทย์, 2558; Salari et al., 2012; Sugama et al., 2012) ซึ่งการเลี้ยงการอนุบาลลูกปลาในระบบน้ำไหลผ่านนั้นมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการเจริญเติบโต และเพิ่มอัตราการรอดตาย เนื่องจากน้ำที่ไหลผ่านช่วยในการบำบัดน้ำที่เลี้ยงและทดแทนด้วยน้ำที่มีคุณภาพดี รวมถึงช่วยบำบัดของเสียที่เกิดจากการขับถ่าย รวมถึงตะกอนต่าง ๆ และเศษอาหาร ที่เป็นอันตรายต่อลูกปลา เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ เป็นต้น ทำให้ปลาได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ทำให้สามารถอนุบาลลูกปลาได้ในอัตราความหนาแน่นที่สูงกว่าระดับปกติ 5 - 10 เท่า

ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาคุกกี้ โดยการใช้ถังพลาสติกรูปวงรีเพื่อใช้ในการอนุบาลปลาคุกกี้ในระบบน้ำไหลผ่าน ส่งผลให้สามารถอนุบาลลูกปลาในระดับความหนาแน่นสูงขึ้นคุ้มค่าในการลงทุนและลดต้นทุนในการอนุบาลและมีผลตอบแทนการลงทุนที่สูงขึ้น สามารถจัดการผลผลิตปลาสู่ตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ ผลผลิตปลาคุกกี้มีคุณภาพสูง มีระบบจัดการการเลี้ยงที่ไม่ซับซ้อน เหมาะกับเกษตรกรทั่วไปและผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์ สอดคล้องกับความต้องการของตลาดปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตของผู้บริโภคที่ต้องการสัตว์น้ำที่มีคุณภาพและปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ควรหาวิธีการในการลดต้นทุนการผลิตอีก โดยเฉพาะต้นทุนด้านอาหาร ด้วยการเลือกชนิดอาหารให้มีต้นทุนต่ำ และปลาสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีอัตราการตายสูง โดยใช้วัสดุทดแทนที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีปริมาณมากพอในท้องถิ่น เช่น การศึกษาของ อีระชัย และคณะ (2562) ทำการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหอดด้วยอาหารสำเร็จรูปเพื่อทดแทนไรแดง รวมถึงพัฒนาประสิทธิภาพในการอนุบาลลูกปลาจนสามารถจัดการผลิตลูกปลาที่มีราคาถูกลงมาจำหน่าย ทั้งนี้จะได้ขยายผลไปสู่เกษตรกรเพื่อส่งเสริมต่อไป

บทสรุป

สรุปได้ว่าการเลี้ยงปลาคุกกี้ในระบบน้ำไหลผ่าน โดยปล่อยให้น้ำไหลผ่านเบา ๆ ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อชั่วโมง ให้น้ำผ่านรูระบายน้ำ สามารถอนุบาลได้ถึง 7,500 ตัวต่อตารางเมตร ที่อายุ 1-10 วัน และเมื่อนำไปเลี้ยงต่อในบ่อดิน ที่อัตราความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร จนถึงอายุ 30 วัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณที่ได้รับการสนับสนุนจากหลักสูตรเทคโนโลยีเกษตร และสาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จนการศึกษาสำเร็จเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2562). สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2560. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- อีระชัย พงศ์จรรยากล, ปราณิต งามแสนห์ และกาญจนา พุทธิ. (2562). รูปแบบที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาหอดด้วยอาหารสำเร็จรูปเพื่อทดแทนไรแดง. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 36(1): 33-43.

- ไพบูลย์ บุญลิปตานนท์ และวรรณเพ็ญ คำมี. (2558). ผลของความหนาแน่นในการอนุบาลปลากะรังเสือ *Epinephelus fuscoguttatus* Forsskal, 1775 ต่ออัตราการตายและต้นทุน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2558 กองวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, สุจินต์ หนูขวัญ, ปกรณ์ อุ้นประเสริฐ และ กำชัย ลาวัณยวุฒิ. (2533). ปักขุย ปลาเศรษฐกิจชนิดใหม่. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- ยศกร ประทุมวัลย์. (2564). ต้นแบบระบบอัตโนมัติสำหรับเพาะเลี้ยงปลากะพงในระบบปิด. ใน การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ 16 ขับเคลื่อนเศรษฐกิจ BCG เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. ม.ป.ท.
- วิรัช จิวแหยม. (2544). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- วิรัช จิวแหยม. (2561). หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- วิมล จันทโรทัย. (2536). การวางแผนการวิจัยด้านอาหารปลา. วารสารการประมง. 46(4): 323-330.
- สำเนาวิ เสาวกุล. (2561). ปลาตุ๊ก: การเพาะเลี้ยงและบทบาทในระบบนิเวศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์รุ่งธนเกียรติออฟเซต: สุรินทร์.
- สำเนาวิ เสาวกุล, หทัยรัตน์ เสาวกุล, ประหยัด หวังเป็น และกิตติกร จินดาพล. (2543). ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชัง. ใน รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 17 14 - 16 กรกฎาคม 2543 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพฯ. 260 -269
- สำเนาวิ เสาวกุล, กฤติมา เสาวกุล และปราณีต งามแสนห. (2555). ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชัง. วารสาร มทร.อีสาน. 5(1): 14-25.
- สุจินต์ หนูขวัญ, มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, กำชัย ลาวัณยวุฒิ และ ปรัชชัย วีรสิทธิ์. (2533). การผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกอุยและปลาดุกเทศ. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28, 29-31 มกราคม 2533. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 553-567.
- สนธิพันธ์ ผาสุกดี, ทวี วิพุทธานุมาศ และกาญจนา พงษ์ฉวี. (2556). การพัฒนาเทคโนโลยีระบบการผลิตปลาม้าเชิงพาณิชย์, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาเทคโนโลยีระบบการผลิตปลาม้าเชิงพาณิชย์. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน): กรุงเทพฯ.
- สมโภชน์ อัคระทวิวัฒน์. (2535). การศึกษาเบื้องต้นทางชีววิทยาบางประการและการทดลองผสมเทียมปลากะทิง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2535. ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดพระนครศรีอยุธยา กองประมงน้ำจืด กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สมหวัง พิมลบุตร และสนธิพันธ์ ผาสุกดี. (2537). การอนุบาลลูกปลาม้าด้วยความหนาแน่นต่างระดับ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 49/2537. กองประมงน้ำจืด กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- หทัยรัตน์ เสาวกุล และสำเนาวิ เสาวกุล. (2551). ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตการเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชัง. น. 394 - 402 ใน การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 46 สาขาประมง ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2551 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อนันต์ สิริธัญวงศ์, ไชยวัฒน์ รัตนดาตาส และเจริญไชย ศรีสุวรรณ. (2541). ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังพื้นที่ดินพรุ จังหวัดนราธิวาส. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 5/2523. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

- อาคม สิงหนุญ, ไพบุลย์ บุญลิปตานนท์ และสามารถ เดชสถิตย์. (2546). พัฒนาการคัพเพาะและลูกปลาวัยอ่อนของปลาเก๋าเสือ *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsskal, 1775). เอกสารวิชาการฉบับที่ 28/2546. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. (2535). การเพาะขยายพันธุ์ปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- APHA-AWWA-WEF. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater, 14thed, American public health association, American water works association, Water Environment federation: Washington D.C.
- Bartley D.M., Rana K. and Immink A.J. (2001). The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. Rev. Fish Biol. Fisher. 10: 325-337.
- Basiita R.K. and Rajts F. (2021). Guidelines for African catfish (*Clarias gariepinus*) spawning and fingerling production in the Democratic Republic of Congo. World Fish Communications and Marketing Department, CGIAR Research Program on Fish Agri-Food Systems. Guidelines: FISH-2021-01. Penang: Malaysia.
- Garr AL., Lopez H., Pierce R. and Davis M. (2011). The effect of stocking density and diet on the growth and survival of cultured Florida apple snails, *Pomacea paludosa*. Aquaculture. 311:139-145.
- Hepher, B. (1967). Some biological aspects of warm-water fish pond management. 417-428. In Shellby D. Gerking (ed.) The biological basis of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh.
- Ismi S., Sutarmat T., Giri N.A., Rimmer M.A., Knuckey R.M.J., Berding A.C. and Sugama K. (2012). Nursery Management of grouper: a best-practice manual. *ACIAR Monograph No. 150*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australian.
- Mensah E.T., Attipoe F.K. and Johnson M.A. (2013). Effect of different stocking densities on growth performance and profitability of *Oreochromis niloticus* fry reared in hapa-in-pond system. International of Fisheries and Aquaculture. 5(8): 204-209.
- Mohamed A.S., Tamador E.E. and Mohamed A.H. (2016). Effects of varying stocking densities and temperature on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings cultured in semi closed system. International Journal of Advanced Science and Research. 1(11): 19-23.
- Octaform. (2017). The Best Recirculating System in the World. Accessed 11 June 2017. <http://web.octaform.com/blog/topic/aquaculture/page/2>.
- Panakulchaiwit R., Aue-umneoy D., Intarapuk N. and Taveethap B. (2011). Integrated farm between Nile tilapia culture and floating water convolvulus grown. Journal of Fisheries Technology Research. 5(1): 37-46.
- Roca, C. Y. and Main K. L. (2012). Improving larval culture and rearing techniques on common snook (*Centropomus undecimalis*). In: Muchlisin, Z. (Ed.), Aquaculture. 187- 216.

- Salari R.C., Saad R., Kamarudin M. S. and Zokaelfar H. (2012). Effect of different stocking densities on tiger grouper juvenile (*Epinephelus fuscoguttatus*) growth and a comparative study of the flow-through and recirculating aquaculture systems. *African Journal of Agricultural Research*. 7(26): 3765-3771.
- Shang Y. C. (1986). Pond production systems: Stocking practices in pond fish culture. In: James, E. L., R. O. Smitherman and G. Tehobanoglous (eds.). *Principle and practices of pond aquaculture*. Oregon State University Press, Corvallis, Oregon: USA.
- Sugama K., Tridjoko B., Slamet S., Ismi E., Setiadi E. and Kawahara S. (2001). Manual for the seed production of humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. Gondol Research Institute for Mariculture Central Research Institute for Sea Exploration and Fisheries, Ministry of Marine Affairs and Fisheries, and Japanese International Cooperation Agency.
- Sugama K., Rimmer M.A., Ismi S., Koesharyani I., Suwiryana K., Giri N.A. and Alava V.R. (2012). Hatchery management of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*): a best-practice manual. *ACIAR Monograph No. 149*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Timmons M. B., Summerfelt S.T. and Vinci B. J. (1998). Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering*. 18(1998): 51-69.
- Viveen W.J.A.R, Richter C.J.J., van Oordt P.G.W.J., Janssen J.A.L. and Huisman E.A. (1986). Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). 2nd edition. Ministry of Foreign Affairs, The Hague: Netherlands.
- Yi, Y., Lin C.K. and Diana J.S. (2003). Hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in an integrated pen-cum-pond system: growth performance and nutrient budgets. *Aquaculture*. 217: 395-408.
- Yousif, O. M. (2002). The effects of stocking density, water exchange rate, feeding frequency and grading on size hatchery development in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 14: 45-53.

Received: September 22, 2021; Revised: November 2, 2021; Accepted: November 13, 2021

การศึกษาปริมาณเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากเครื่องทำน้ำเย็น
The study of iron concentration, water hardness and coliform bacteria
from water coolers

วันปิติ ธรรมศรี^{1*} อัญชิสา ไพบูลย์¹ มารวย พักปากน้ำ¹ และมาริสา เลียบแสง¹

Wanpiti Thammasri^{1*}, Aunchisa Paiboon¹, Maruay Phakpaknam¹ and Marisa Liabsang¹

^{1*}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร

*Corresponding Author E-mail Address : wanpiti.thammasri@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณเหล็ก ความกระด้างของน้ำ และโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่มของเครื่องทำน้ำเย็น ณ โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานจากการบริโภคน้ำดื่ม ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ 45 ตัวอย่างจากเครื่องทำน้ำเย็น 5 จุด และเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากพนักงานจำนวน 191 คน ตัวอย่างน้ำนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณเหล็กโดยใช้เครื่องอะตอมมิค แอ็บซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer) ความกระด้างของน้ำวัดด้วยวิธีไตเตรทด้วยอีดีทีเอ และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียตรวจหาด้วยวิธี AWWA, 2012 ผลการศึกษานี้พบว่า พนักงานอายุระหว่าง 20 - 30 ปี ซึ่งประกอบด้วยเพศหญิง ร้อยละ 73.3 เพศชาย ร้อยละ 26.7 ดื่มน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็น 1 - 2 ลิตรต่อวัน ปริมาณการบริโภคน้ำดื่มของพนักงานที่สำรวจ คิดเป็นร้อยละ 71.7 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณเหล็ก ตรวจพบในช่วงระหว่าง 0.06 - 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความกระด้างของน้ำและโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ตรวจไม่พบการปนเปื้อน ค่าดังกล่าวไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน

คำสำคัญ: เหล็ก ความกระด้าง โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

Abstract

This study aimed to determine the iron concentration, water hardness and coliform bacteria in drinking water of the water coolers at the factory in Samut Prakan Province and health risk assessment of workers from drinking water of the water coolers. Field survey was randomized 45 samples from 5 water coolers and collected information with questionnaires from 191 workers. Water samples were analyzed in the laboratory for iron concentration using atomic absorption spectrometer. Water hardness was measured using the EDTA titration method and the number of coliform bacteria was determined using the AWWA, 2012. This study showed that the workers who aged 20 to 30 years old including 73.3 percent of the female and 26.7 percent of the male drank water from the coolers 1 to 2 litres a day. The drinking water consumption of the surveyed workers was 71.7 percent. Results indicated that the iron concentration was found in the range 0.06 - 0.29 mg/litre. Water hardness and coliform bacteria was not detected. These results do not exceed of the standard, which implies that does not risk of health in the workers.

Keywords: Iron, Hardness, Coliform bacteria

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิต และจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับร่างกายนอกจากเป็นส่วนประกอบของร่างกายแล้วน้ำยังช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายอีกด้วย น้ำที่ดื่มควรเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรค สิ่งเจือปนต่าง ๆ และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค หากร่างกายได้รับน้ำที่มีสารพิษอาจก่อให้เกิดโรคที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้น และระยะยาว สารพิษบางตัวก่อให้เกิดโรคร้ายแรงยากแก่การรักษา (วารงคณา และสมศักดิ์, 2554) ในปัจจุบันน้ำดื่มที่ผ่านเครื่องทำน้ำเย็นได้รับความนิยมนำมาดื่ม เนื่องจากให้ความสะดวกต่อการบริโภคและง่ายต่อการใช้งาน แต่ในบางครั้งน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นอาจเกิดการปนเปื้อนได้ จากน้ำดิบที่นำมาใช้ร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็น หรือการปนเปื้อนจากสารทำความเย็นจากเครื่องเอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้ผู้บริโภคได้บริโภคน้ำดื่มที่สะอาดปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ สำหรับการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นสามารถตรวจสอบการปนเปื้อนได้ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา เช่น ความกระด้างในน้ำดื่ม (Water hardness) เหล็ก (Iron) และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform bacteria) เป็นต้น ในส่วนความกระด้างในน้ำดื่ม เกิดได้จากธาตุโลหะที่อยู่ในสภาพไอออน มีประจุบวกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพไอออนที่มีประจุ +2 เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นต้น สำหรับปัญหาความกระด้างของน้ำนั้นจะทำให้มีรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไป มีรสแปลก หากดื่มน้ำที่มีความกระด้างมากเกินไปเป็นประจำจะเกิดสารสะสมสารปนเปื้อนในร่างกายส่งผลต่อการเกิดโรคหัวใจและโรคนี้ (จุไรรัตน์, 2563) ส่วนปัญหาเหล็กในน้ำดื่มต่อผู้บริโภคในปัจจุบันมีปัญหาเนื่องจากผู้บริโภคมักนิยมนำน้ำประปามาต่อร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อบริโภค หากมีการสะสมของเหล็กมาก จะทำให้น้ำมีสีแดง มีกลิ่น และทำให้เกิดคราบสนิมได้ แม้ว่าเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปและไม่สามารถขับออกได้หมด เหล็กจะสะสมไว้ที่ตับทำให้เป็นโรคเกี่ยวกับตับได้ (ธนาวัดน์ และคณะ, 2553) การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นพร้อมดื่มสามารถพบการปนเปื้อนได้จากการที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้ตะกั่วบัดกรีในการเชื่อมและเครื่องทำน้ำเย็นขาดการดูแลและบำรุงรักษา ซึ่งปัญหาดังกล่าวพบได้จากการสุ่มตรวจคุณภาพทางด้านเคมีของน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็น โดยพบการปนเปื้อนของเหล็ก ทองแดง ตะกั่ว เป็นต้น (ธนาวัดน์ และคณะ, 2555) สำหรับปัญหาการ

ปนเปื้อน โคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำดื่ม มักเกิดจากความไม่สะอาดของอุปกรณ์กรองน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งการเติบโตของแบคทีเรียดังกล่าวทำให้น้ำประปามีกลิ่น และรสเป็นที่น่ารังเกียจ ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมินปริมาณหลักความกระด้าง โคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่มของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีต่อความเสี่ยงด้านสุขภาพของพนักงานผู้บริโภค โดยขอบเขตการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการศึกษาปริมาณหลัก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากเครื่องทำน้ำเย็น ณ สถานประกอบการแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งมีการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับให้บริการแก่พนักงาน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำดื่ม และเก็บแบบสอบถามจากพนักงานทั่วไป จำนวน 191 คน แบบเจาะจง (Purposive sampling) เลือกพนักงานที่บริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นเป็นหลัก ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานในโรงงานจากการบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็น รวมทั้งนำไปใช้ในการวางแผนหาแนวทางป้องกันการปนเปื้อนที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ 45 ตัวอย่างจากเครื่องทำน้ำเย็น 5 จุด และเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากพนักงานจำนวน 191 คน

2. เครื่องมือในการวิเคราะห์

เครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณหลักคือ Atomic absorption spectrometer ส่วนการวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำใช้วิธีไตเตรตด้วยอีดีทีเอ AWWA, 2012 (2340C) และการวิเคราะห์หาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียใช้วิธี AWWA, 2012 (3111B) (ศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2563).

3. การเก็บและรวบรวมข้อมูล

3.1 ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 5 จุด (3 ซ้ำ) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนของสาร 3 ค่า คือ ปริมาณหลัก ความกระด้างของน้ำ และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ดังรูปที่ 1-2)



รูปที่ 1 เครื่องทำน้ำเย็นที่ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ

3.2 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากพนักงานจำนวน 191 คน เกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของพนักงาน พฤติกรรมการบริโภคน้ำดื่มของพนักงาน และคุณภาพน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็น

3.3 ดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrometer วิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำโดยใช้วิธีไตเตรทด้วยอีดีทีเอ AWWA, 2012 (2340C) และวิเคราะห์หาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยใช้วิธี AWWA, 2012 (3111B)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เช่น ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประเมินหาความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานที่บริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ผลการวิจัย

จากการสำรวจข้อมูลแบบสอบถามพฤติกรรมการบริโภคน้ำและสุขภาพของพนักงานจากการดื่มน้ำ และเก็บรวบรวมข้อมูลจากพนักงาน จำนวนทั้งหมด 191 คน ด้วยแบบสอบถามซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของพนักงาน ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคน้ำดื่มของพนักงาน ส่วนที่ 3 ระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อคุณภาพน้ำดื่มและสภาพเครื่องทำน้ำเย็น สำหรับส่วนที่ 4 การตรวจสอบการติดตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็น และข้อมูลการวิเคราะห์น้ำดื่มในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้จากการดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ความกระด้างของน้ำ และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย แสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของพนักงาน

ข้อมูลทั่วไปของพนักงาน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	51	26.7
หญิง	140	73.3
อายุ		
อายุน้อยกว่า 20 ปี	9	4.7
20 - 30 ปี	140	73.3
31 - 40 ปี	35	18.3
41 - 50 ปี	6	3.1
อายุ 51 ปีขึ้นไป	1	0.6
น้ำหนัก		
น้ำหนักต่ำกว่า 45 กิโลกรัม	18	9.4
45 – 60 กิโลกรัม	130	68.1
61 – 75 กิโลกรัม	36	18.9
76 – 90 กิโลกรัม	7	3.6
น้ำหนัก 80 กิโลกรัมขึ้นไป	-	-
โรคประจำตัว		
ไม่มีโรคประจำตัว	188	98.4
มีโรคประจำตัว	3	1.6
การตรวจสุขภาพประจำปี		
ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปี	186	97.4
ไม่ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปี	5	2.6
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้เรียน	-	-
ระดับประถมศึกษา	7	3.7
ระดับมัธยมศึกษา	25	13.1
ปวช.	19	9.9
ปวส.	68	35.6
ข้อมูลทั่วไปของพนักงาน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ปริญญาตรี	72	37.7
สูงกว่าปริญญาตรี	-	-

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชายร้อยละ 26.7 เป็นเพศหญิงร้อยละ 73.3 พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วงอายุ 20-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 73.3 โดยกลุ่มตัวอย่างของพนักงานส่วนใหญ่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 45-60 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 68.1 กลุ่มตัวอย่างที่มีส่วนสูงระหว่าง 150-160 เซนติเมตร เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 165.4

โดยกลุ่มตัวอย่างที่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 37.7 รองลงมาคือ ระดับ ปวส. คิดเป็นร้อยละ 35.6 และโดยส่วนใหญ่กลุ่มตัวอย่างได้รับการตรวจสอบสุขภาพประจำปี คิดเป็นร้อยละ 97.4 ส่วนที่ไม่ได้รับการตรวจสอบสุขภาพประจำปี มีเพียงร้อยละ 2.6 อย่างไรก็ตามพนักงานส่วนใหญ่ ไม่มีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 98.4

สำหรับการสำรวจแบบสอบถามในส่วนที่ 2 พฤติกรรมสุขภาพ เป็นข้อมูลพฤติกรรมกรรมการบริโภคน้ำดื่มของกลุ่มตัวอย่างพนักงาน ได้แก่ ความถี่ในการบริโภคน้ำ ปริมาณในการบริโภคน้ำในแต่ละครั้งจากเครื่องทำน้ำเย็น แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคน้ำดื่มของพนักงานจากเครื่องทำน้ำเย็น

ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคน้ำดื่ม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
จำนวนความถี่ในการบริโภคน้ำดื่มต่อ 1 วัน		
น้อยกว่า 1 ครั้ง	3	1.6
1 – 2 ครั้ง	140	73.3
มากกว่า 2 ครั้ง	48	25.1
ปริมาณในการบริโภคน้ำดื่มต่อ 1 วัน		
น้อยกว่า 1 ลิตร	11	5.6
1 – 2 ลิตร	137	71.7
มากกว่า 2 ลิตร	43	22.5
น้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นมีความเพียงพอในการบริโภคของ		
จำนวนพนักงาน		
เพียงพอ	180	94.2
ไม่เพียงพอ	11	5.8
หลังจากดื่มน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นแล้วมีอาการตามมา		
เช่น ปวดท้อง ท้องเสีย		
มีอาการ	2	1.0
ไม่มีอาการ	189	99.0
เมื่อดื่มน้ำที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็นแล้วมีอาการผื่นที่ลำคอ		
หรือลิ้น		
มีอาการ	7	3.7
ไม่มีอาการ	184	96.3

จากตารางที่ 2 พบว่า ความถี่ในการบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นของพนักงานส่วนใหญ่มีความถี่ในการบริโภคอยู่ในช่วง 1-2 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 73.3 และในส่วนของปริมาณการบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นของพนักงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 1-2 ลิตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 71.7 ส่วนใหญ่น้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นมีความเพียงพอในการบริโภคของพนักงาน คิดเป็นร้อยละ 94.2 หลังจากดื่มน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นแล้วมีอาการตามมา เช่น ปวดท้อง ท้องเสีย คิดเป็นร้อยละ 1.0 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดื่มน้ำที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็นแล้วส่วนใหญ่ไม่มีอาการผื่นที่ลำคอหรือลิ้น คิดเป็นร้อยละ 96.3

สำหรับการศึกษาระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อคุณภาพน้ำดื่มและสภาพเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า ระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อความใส/สี กลิ่น รสชาติ และความสะอาด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00, 3.98, 3.91 และ 3.96 ตามลำดับ ซึ่งระดับการประเมินอยู่ในระดับมาก ส่วนระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า ความพึง

พอใจอยู่ในระดับน้อย เนื่องจากสภาพเครื่องทำน้ำเย็นมีการชำรุด สนิมเกาะ เป็นต้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.35 และสภาพที่ตั้งเครื่องทำน้ำเย็น ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย เนื่องจากมีน้ำขังตลอดเวลา สกปรก ไม่ได้รับการทำความสะอาดบริเวณที่ตั้ง เป็นต้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.32 แสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อคุณภาพน้ำดื่มและสภาพเครื่องทำน้ำเย็น

คำถาม	ระดับความพึงพอใจของพนักงาน		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการประเมิน
1. คุณภาพทางกายภาพ			
1.1 ความใส/สีของน้ำดื่มที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็น	4.00	0.10	มาก
1.2 กลิ่นของน้ำดื่มที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็น	3.98	0.01	มาก
1.3 รสชาติของน้ำดื่มที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็น	3.91	0.01	มาก
1.4 ความสะอาดของน้ำดื่มที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็น	3.96	0.02	มาก
2. ลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น			
2.1 สภาพเครื่องทำน้ำเย็น	1.35	0.10	น้อย
2.2 สภาพที่ตั้งเครื่องทำน้ำเย็น	1.32	0.09	น้อย

จากการตรวจเช็คสภาพแวดล้อมโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็นทั้งหมด 5 จุด ตามรายละเอียดที่กำหนดขึ้น ผลการตรวจสอบการติดตั้ง และสภาพโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การตรวจสอบการติดตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็น

รายการ	รายละเอียด	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
1.	เครื่องภายนอกไม่บุบ ไม่มีสนิม	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
2.	ก๊อกรั่วไม่มีคราบสกปรกหรือตะไคร่น้ำ	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
3.	ภายในตัวถังไม่มีสิ่งสกปรกหรือฝุ่นลอย	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
4.	มีฐานรองตัวเครื่องและตั้งสูงจากพื้นประมาณ 5 ซม.	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
5.	มีการติดตั้งสายดินอย่างถูกวิธี	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
6.	ไม่มีน้ำรั่วไหลภายใต้เครื่องทำน้ำเย็น	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
7.	สายไฟไม่ชำรุด ไม่มีการพันสก็อตเทป	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
8.	จุดติดตั้งน้ำดื่มอยู่ในบริเวณที่เหมาะสม	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
9.	มีการทำความสะอาดเครื่องทุกๆ เดือน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
10.	ไม่มีสิ่งกีดขวางหรือสิ่งสกปรกบริเวณเครื่องทำน้ำเย็น	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
11.	เครื่องทำน้ำเย็นทำความเย็นอยู่ตลอด	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
12.	น้ำที่กดออกมาสีใส ไม่มีกลิ่น และไม่มีตะกอน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่า จากการตรวจสอบการติดตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็น จุดที่พบปัญหา มากกว่าจุดอื่น ๆ คือ ตำแหน่งเครื่องทำน้ำเย็นในจุดที่ 3 และจุดที่ 4 โดยพบว่า เครื่องภายนอกมีลักษณะบุบ และมีสนิม ในส่วนของก๊อคน้ำมีคราบสิ่งสกปรกและมีตะไคร่น้ำ ส่วนจุดอื่น ๆ เช่น จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ในส่วนของก๊อคน้ำมีคราบสิ่งสกปรกและมีตะไคร่น้ำ ในส่วนของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการรั่วไหลของตัวเครื่อง พบในจุดที่ 3 และตำแหน่งรอบเครื่องทำน้ำเย็น มีการติดตั้งเครื่องที่ไม่เหมาะสมพบในจุดที่ 3 และจุดที่ 4 นอกจากนั้นในจุดที่ 1 และจุดที่ 4 ยังพบมีสิ่งกีดขวางหรือสิ่งสกปรก บริเวณเครื่องทำน้ำเย็นด้วย ส่วนจุดที่พบปัญหาหอรองลงมา คือ จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ที่พบปัญหาจากก๊อคน้ำมีคราบสกปรกหรือตะไคร่น้ำ และมีสิ่งกีดขวางหรือสิ่งสกปรกบริเวณเครื่องทำน้ำเย็น

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย WHO หรือองค์การอนามัยโลก (WHO, 1993) ที่กำหนดปริมาณเหล็กในน้ำดื่มไม่ควรเกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำดื่มโดยวิธีไตเตรทด้วยอีดีทีเอ พบว่า ไม่พบการปนเปื้อนของความกระด้างในน้ำดื่ม สังเกตได้จากสารละลายไม่มีสีที่เปลี่ยนไปจากเดิม และในส่วนของ การวิเคราะห์หาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย พบว่า ไม่พบการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่ม เช่นเดียวกัน แสดงผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่ม

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ปริมาณความเข้มข้น ที่วิเคราะห์ได้
ปริมาณเหล็ก (ค่ามาตรฐาน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.06-0.29
ความกระด้าง (ค่ามาตรฐาน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร)	-
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (ค่ามาตรฐาน น้อยกว่า 2.2 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มก.)	-

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่มไม่ส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงด้านสุขภาพของพนักงานที่บริโภค หรือ ถือว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อพนักงานในโรงงาน เนื่องจากปริมาณเหล็ก ความกระด้าง และโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่วิเคราะห์ได้มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

การอภิปรายผล

จากการสำรวจข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นของพนักงานในโรงงาน พบว่า โดยรวมพนักงานมีระดับความพึงพอใจต่อคุณภาพทางด้านกายภาพอยู่ในระดับมาก ทั้งระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อความใส สี กลิ่น รสชาติ และความสะอาด โดยมีความสอดคล้องต่อข้อมูลในด้านพฤติกรรมหลังจากบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นแล้วไม่มีอาการ เช่น ปวดท้อง ท้องเสีย คิดเป็นร้อยละ 99.0 และภายหลังการบริโภคน้ำดื่มพนักงานส่วนใหญ่ไม่มีอาการผื่นที่ลำคอหรือลิ้น คิดเป็นร้อยละ 96.3 อย่างไรก็ตามสำหรับข้อมูลการศึกษาต่อลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า พนักงานมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย เช่น ในเรื่องของสภาพที่ติดตั้งและสภาพแวดล้อมภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น โดยในบางจุดพบปัญหาในเรื่องของสภาพเครื่องภายนอกมีลักษณะบุบ มีสนิม และสิ่งสกปรก เป็นต้น ซึ่งหากสภาพแวดล้อมบริเวณที่ตั้งของเครื่องทำน้ำเย็นไม่สะอาด หรือ อยู่ในสถานที่ที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพอนามัยตามมา โดยสอดคล้องกับการรายงานของ รพีพรรณ และรัตน์ (2561) ที่กล่าวว่า หากการจัดการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น การจัดการน้ำดื่มไม่ได้มาตรฐานจะส่งผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคได้

จากการศึกษาข้อมูลการตรวจสอบการติดตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็น จุดที่พบปัญหามากกว่าจุดอื่น ๆ คือ ตำแหน่งเครื่องทำน้ำเย็นในจุดที่ 3 และจุดที่ 4 โดยพบปัญหาดังนี้ คือ เครื่องทำน้ำเย็นภายนอกมีลักษณะบุบ มีสนิมในส่วนของก๊อมน้ำ มีคราบสิ่งสกปรก และมีตะไคร่น้ำ มีน้ำรั่วไหลภายใต้เครื่องทำน้ำเย็น ตำแหน่งรอบเครื่องทำน้ำเย็นมีการติดตั้งเครื่องที่ไม่เหมาะสม และยังพบมีสิ่งกีดขวางหรือสิ่งสกปรกบริเวณเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งจากการตรวจสอบการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นและสภาพแวดล้อมโดยรอบเครื่องทำน้ำเย็นดังกล่าว พบว่า เป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของพนักงานที่มีต่อลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น โดยจะเห็นได้ว่าพนักงานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย ซึ่งหากสถานประกอบการให้ความสำคัญต่อการจัดการสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมโดยครอบคลุมการจัดหาน้ำสะอาดและสุขอนามัยก็จะก่อให้เกิดผลดีต่อพนักงานในองค์กร สอดคล้องกับการรายงานของ ศาคุณ (2553) ที่รายงานว่าการแผ่กระจายคุณภาพน้ำดื่มไม่ใช่แค่การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ แต่รวมถึงการตรวจสอบสุขาภิบาลแหล่งน้ำดื่มนั้น ๆ ด้วย

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเหล็ก ความกระด้างของน้ำ และโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของเหล็กต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ส่วนความกระด้างของน้ำและโคลิฟอร์มแบคทีเรียไม่พบการปนเปื้อนใด ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ สุพัต และปิยวรรณ (2560) ที่พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของเหล็กในน้ำดื่ม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.02-0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของคณะผู้วิจัยในครั้งนี้ที่พบการปนเปื้อนของเหล็กในน้ำดื่ม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการศึกษาปริมาณความกระด้างของน้ำและโคลิฟอร์มแบคทีเรียซึ่งไม่พบการปนเปื้อนนั่น ถึงแม้ลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็นจะมีลักษณะบุบ มีสนิมบางจุด แต่ทางโรงงานมีการติดตั้งเครื่องกรองก่อนนำเข้าสู่เครื่องทำน้ำเย็น จึงส่งผลทำให้ไม่พบการปนเปื้อนของค่าดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ธนาวัฒน์ และคณะ (2555) ที่ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นในมหาวิทยาลัยทักษิณที่มีการใช้น้ำประปาผ่านระบบเครื่องกรองน้ำและนำเข้าสู่ระบบเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับให้บริการบุคลากร โดยจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มทั้งปริมาณเหล็ก ความกระด้างของน้ำ และโคลิฟอร์มแบคทีเรียผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นน้ำดื่มที่เหมาะสมควรมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานเพื่อให้ผู้ดื่มมีความปลอดภัย อย่างไรก็ตามการตรวจสอบคุณภาพของน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นในครั้งนี้เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารต่าง ๆ ไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากน้ำมีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิต การเข้าถึงน้ำที่สะอาดและปลอดภัย ถือเป็นสิทธิขั้นพื้นฐานของมนุษย์ตามกฎหมายสิทธิมนุษยชนสากล (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2562)

บทสรุป

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของการบริโภคน้ำและสุขภาพของพนักงาน พบว่า ส่วนใหญ่พนักงานเป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 73.3 มีอายุอยู่ในช่วงอายุ 20-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 73.3 ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปี คิดเป็นร้อยละ 97.4 ส่วนการศึกษาข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคน้ำดื่มของกลุ่มตัวอย่างพนักงานในโรงงานดังกล่าว พบว่า ความถี่ในการบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นของพนักงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1-2 ครั้งต่อวัน โดยปริมาณการบริโภคน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1-2 ลิตรต่อวัน ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นมีความเพียงพอต่อการบริโภคของพนักงาน สำหรับความผิดปกติหลังจากบริโภคน้ำดื่มส่วนใหญ่ไม่พบอาการผิดปกติที่รุนแรง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อคุณภาพน้ำดื่มและสภาพเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก แต่ในส่วนของระดับความพึงพอใจของพนักงานต่อลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย เนื่องจากสภาพเครื่องทำน้ำเย็นมีการชำรุด สนิมเกาะ เป็นต้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.35 และสภาพที่ตั้งเครื่องทำน้ำเย็น ความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยเนื่องจากมีน้ำขังตลอดเวลา สกปรก ไม่ได้รับการทำความสะอาดบริเวณที่ตั้ง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจาก จากการตรวจสอบการ

ติดตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบของเครื่องทำน้ำเย็น จุดที่พบปัญหามากกว่าจุดอื่น ๆ คือ ตำแหน่งเครื่องทำน้ำเย็นในจุดที่ 3 และจุดที่ 4 โดยพบว่า เครื่องภายนอกมีลักษณะบุบ และมีสนิมในส่วนของก๊อกร้านมีคราบสิ่งสกปรกและมีตะไคร่น้ำ ซึ่งส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของพนักงานที่มีต่อลักษณะภายนอกของเครื่องทำน้ำเย็น โดยจะเห็นได้ว่าพนักงานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

เมื่อดำเนินการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า ปริมาณของเหล็กมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก อีกทั้งไม่พบการปนเปื้อนของความกระด้างในน้ำดื่ม และไม่พบการปนเปื้อนของปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงถือว่าคุณภาพน้ำดื่มอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อพนักงานในโรงงาน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ในน้ำดื่มทางโรงงานควรเพิ่มการดูแลและบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นสม่ำเสมอ รวมถึงการสุ่มตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำดื่มเป็นประจำเพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของพนักงานผู้บริโภคในระยะยาวตลอดไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ประกอบการและพนักงานในจังหวัดสมุทรปราการทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามตลอดระยะเวลาที่ศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2562). คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. กระทรวงสาธารณสุข. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. นนทบุรี.
- จุไรรัตน์ มหาเทียน. (2563). ความกระด้างของน้ำ. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2563. http://reo06.mnre.go.th/home/index.php?option=com_content&task=view&id=1124&Itemid=264
- ธนาวัดน์ รักกมล, ปุญญพัฒน์ ไชย์เมธ, สมเกียรติยศ วรเดช และชรีวิทย์ รัตนพันธ์. (2553). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการบริโภคน้ำประปาที่ปนเปื้อนโลหะหนัก: กรณีศึกษาระบบผลิตน้ำประปาหมู่บ้านถ้ำตาบลดาน้อย อำเภอบำเพ็ญ จังหวัดพัทลุง. วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา. 8(2): 159-171.
- ธนาวัดน์ รักกมล, ปุญญพัฒน์ ไชย์เมธ, สุธีร์ อินทร์รักษา และวรวรรณนิ ราชสงฆ์. (2555). คุณภาพน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำเย็นในมหาวิทยาลัยทักษิณวิทยาเขตพัทลุง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 15(2): 18-26.
- วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ และสมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์. (2554). การปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดื่มของครัวเรือนชนบท. วารสารวิจัย. มข. 16(8): 1025-1035.
- รพีพรรณ ยงยอด และรัตน์ คำมูลคร. (2561). การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนในเขตพื้นที่การประถมศึกษาสกลนคร เขต 1. วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา. 13(1): 56-68.
- ศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2563). รายงานการตรวจวัดคุณภาพน้ำดื่ม. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2563. <https://dt.mahidol.ac.th/wp-content/uploads/2017/11/3.2-6.pdf>
- ศากุน เอี่ยมศิลา. (2553). การศึกษาการแผ่รังสีคุณภาพน้ำดื่มในโรงเรียน. วารสารสุขภาพอาหารและน้ำ. 1(3): 7-14.
- สุพัต เหมทานนท์ และปิยวรรณ เนื่องมัจฉา. (2560). การศึกษาความเหมาะสมของคุณภาพน้ำประปาในการอุปโภคบริโภคในพื้นที่ตำบลละอาย อำเภอนางิ้ว จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 36(1): 98-111.
- World Health Organization. (1993). Guidelines for drinking water quality recommendation. Vol. 1. Geneva.

Received: September 22, 2021; Revised: November 10, 2021; Accepted: November 15, 2021

ตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด Solar-powered banana oven with hybrid system

ยศพล จุฑะโยธิน¹ สราวุฒิ เพ็ชรทัต¹ วัชรพล อินเกสร¹ ทินกร ชุณหัทธกุล¹ฐิตียา เนตรวงษ์¹ และสุระสิทธิ์ ทรงม้า^{1*}Yospon Jutayothin¹, Sarawut Phetthabtim¹, Watcharapon Inkesorn¹,Thinnagorn Chunhapataragul¹, Titiya Netwong¹ and Surasit Songma^{1*}¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร

*Corresponding Author E-mail Address: surasit_son@dusit.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด และ 2) ประเมินประสิทธิภาพตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด โดยระบบไฮบริดเป็นการใช้หลักการหมุนเวียนอากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบายความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมการทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22 จอแสดงผล LCD 16x2 พัดลมดูดอากาศ 12V หลอดไฟฮาโลเจน 12V และตัวควบคุมการเปิด-ปิด (Relay 4 Module) โดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นจะตรวจหาค่าอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้อบล้าง ส่งผลค่าอุณหภูมิ และความชื้นผ่านบอร์ดไปยังจอแสดงผล LCD พร้อมแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิ และความชื้นแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน Line และสามารถควบคุม Relay ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และบอร์ดจะสั่งการให้ Relay เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของหลอดไฟ และพัดลม ผลการประเมินประสิทธิภาพของตู้อบล้างพบว่าตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดใช้เวลาการตากกล้วยน้อยกว่าวิธีแบบตากธรรมชาติกว่าเฉลี่ย 2-3 วัน การประเมินประสิทธิภาพของตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด (ในห้องปฏิบัติการ) ระบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตู้อบล้าง พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบไฮบริด

Abstract

The purposes of this research were: 1) create a solar-powered banana oven with a hybrid system, and 2) evaluating the performance of solar-powered banana oven with a hybrid system. The hybrid system was to use the principle of circulating hot air from solar energy and dehumidification by natural methods. The equipment used includes the NodeMCU ESP8266 microcontroller was a controller compatible with the DHT22 temperature sensor, 16x2 LCD display, 12V exhaust fan, 12V halogen lamp, and relay 4 Module. Temperature and humidity sensor will check the temperature and humidity value inside the banana dryer and send temperature and humidity values via the board to the LCD display and alert the temperature and humidity values in real time through the LINE application and can control the Relay via the Blynk application and the board will order the Relay was an on-off control the lamp and fan operation. The efficiency result shown that of the banana dryer concluded that the solar banana dryer with a hybrid method takes less time to dry the bananas than the average natural drying method for 2-3 days. Assessment of the efficiency of a solar banana dryer with a hybrid system in the laboratory. The system can operate according to the specified conditions. It was set up to evaluate the effectiveness.

Keywords: Banana oven, Solar-powered, Hybrid system

บทนำ

วิธีการตากกล้วยตากแบบภูมิปัญญาชาวบ้านนั้น มีวิธีการทำโดยนำกล้วยมาผ่าครึ่งและนำไปตากแดดเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าให้สามารถเก็บไว้รับประทานได้นานขึ้นเพื่อรักษาคุณค่าสารอาหารในกล้วยให้คงอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่พบปัญหาการไม่สามารถควบคุมคุณภาพความแห้งของผลผลิตได้ตามต้องการ เพราะความร้อนจากแสงอาทิตย์หรืออุณหภูมิของแต่ละช่วงเวลาของวันไม่สม่ำเสมอ และแต่ละฤดูกาลนั้นมีสภาพอากาศไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตากกล้วยในช่วงฤดูฝนนั้นเสี่ยงต่อสภาพอากาศที่แปรปรวน บางช่วงสภาพอากาศมีเมฆครึ้ม หรือมีแสงแดดไม่เพียงพอต่ออุณหภูมิที่กล้วยต้องการทำให้ไม่สามารถควบคุมความร้อนจากแสงอาทิตย์ รวมถึงอุณหภูมิและความชื้นในอากาศได้ โดย กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2559) กล่าวว่า ความเหมาะสมของอุณหภูมิที่ใช้สำหรับตากกล้วยอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการใช้ตากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพื่อให้กล้วยลดความชื้นให้เหลือตามที่ต้องการ มีการบ่มในขั้นตอนสุดท้ายก่อนนำสู่ตลาด ซึ่งหากใช้วิธีตากกล้วยด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ อาจไม่สามารถควบคุมคุณภาพ เวลา และปริมาณผลผลิตได้ เป็นผลทำให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตไม่เป็นไปตามต้องการ ชาวบ้านยังคงทำกล้วยตากแบบดั้งเดิมที่ตากกับไม้ไผ่ วิธีดังกล่าวถึงแม้จะทำได้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ผลผลิตที่ได้นั้นมักเสียหายจากการเปียกฝน และถูกทำลายด้วยนกหรือแมลงต่าง ๆ อีกทั้งกล้วยยังถูกปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกจากสภาพแวดล้อมได้ง่าย

ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทำโรงอบกล้วยแบบโดม แต่มีต้นทุนในการสร้างสูง ใช้พื้นที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างมาก ราคาประมาณโดมละ 2 แสน ถึง 1 ล้านบาท จึงไม่เหมาะสำหรับชาวบ้านที่ทำกล้วยแบบครัวเรือนเพราะใช้ต้นทุนในการสร้างสูง โดย เสริม และบุศราภรณ์ (2559) ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในชุมชนกล้วยตากอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก โดยนำเอาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ แต่ยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีในการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ไม่สามารถปรับค่าอุณหภูมิ ความชื้น และควบคุมอุณหภูมิความร้อนของแสงที่จะทำให้กล้วยตากสุกได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด โดยระบบไฮบริด คือ การใช้หลักการหมุนเวียนอากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบายความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ให้ทำงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ และสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น รายงานผลต่าง ๆ ได้ผ่านอุปกรณ์มือถือที่เชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตได้ด้วย ซึ่งจะช่วยให้การตากกล้วยตากสะดวก รวดเร็ว และควบคุมคุณภาพได้ดีขึ้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ เพื่อสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด และประเมินประสิทธิภาพตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด ผลจากการวิจัยจะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกล้วยตาก ลดต้นทุนการผลิตการสร้างตู้อบให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน

1.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการพัฒนา

1.1.1 แผงโซลาร์เซลล์ 20 วัตต์ MODEL: watt 12v poly-crystalline ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงหรือโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้า

1.1.2 โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ใช้รับค่าแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (Line) และแอปพลิเคชันบลิง (Blynk)

1.1.3 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือสูงกว่านี้ คือ หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) intel CORE และหน่วยความจำหลักขนาด 8 GB ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows 10 ชนิด 64 bit ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม

1.1.4 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (DHT22) ใช้ตรวจวัดค่าอุณหภูมิความร้อนและความชื้น

1.1.5 แบตเตอรี่รถยนต์ (GS รุ่น 110D26L-MF 12v 65Ah) ใช้สำหรับกักเก็บพลังงาน

1.1.6 บอร์ด (NodeMCU V2 ESP8266) ใช้สำหรับการเขียนโค้ดคำสั่งไปยังตัวอุปกรณ์

1.1.7 จอแสดงผล (LCD 16x12) ใช้แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนและความชื้นผ่านหน้าจอ

1.1.8 บอร์ดรีเลย์ (Relay Module 4 Channels) ใช้ควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์

1.1.9 บอร์ดทดลอง (Breadboard 400 holes) ใช้ทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.1.10 สายไฟจัมเปอร์ (Jumper) ใช้เพื่อเชื่อมต่อส่วนประกอบของบอร์ดทดลอง (Breadboard) หรือต้นแบบหรือวงจรทดสอบอื่น ๆ ภายในหรือกับอุปกรณ์หรือส่วนประกอบอื่น ๆ

1.1.11 สายยูเอสบี (USB) ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก

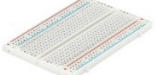
1.1.12 พัดลมดูดอากาศ (Sunon) ใช้สำหรับระบายความชื้น

1.1.13 โมดูลเรกูลเตอร์ (Step Down DC-to-DC) ใช้สำหรับแปลงไฟ

ตัวอย่างฮาร์ดแวร์เพื่อใช้ในการพัฒนานำเสนอดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ที่เลือกใช้ในการทำฮาร์ดแวร์ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

รูปอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์	การทำงาน
	บอร์ด NodeMCU V2 ESP8266	ควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ที่ทำงานร่วมกัน

รูปอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์	การทำงาน
	Relay Module 4 Channels	ทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์
	DHT22 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น	ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น
	จอแสดงผล LCD 16x12	แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น
	บอร์ดทดลอง Breadboard	จ่ายกระแสไฟฟ้า
	สายแพร์ Pair Cable	เชื่อมต่อไฟเข้ากับตัวบอร์ด
	สาย Micro USB	เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก
	พัดลมดูดอากาศ	ระบายความชื้น
	โมดูลเรกูเลเตอร์ DC-to-DC Step Down	แปลงระดับแรงดันไฟฟ้า
	หลอดไฟฮาโลเจน	ให้ความร้อน
	แบตเตอรี่รถยนต์ GS รุ่น 110D26L-MF	ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	แผงโซลาร์เซลล์	เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้
	คอนโทรลเลอร์จเจอร์	ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่

1.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา

- 1.2.1 โปรแกรม Arduino IDE ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ NodeMCU ESP8266
- 1.2.2 แอปพลิเคชันบลิง (Blynk) ใช้ในการเช็คอุณหภูมิและความชื้นรวมถึงควบคุมรีเลย์
- 1.2.3 แอปพลิเคชันไลน์ (LINE) ใช้ในการแจ้งเตือนอุณหภูมิและความชื้นแบบเรียลไทม์

2. ขอบเขตการทำงานของระบบ

หลักการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด จะใช้ "หลักการไหลเวียนอากาศร้อนเพื่อระบายความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ" กล่าวคือ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกพื้นโบลูมิเนียมสีดำซึ่งอยู่ภายในตู้จะทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนสะสมไว้ทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส อากาศร้อนในตู้อบจะถ่ายเทความชื้นที่มีอยู่ใน

อาหารให้ระเหยออกมาเกิดการลอยตัวสูงขึ้นออกไปทางช่องลมด้านบนของตู้อบแห้งอากาศเย็นที่อยู่ภายนอกจะไหลเข้าทางช่องลมที่อยู่ส่วนล่างทางด้านหน้าของตู้อบแห้งแทนที่อากาศร้อนเป็นการถ่ายเทความชื้นให้กับอาหารแบบธรรมชาติตลอดเวลา (กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี, 2564) โดยตู้อบกล้วยมีความสามารถดังนี้

2.1 รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยผ่านแผงโซลาร์เซลล์ และแปลงมาเป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ภายในตู้อบกล้วย พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

2.2 สามารถแสดงค่าอุณหภูมิความร้อน และความชื้นภายในตู้ได้ผ่านจอ LCD หรือพลังงานความร้อน ผ่านแอปพลิเคชันไลน์

2.3 สามารถควบคุมความร้อนและความชื้นได้ผ่านแอปพลิเคชันบลู๊

2.4 ระบายความชื้นภายในตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดด้วยพัดลมระบายอากาศ

2.5 สามารถให้ความร้อนภายในตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบไฮบริดได้ด้วยหลอดไฟให้ความร้อน

2.6 ตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนและความชื้นภายในตู้อบ และรายงานผลผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่

2.7 แจ้งเตือนอุณหภูมิแบบเรียลไทม์ (Real time) ผ่านแอปพลิเคชันไลน์

3. ขั้นตอนการสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทำกล้วยตาก การทำตู้อบกล้วย และอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับตู้อบกล้วยที่จะสร้างขึ้น

3.1.2 วิเคราะห์ ออกแบบการทำงานของตู้อบกล้วย และระบบการทำงานของซอฟต์แวร์

3.1.3 สร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดตามที่ได้ออกแบบ

3.1.4 ทดสอบการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดที่สร้างเสร็จด้านตัวฮาร์ดแวร์

3.1.5 สร้างซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด การรายงานผลค่าอุณหภูมิ และความชื้นแบบเรียลไทม์

3.1.6 เชื่อมต่อตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดกับซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้น

3.1.7 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

3.2 การออกแบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

การออกแบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด คณะผู้วิจัย แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 การออกแบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

คณะผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.2.1.1 แผ่นอลูมิเนียม มีความแข็งแรง ทนทานต่อการเกิดสนิม และสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ดีถึง 99%

3.2.1.2 แผ่นอะคริลิก มีความทนทานแข็งแรง รับแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจก ทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส และแสงสว่างสามารถส่องผ่านได้มากถึง 92%

3.2.1.3 ตะแกรงสแตนเลส มีความคงทน ไม่กรอบ ไม่แตก ไม่ขึ้นสนิม ทำความสะอาดง่าย สามารถทนความร้อนได้ดีกว่าเหล็ก ไม่ละลาย และไม่แปรสภาพเมื่อเจอความร้อน น้ำหนักเบาจึงทำการเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย

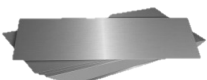
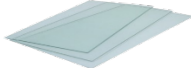
ทั้งนี้คณะผู้วิจัยออกแบบ และสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด จากวัสดุอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

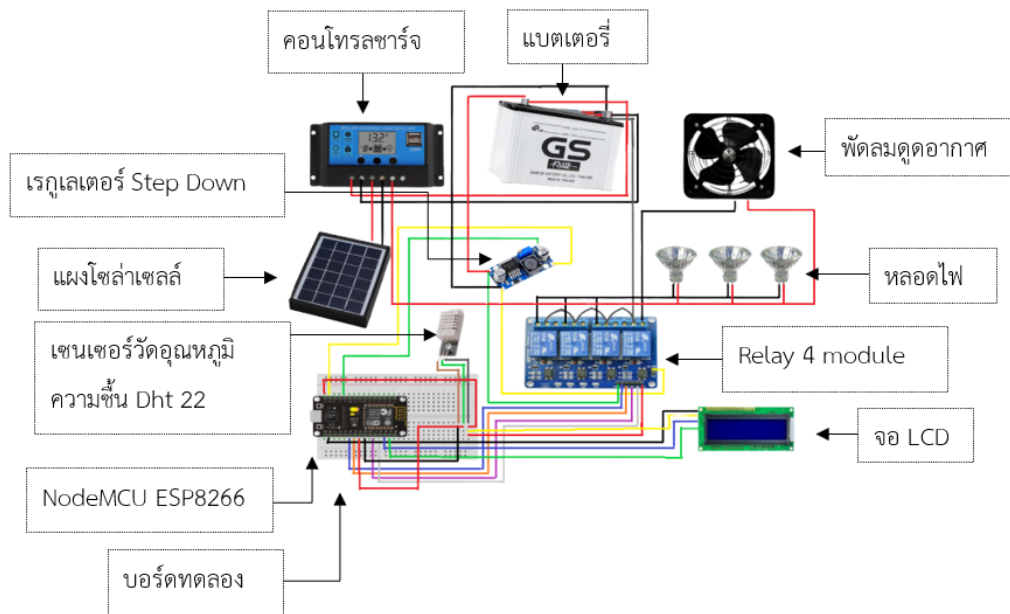
3.2.2 การออกแบบแบบฮาร์ดแวร์ของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอุปกรณ์อินเทอร์เน็ทของทุกสรรพสิ่ง และชุดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และราคา รายละเอียดอุปกรณ์และเซ็นเซอร์แสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ตารางที่ 2 เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการการสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

รูปอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์	การทำงาน
	แผ่นอลูมิเนียม	ใช้ในการประกอบตู้
	ตะแกรง	ใช้ในการตากกล้วย
	แผ่นอะคริลิก	ใช้เป็นผาต้านหน้าและหลังคา
	อลูมิเนียมฉาก	ใช้ในการยึดตู้ให้แข็งแรง
	หูจับสแตนเลส	ติดไว้สำหรับเคลื่อนย้ายตู้
	น็อต	ใช้ยึดตัวตู้
	ซิลิโคน	ใช้ปิดรูและใช้ยึดกับอลูมิเนียมฉากกับผาตู้

3.2.3 การเชื่อมต่อวงจรการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

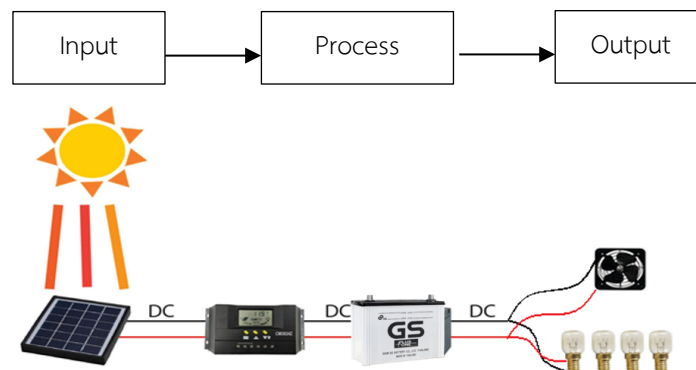
ขั้นตอนหลังจากสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดแล้ว จะต้องเชื่อมต่อวงจรการทำงานของอุปกรณ์ และเซ็นเซอร์แต่ละตัว คณะผู้วิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อวงจรการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

4. การสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด ตามที่ได้ออกแบบไว้ รูปที่ 3 แสดงให้เห็นแผนภาพการทำงานของระบบ



รูปที่ 3 แผนการทำงานของระบบ

5. การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

การประเมินประสิทธิภาพของระบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด ในพื้นที่ปฏิบัติการโดยการวัดประสิทธิภาพของตู้อบกล้วยด้วยการประเมินจากสถานการณ์จริง ออกเป็น 2 ด้าน คือ การวัดคุณภาพของกล้วยตาก และการวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบในตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

5.1 การวัดคุณภาพของกล้วยตาก

คณะผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ของกล้วยตากขึ้นได้โดยมีการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ และศึกษาจากเอกสาร ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินของ บุญส่ง และคณะ (2558) กำหนดคุณภาพกล้วยตากเป็นเกรด A, B และ C ตามลำดับคุณภาพจากมากไปน้อย รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หลักเกณฑ์การวัดคุณภาพของกล้วยตาก

ตัวชี้วัด	รายละเอียด	คุณภาพของกล้วย		
		A	B	C
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติ	เข้ม	กลาง	อ่อน
ผิวสัมผัส	ต้องนุ่ม มีความหยุ่นตัว ไม่แข็งกระด้าง	นุ่ม	ปานกลาง	แข็ง
กลิ่น	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์	หอม	ไม่มีกลิ่น	เหม็น

คณะผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขสำหรับการวัดคุณภาพกล้วยตากของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบผลได้ระหว่างการทำกล้วยตากแบบวิธีธรรมชาติ โดยต้องกำหนดให้เหมือนกัน คือ ขนาดของกล้วยตาก ปริมาณของกล้วยที่ใช้ การจัดวาง วัสดุที่ใช้วางกล้วย สถานที่ วันเวลา และระยะเวลาที่ใช้ตาก

5.2 การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบในตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

คณะผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบในตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด แบบควบคุมสภาพแวดล้อม จำนวน 15 ครั้ง เพื่อทดสอบการทำงานของระบบว่าทำได้ถูกต้องตามเงื่อนไขการทำงานของระบบหรือไม่ ซึ่งเงื่อนไขที่วัด คือ เมื่ออุณหภูมิ น้อยกว่า 45 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการเปิดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนภายในตู้ และเมื่อความชื้น มากกว่า 30% ระบบจะทำการเปิดพัดลมเพื่อระบายอากาศในตู้อบกล้วย

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

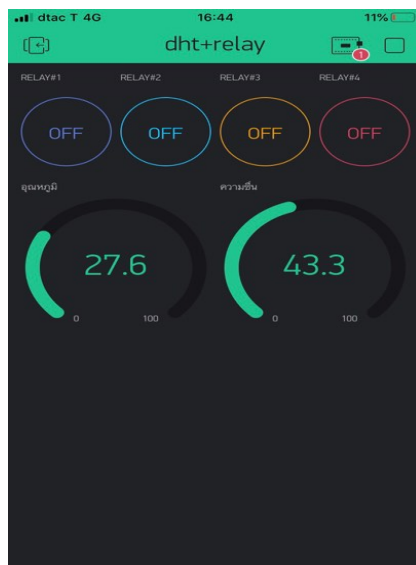
ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด เป็นการนำเอาอุปกรณ์หรือระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เข้ามาใช้งาน ทำให้สามารถรายงานอุณหภูมิ ความชื้น และอุณหภูมิความร้อนผ่านอุปกรณ์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบาย ผู้ใช้งานเพียงนำกล้วยตากที่หั่นไว้เอามาใส่ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด จากนั้นตู้อบจะทำงานโดยกลางวันจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติที่จะทำให้กล้วยสุก กรณีอุณหภูมิมีความร้อนไม่เพียงพอตามที่กำหนดไว้ แผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งกับตู้จะนำเอาพลังงานที่เก็บกักไว้ในแบตเตอรี่นำเอามาใช้โดยผ่านหลอดไฟที่เราติดตั้งในตู้เพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิภายในตู้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกล้วยตาก เมื่ออุณหภูมิพอเหมาะกล้วยที่ใส่ไว้ก็จะสุก มีสีที่น่ารับประทาน ทั้งนี้สามารถเช็คอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบกล้วยโดยใช้แอปพลิเคชันบลู๊ตูล์และแจ้งเตือนอุณหภูมิแบบเรียลไทม์ ด้วยแอปพลิเคชันไลน์ รายละเอียดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดที่สร้างเสร็จ

2. ผลการควบคุมและรายงานผลการทำงานของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับพบอุณหภูมิ ความชื้น ภายในตู้ สามารถแจ้งผลแบบเรียลไทม์ด้วยแอปพลิเคชันไลน์ และสามารถควบคุมการทำงานได้ผ่านการใช้แอปพลิเคชันบลู๊ตธู แสดงตัวอย่างภาพการควบคุม และรายงานผลผ่านไลน์ ได้ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5 หน้าแอปพลิเคชันบลู๊ตธูควบคุมตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด



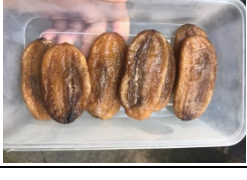
รูปที่ 6 หน้าแอปพลิเคชันไลน์ที่ได้รับการแจ้งเตือนจากตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

3. ผลการวัดคุณภาพของกล้วยตากของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

คณะผู้วิจัยดำเนินการทำกล้วยตากด้วยวิธีทางธรรมชาติ และผ่านตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด โดยกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ให้เหมือนกัน โดยทำการทดสอบทำกล้วยตาก จำนวน 2 ครั้ง เพื่อเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยตากที่ได้ ผลการวิจัยพบว่า การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการตากแบบธรรมชาติ และการตากแบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด จำนวนทั้ง 2 ครั้ง พบว่า กล้วยตากที่ได้จากตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดใช้เวลาในการตากน้อยกว่าเฉลี่ย 2-3 วัน และคุณภาพของกล้วยอยู่ในเกณฑ์คุณภาพระดับ A ตามหลักเกณฑ์การประเมินคุณภาพกล้วยที่กำหนด ตัวอย่างกล้วยตาก ครั้งที่ 2 แสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพกล้วยตากระหว่างการตากด้วยวิธีทางธรรมชาติ และแบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด ครั้งที่ 2

วันที่	แบบวิธีทางธรรมชาติ		แบบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด	
	ก่อนตาก	หลังตาก	ก่อนตาก	หลังตาก
1				
2				
3				

วันที่	แบบวิถีทางธรรมชาติ		แบบตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด	
	ก่อนตาก	หลังตาก	ก่อนตาก	หลังตาก
4				
5			-	-
6			-	-
7			-	-

4. ผลการวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบในตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบการทำงานของระบบในตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดแบบควบคุมสภาพแวดล้อม จำนวน 15 ครั้ง พบว่า ตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด มีประสิทธิภาพในการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ทั้งหมด 15 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 รายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบในตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด

ครั้งที่	อุณหภูมิ < 45°C เปิดหลอดไฟ	ความชื้น > 30% เปิดพัดลม	หลอดไฟ		พัดลม		ผลลัพธ์
			ทำงาน	ไม่ทำงาน	ทำงาน	ไม่ทำงาน	
1	41.80°C	36.80%	✓	-	✓	-	✓
2	40.00°C	36.00%	✓	-	✓	-	✓
3	41.10°C	37.30%	✓	-	✓	-	✓
4	40.90°C	36.90%	✓	-	✓	-	✓
5	40.50°C	36.30%	✓	-	✓	-	✓
6	40.00°C	36.80%	✓	-	✓	-	✓
7	41.30°C	36.00%	✓	-	✓	-	✓
8	40.70°C	37.70%	✓	-	✓	-	✓
9	40.40°C	38.80%	✓	-	✓	-	✓
10	39.90°C	39.40%	✓	-	✓	-	✓

ครั้งที่	อุณหภูมิ < 45°C เปิดหลอดไฟ	ความชื้น > 30% เปิดพัดลม	หลอดไฟ		พัดลม		ผลลัพธ์
			ทำงาน	ไม่ทำงาน	ทำงาน	ไม่ทำงาน	
11	40.20°C	38.70%	✓	-	✓	-	✓
12	40.30°C	37.10%	✓	-	✓	-	✓
13	39.00°C	39.40%	✓	-	✓	-	✓
14	40.20°C	40.10%	✓	-	✓	-	✓
15	40.00°C	39.90%	✓	-	✓	-	✓

การอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้ เพื่อสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมการทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22 จอแสดงผล LCD 16x2 พัดลมดูดอากาศ 12V หลอดไฟฮาโลเจน 12V และ ตัวควบคุมการเปิด-ปิด (Relay 4 Module) โดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น จะตรวจหาค่าอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้อบกล้วย และส่งผลค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านบอร์ดไปยังจอแสดงผล LCD และแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิและความชื้นแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และสามารถควบคุม Relay ผ่านแอปพลิเคชันลิงก์และบอร์ดจะสั่งการให้ Relay เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของหลอดไฟและพัดลม ผลการประเมินประสิทธิภาพของตู้อบกล้วย พบว่าตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดใช้เวลาการตากกล้วยน้อยกว่าการตากแบบธรรมชาติเฉลี่ย 2-3 วัน การประเมินประสิทธิภาพของตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด (ในห้องปฏิบัติการ) ระบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2559) ที่กล่าวว่าความเหมาะสมของอุณหภูมิที่ใช้สำหรับตากกล้วยอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งระยะเวลาในการใช้ตากหลายวัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เพื่อให้กล้วยลดความชื้นให้เหลือตามที่ต้องการ ซึ่งหากใช้วิธีตากกล้วยด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์อาจไม่สามารถควบคุมคุณภาพ เวลาและปริมาณผลผลิตได้ เป็นผลทำให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตไม่เป็นไปตามต้องการ จึงควรมีการหาวิธีการในการควบคุมคุณภาพ โดยตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดที่พัฒนาขึ้น เมื่อแสงแดดน้อยสามารถให้พลังงานความร้อนผ่านหลอดไฟให้พลังงานความร้อนแทน และมีพัดลมดูดอากาศเมื่อความชื้นภายในตู้มีมากเกินไปที่เรากำหนดไว้ สอดคล้องกับ ไพโรจน์ (2551) ที่กล่าวว่าการทำงานเครื่องอบแห้งกล้วยตากโดยใช้ลมร้อนจากแผงสะสมความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะช่วยอำนวยความสะดวกและควบคุมคุณภาพของผลผลิตได้ดี

บทสรุป

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด และ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมการทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22 จอแสดงผล LCD 16x2 พัดลมดูดอากาศ 12V หลอดไฟฮาโลเจน 12V และ ตัวควบคุมการเปิด-ปิด (Relay 4 Module) โดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น จะตรวจหาค่าอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้อบกล้วย และส่งผลค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านบอร์ดไปยังจอแสดงผล LCD และแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิและความชื้นแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และสามารถควบคุม Relay ผ่านแอปพลิเคชันลิงก์ และบอร์ดจะสั่งการให้ Relay เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของหลอดไฟและพัดลม ผลการประเมินประสิทธิภาพของตู้อบกล้วย พบว่า ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดใช้เวลาการตากกล้วยน้อยกว่าการตากแบบธรรมชาติเฉลี่ย 2-3 วัน

การประเมินประสิทธิภาพของตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด (ในห้องปฏิบัติการ) ระบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อค้นพบจากงานวิจัยนี้จะช่วยให้ผู้สนใจทำถั่วตาก หรือกลุ่มผู้ประกอบการที่ทำถั่วตากขาย มีตู้อบล้างพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริดเป็นทางเลือก ซึ่งจะสามารถช่วยควบคุมคุณภาพของถั่วตากได้ และทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการตากถั่วสั้นลง สามารถใช้ได้ในช่วงฤดูฝนที่มีสภาพอากาศแปรปรวนได้ดี อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นเพียงเครื่องต้นแบบขนาดเล็ก หากนำไปใช้งานจริงที่จะมีการขยายขนาดใหญ่ขึ้นจำเป็นต้องมีการเพิ่มจำนวนหลอดไฟให้ความร้อน พัฒนาระบายอากาศ แผงโซลาร์เซลล์ และอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของตู้อบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2559). ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. ค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2564. <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/139-2017-07-04-04-00-08?showall=&start=8>.
- กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี. (2564). คู่มือการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และการเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ.
- บุญส่ง แสงอ่อน, สุชาติ แยมเม่น, พิระศักดิ์ ฉายประสาท, ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์, พิชรี สุริยะ และพุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม. (2558). การวิจัยและพัฒนาการผลิตถั่วตากเชิงพาณิชย์. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- ไพโรจน์ จันทรแก้ว. (2551). วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งถั่วด้วยน้ำว่าแบบใช้ลมร้อนจากแผงสะสมความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อน. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก. ตาก.
- เสริม จันทรฉาย และบุศราภรณ์ มหาโยธี. (2559). การพัฒนาการผลิตถั่วตากในชุมชนถั่วตากอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร. 3(6): 310-322.

Received: September 22, 2021; Revised: November 27, 2021; Accepted: November 27, 2021

ผลของพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลต่อปริมาณฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก
และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง

Effect of pasteurization and sugar on phenolic content, ascorbic acid
and antioxidant activity of Ya-Nang (*Tiliacora triandra* Diels) juice

อริสรา โพธิ์สนาม^{1*}, จิราวรรณ ทองมหา¹, ดาราวรรณ อุทาวงค์¹, พัชรารภณ์ ถิ่นจันทร์² และกุลวดี แก้วก่า¹
Arissara Phosanam^{1*}, Jirawan Thongmaha¹, Darawan Utawong¹, Patcharaporn Tinchan²
and Kunwadee Kaewka¹

¹คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

²คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

*Corresponding Author E-mail Address: arissara.p@ku.th

บทคัดย่อ

ย่านางเป็นผักพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลากหลาย ปัจจุบันมีการนำใบย่านางมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ซึ่งการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมน้ำตาล การพาสเจอร์ไรส์ และการเติมน้ำตาลร่วมกับการพาสเจอร์ไรส์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำใบย่านางคั้นสด การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ตัวอย่างการทดลอง (Treatment) ได้แก่ น้ำใบย่านางที่ไม่เติมน้ำตาลและไม่ผ่านความร้อน (YC) น้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและไม่ผ่านความร้อน (YS) น้ำใบย่านางที่ไม่เติมน้ำตาลและผ่านความร้อน (YP) และน้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและผ่านความร้อน (YSP) ผลการทดลองพบว่า การพาสเจอร์ไรส์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและกายภาพของน้ำใบย่านาง โดยน้ำใบย่านางที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลง เมื่อพิจารณาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (ฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก) ในน้ำใบย่านางที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ทั้งที่ไม่เติมน้ำตาลและเติมน้ำตาล (YC และ YS) มีปริมาณเริ่มต้นใกล้เคียงกันและหลังการพาสเจอร์ไรส์น้ำใบย่านางมีปริมาณฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกลดลง นอกจากนี้ น้ำใบย่านางที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ทั้งที่ไม่เติมน้ำตาลและเติมน้ำตาลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง โดยมีค่าลดลงจาก 0.47% (YC) และ 0.79% (YS) เป็น 0.33% (YP) และ 0.67% (YSP) ตามลำดับ โดยสรุปการเติมน้ำตาลและการพาสเจอร์ไรส์ส่งผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง

คำสำคัญ: น้ำใบย่านาง พาสเจอร์ไรส์ กรดแอสคอร์บิก ฟีนอลิก กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Ya-Nang is a local plant that has many nutritional values such as protein, dietary fiber, vitamins, and minerals. Presently, Ya-Nang leaves are processed into healthy or functional drinks. Therefore, this research aimed to study the effect of sugar added and pasteurization on bioactive compounds and antioxidant activities by comparing with fresh Ya-Nang leaf juice. The experiments were divided into 4 experimental samples (treatments) which were Ya-Nang juice without sugar added and no pasteurized (YC), Ya-Nang juice with sugar added and no pasteurized (YS), Ya-Nang juice without sugar added and pasteurized (YP), and Ya-Nang juice with sugar added and pasteurized (YSP). The result revealed that pasteurization affects the chemical and physical changes of the Ya-Nang juice. Pasteurized Ya-Nang juice decreased in lightness value (L^*) and pH. When considering bioactive compounds (total phenolics and ascorbic acid) in both unpasteurized of Ya-Nang juice without and with sugar (YC and YS) had similar initial content ($p>0.05$). After pasteurization of Ya-Nang juice, the content of phenolics and ascorbic acid was reduced. In addition, the pasteurized Ya-Nang juice, both without and with sugar reduced antioxidant capacity, by the values decreased from 0.47% (YC) and 0.79% (YS) to 0.33% (YP) and 0.67% (YSP), respectively. From the results of this research, it was concluded that the sugar added or pasteurization, and sugar added combined with pasteurization affects the content of bioactive compounds and antioxidant activity of Ya-Nang juice.

Keywords: Ya-Nang leave juice, Pasteurization, Ascorbic acid, Phenolic, Antioxidant activity

บทนำ

ย่านาง เป็นพืชพวกไม้เถาเลื้อยพาดพันต้นไม้อื่น มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tiliacora triandra* (Colebr.) Diels. อยู่ในวงศ์ Menispermaceae เป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนไม่ว่าจะเป็น ราก เถา แต่ส่วนที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด คือ ใบ ย่านางสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น น้ำคั้นจากใบใส่ในแกงหน่อไม้ แกงขี้เหล็ก ซุปหน่อไม้ ทำให้อาหารมีรสชาติดีและยังช่วยให้ผู้บริโภคไม่ปวดข้อหรือปวดเข่าจากกรดยูริกที่มีในหน่อไม้ (นิตยา, ม.ป.ป.). จากคุณค่าทางโภชนาการ คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และประโยชน์ที่หลากหลายของของใบย่านางดังกล่าวข้างต้น ย่านางจึงได้รับความสนใจในการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมากทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ อาทิเช่น การศึกษาวิจัยวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากใบย่านางและหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบย่านาง (ศรีรินทร์ และคณะ, 2557) การพัฒนาชาสมุนไพรย่านางและสมบัติด้านเคมี-กายภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (จิรภัทร และคณะ, 2558) การใช้ใบย่านางเพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการผลิตหน่อไม้อบแห้ง (ปานฤทัย และคณะ, 2562) และการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกระบวนการเอนแคปซูเลชันใบย่านาง (Singthong et al., 2014) เป็นต้น

ปัจจุบันผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัจจุบันมีการเกิดโรคที่สัมพันธ์กับการบริโภคอาหารมากขึ้น เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคไต ไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดสูง เป็นต้น ดังนั้น ผู้บริโภคจึงหันมาบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และเสริมหน้าที่การทำงานบางอย่างในร่างกาย (Functional food หรือ Healthy food) เช่น อาหารและเครื่องดื่มที่มีองค์ประกอบของวิตามิน เกลือแร่และสารที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เนื่องจากอนุมูลอิสระ (Free radical) เป็นสารที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชันกับโมเลกุลชีวภาพที่เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ และอนุมูลอิสระนับเป็นอีกสาเหตุสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคและความผิดปกติต่าง ๆ ในมนุษย์ เช่น โรคเมเร็ง ภาวะความแก่ชรา โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความจำเสื่อม โรคข้ออักเสบ โรคภูมิแพ้ โรคความดันโลหิต โรคเหงือก โรคเกี่ยวกับสายตา เกิดความผิดปกติของปอด และระบบประสาท เป็นต้น (บุหริน, 2556; ศรมน, 2559) สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ดังนั้นอาหารและเครื่องดื่มที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระจึงได้รับการสนใจและเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกในการบริโภคสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนที่มีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์จากธรรมชาติและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่หลากหลาย เช่น เครื่องดื่มชาวมอลต์จากข้าวพันธุรัฐเชอร์ (สุนัน และจตุรงค์, 2563) น้ำกีวีสดและน้ำกีวี (Khiralla and Ali, 2020) น้ำทับทิม (Vegara et al., 2012) น้ำเคปทูลเบอร์รี่ (Rabie et al., 2015) น้ำส้ม (Benattouche et al., 2020) ซึ่งเครื่องดื่มที่ผ่านกระบวนการกระบวนการพาสเจอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน Nwozo et al. (2015) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผักใบในพื้นที่เขตอบอุ่น (Tropical leafy vegetables) 7 ชนิด พบว่าการให้ความร้อนที่ระยะเวลาสั้น (5 นาที ที่ 80 องศาเซลเซียส) ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง ส่วนปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น ส่วนผลการให้ความร้อนในระยะเวลาสั้น (20 นาที ที่ 80 องศาเซลเซียส) ส่งผลต่อการทำลายสารพฤกษเคมีในผัก นอกจากนี้ Laslo et al. (2018) รายงานว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำแอปเปิลนานขึ้นส่งผลต่อปริมาณวิตามินซีลดลงมากขึ้น และปริมาณฟีนอลิกมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ แต่ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ต่างกันไม่ทำให้ปริมาณฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากกระแสการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เครื่องดื่มจากผักและผลไม้ได้รับความนิยมมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากผักและผลไม้บางชนิดอาจจะมีการเติมน้ำตาลเพื่อให้ได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติหวาน ดื่มง่ายขึ้น และเพิ่มความต้องการของผู้บริโภค เช่น น้ำใบบัวบก น้ำฟ้าทะลายโจร น้ำใบเตย น้ำอัญชัน เครื่องดื่มชาเขียว และน้ำใบย่านาง เป็นต้น น้ำผักและผลไม้คั้นสดสามารถเสื่อมเสียได้ง่ายเนื่องจากอาจจะมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์สามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำผักและผลไม้ได้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบเอกสารการวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีรายงานการศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มน้ำใบย่านาง ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมน้ำตาลการพาสเจอร์ไรส์ และการเติมน้ำตาลร่วมกับการพาสเจอร์ไรส์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำใบย่านางคั้นสด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมน้ำใบย่านาง

เก็บใบย่านางจากหมู่บ้านในพื้นที่ใกล้เคียงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร โดยคัดเลือกเก็บเฉพาะใบที่แก่สีเขียวเข้มเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง หลังจากเก็บใบย่านางเสร็จ นำไปล้างทำความสะอาดทันทีที่อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร จากนั้นพักไว้ให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงนาน 20 นาที แล้วนำใบย่านางไปปั่นผสมกับน้ำโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตัวอย่างการทดลอง (Treatment) ดังนี้ ตัวอย่างที่ 1 ใบย่านางปั่นผสมกับน้ำโดยใช้อัตราส่วน 1:10 (w/v) ซึ่งอัตราส่วน 1:10 (w/v) ที่เลือกใช้มาจากการทดลองเบื้องต้น (Pre-Lab) ปั่นผสมโดยใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (Philip 600W, ประเทศไทย) ที่ระดับความเร็วสูงสุด

นาน 5 นาที แยกกากไยอย่างนางโดยกรองผ่านผ้าขาวบางจะได้น้ำไยอย่างนางที่ใช้ในการทดลอง (YC) ตัวอย่างที่ 2 นำน้ำไยอย่างนางที่ได้ตามวิธีการในการเตรียมตัวอย่างที่ 1 มาเติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 คนผสมจนกระทั่งน้ำตาลละลายนานประมาณ 5 นาที (YS) ตัวอย่างที่ 3 นำน้ำไยอย่างนางจากการเตรียมตามตัวอย่างที่ 1 ไปต้มให้ความร้อนที่ระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิและเวลาที่อยู่ในเกณฑ์ของการพาสเจอร์ไรส์แบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High Temperature Short Time, HTST) หลังจากครบเวลาที่กำหนดทำให้เย็นโดยการหล่อในน้ำเย็น จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 25 องศาเซลเซียส (YP) และตัวอย่างที่ 4 นำตัวอย่างน้ำไยอย่างนางที่ผสมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างตามตัวอย่างที่ 2 ไปให้ความร้อนตามวิธีการเช่นเดียวกับการให้ความร้อนในตัวอย่างที่ 3 (YSP) จากนั้นนำน้ำไยอย่างนางไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ต่อไป

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำน้ำไยอย่างนางปริมาตร 5 มิลลิลิตร มาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter รุ่น Metrohm 744, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

การวัดค่าสี

นำน้ำไยอย่างนาง 10 มิลลิลิตร มาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunterlab รุ่น Miniscan XE Plus, ประเทศสหรัฐอเมริกา) บันทึกค่า L^* , a^* และ b^* โดย L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness) โดย $L^* = 0$ สีที่ได้จะมีดำ $L^* = 100$ สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว a^* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว (a^* เป็น + วัดภูมิสีแดง a^* เป็น - วัดภูมิสีเขียว) b^* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน (b^* เป็น + วัดภูมิสีเหลือง b^* เป็น - วัดภูมิสีน้ำเงิน) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีดีพีพีเอช (DPPH)

วิธีดีพีพีเอช (1, 1-Diphenyl-2- Picrylhydrazyl radical scavenging assay) (DPPH) โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Brand-Williams et al. (1995) โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ คือ อนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH[•], 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วง เมื่อ DPPH[•] ทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันที่ละลายด้วยเอทานอลจะทำให้สีม่วงจางลงจนเป็นสีเหลือง เตรียมสารละลายดีพีพีเอช (Stock solution) โดยชั่งสารดีพีพีเอช 24 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอลปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมตัวอย่างสารละลายดีพีพีเอชที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ โดยการนำสารละลายดีพีพีเอช (Stock solution) มา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมเอทานอล 45 มิลลิลิตร การวิเคราะห์ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำไยอย่างนางโดยนำน้ำไยอย่างนาง 1 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 50 มิลลิลิตร กรองโดยใช้กระดาษกรองเพื่อให้ได้สารละลายส่วนใส จากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ได้มาทำปฏิกิริยากับสารละลายดีพีพีเอชที่เตรียมไว้ 3 มิลลิลิตร พักไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

$$\text{การต้านอนุมูลอิสระ (\%)} = [1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}})] \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง และ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายดีพีพีเอช

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ (20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร) วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำไยอย่างนางโดยนำสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 อิ่มตัว ปริมาตร 2

มิลลิลิตร ตั้งพักไว้ 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร สำหรับตัวอย่างสารละลายมาตรฐานก็วิเคราะห์โดยวิธีเดียวกันโดยเปลี่ยนจากน้ำใบย่านางเป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดคำนวณจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกแสดงผลเป็นหน่วยไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร (ไมโครกรัมแกลลิกต่อมิลลิลิตร) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด

ดัดแปลงวิธีการตามการทดลองของ Sukporn et al. (2019) โดยปีเพตน้ำใบย่านาง 1 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 (5% metaphosphoric acid) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเพื่อให้ได้สารละลายส่วนใส จากนั้นนำสารละลายที่ได้ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำสารละลาย 2,6 ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอลร้อยละ 1 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร (1% 2,6-dichlorophenolindophenol) พักไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 85 (85% H_2SO_4) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร พักไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร สำหรับตัวอย่างสารละลายมาตรฐานก็วิเคราะห์โดยวิธีเดียวกันโดยเปลี่ยนจากน้ำใบย่านางเป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกของน้ำใบย่านางคำนวณจากกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกแสดงผลเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (สารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ของค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 23 (IBM Corp., Melbourne, Australia) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

น้ำใบย่านางที่ได้จากการปั่นผสมกับน้ำโดยใช้อัตราส่วนของใบย่านางต่อน้ำ 1:10 (w/v) และแยกกากใบย่านางออกโดยใช้ผ้าขาวบาง น้ำใบย่านางมีสีเขียวเข้ม โดยมีความสว่าง L^* อยู่ที่ 21.08 ค่าความเป็นสีเขียว a^* อยู่ที่ 3.23 และค่าความเป็นสีเหลือง b^* อยู่ที่ 17.65 (ตารางที่ 1) เมื่อนำน้ำใบย่านาง (YC) และน้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลซูโครส (YS) ไปให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อในระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที พบว่าความสว่างของน้ำใบย่านางลดลง (18-20) ค่าความเป็นสีเขียวลดลง ค่าความเป็นสีเหลืองลดลง และค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น การที่น้ำใบย่านางมีค่าความสว่างลดลง และค่าความเป็นสีเขียวลดลงเนื่องจากสารคลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน (Pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวน้ำตาล จึงทำให้น้ำใบย่านางมีสีคล้ำขึ้นเนื่องจากคลอโรฟิลล์มีการสูญเสียแมกนีเซียมไอออน (Gaur et al., 2007; Vongsawasdi et al., 2010; Aamir et al., 2013; Hanh et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Weemaes et al. (1999) ที่ศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการเสื่อมสลายของสีของเครื่องดื่มน้ำตาลโค้ดส์ที่ผ่านการให้ความร้อน ผลการทดลองรายงานปริมาณของคลอโรฟิลล์และค่าความเป็นสีเขียวของเครื่องดื่มน้ำตาลโค้ดส์ลดลง เนื่องจากมีปริมาณของฟิโอฟิตินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Mashiane et al. (2021) รายงานว่าเทคนิคการประกอบอาหารโดยให้ความร้อนส่งผลต่อการลดลงของค่าสีทั้งค่า L^* , a^* และ b^* ของใบผักทองเมื่อเปรียบเทียบกับใบผักทองสด การไม่โครเวฟผักเคลล์ (*Brassica oleracea* var. *acephala*) และบล็อกโคลี่ในน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าวิธีการต้ม โดยอธิบายไว้ว่าการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในระหว่างการต้มหรือการไมโครเวฟผักในน้ำอาจ

เนื่องมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟิโอฟิตินและปลดปล่อยออกจากเซลล์สู่ความร้อน (Pellegrini et al., 2010; Akdaş et al., 2017) การเติมน้ำตาลทำให้ค่าความสว่างของน้ำใบย่านางลดลงในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แต่สำหรับตัวอย่างที่ผ่านความร้อนการเติมน้ำตาลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำใบย่านางที่ผ่านการให้ความร้อนทั้งที่เติมน้ำตาลและไม่เติมน้ำตาลมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เนื่องจากผักเมื่อนำไปผ่านการให้ความร้อนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะมีค่าลดลงเนื่องจากความร้อนทำให้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกรดอินทรีย์, Primary 2-pyrrolidone-5-carboxylic acid ซึ่งให้โปรตอนทำให้น้ำผักมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น หรือ pH ลดลง ในระหว่างการให้ความร้อนผักและน้ำผักค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีการเปลี่ยนแปลง แต่การเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความเป็นกรดต่างเริ่มต้น อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน (Ryan-Stoneham and Tong, 2000) การเติมน้ำตาลซูโครสลงไปน้ำใบย่านางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำใบย่านางทั้งที่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 1 ค่าสีและความเป็นกรด-ด่างของน้ำใบย่านาง

การวิเคราะห์	ตัวอย่างการทดลอง			
	YC	YS	YP	YSP
ค่าสี				
L*	21.08±0.84 ^a	20.37±0.86 ^b	18.88±0.37 ^c	18.67±1.13 ^c
a*	-3.23±0.27 ^c	-5.22±0.28 ^d	0.10±0.02 ^b	0.73±0.18 ^a
b*	17.65±1.25 ^a	19.44±1.14 ^a	14.92±0.02 ^b	14.83±0.90 ^b
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.13±0.04 ^a	5.12±0.01 ^a	5.04±0.03 ^b	5.01±0.04 ^b

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษยกกำลังที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq 0.05$)

YC คือ น้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและไม่ผ่านความร้อน YS คือ น้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและไม่ผ่านความร้อน

YP คือ น้ำใบย่านางที่ไม่เติมน้ำตาลและผ่านความร้อน YSP คือ น้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและผ่านความร้อน

ค่าการต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิกของน้ำใบย่านางแสดงในตารางที่ 2 จากค่าร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ตัวอย่างน้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาล อาจเนื่องมาจากน้ำตาลซูโครสอาจมีการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กันกับสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบของน้ำใบย่านาง ซึ่งกลไกการเกิดอันตรกิริยาก็ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีรายงานการวิจัยของ Shalaby et al. (2016) รายงานว่า การเติมน้ำตาลซูโครสลงในชาดำมีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบออกซิไดซ์ฟีนอลิก (Oxidized phenolic compounds) และโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสเกิดเป็นสารประกอบรีดิวซ์ฟีนอลิก (Reduced phenolic compounds) สารประกอบฟีนอลิกในรูปรีดิวซ์สามารถจับกับอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTH ให้อยู่ในรูปที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (Non-radical products) ซึ่งผู้วิจัยรายงานว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) หลังจากการเติมน้ำตาลซูโครส 0.5-2% ในชาดำ ซึ่งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น 86.8-92.1% ด้วยการทดสอบโดยวิธี DPPH และ 87.0-91.9% โดยวิธี ABTS นอกจากนี้ Mohammadzadeh et al. (2020) ศึกษาผลของการเติมสารแต่งเติม (Additives) ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชาดำ โดยผู้วิจัยรายงานว่า การเติมน้ำตาล 0.5 และ 1 กรัม (ต่อชาดำ 100 มิลลิลิตร) ไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชาดำ แต่การเพิ่ม

ปริมาณน้ำตาลในปริมาณ 2 กรัม (ต่อชาดำ 100 มิลลิลิตร) สามารถเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดำได้ และสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Sharma et al. (2008) ที่ระบุว่า การเติมน้ำตาลลงไปในชาดำทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาสูงกว่าชาที่ไม่เติมน้ำตาล ซึ่งให้ผลที่ตรงกันข้ามกับรายงานการวิจัยของ Korir et al. (2014) รายงานไว้ว่าการเติมน้ำตาลทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาลดน้อยลง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น (0.1, 0.3 และ 3 กรัม) ผลการทดลองที่แตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากการเติมสารเติมแต่งต่างชนิดกัน การเติมในขั้นตอนที่ต่างกัน รวมทั้งอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ นอกจากนี้ Lončarić et al. (2018) ศึกษาผลอิทธิพลของการเกิดอันตรกิริยากันของฟีนอลและน้ำตาลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทับทิม จากผลการทดลองผู้วิจัยสรุปไว้ว่าการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลและฟีนอล สารประกอบฟีนอลและน้ำตาล มีผลต่อทุกค่าพารามิเตอร์ที่มีการศึกษา เช่น ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารผสมเหล่านี้ อาจแสดงถึงการเกิดการต้านหรือการส่งเสริมกันซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารที่เกิดอันตรกิริยากันที่เกิดขึ้น นอกจากนี้การใช้วิธีการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกันก็ส่งผลต่อค่าที่ได้แตกต่างกัน กล่าวคือ การเติมน้ำตาลมีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีกลไกการเกิดยังไม่มีการรายงานที่ระบุแน่ชัด ซึ่งมีทั้งรายงานว่าสามารถเพิ่มหรือลดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาและเครื่องดื่มจากผักและผลไม้

จากผลการทดลองนี้การเติมน้ำตาลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งในตัวอย่างน้ำใบย่านางที่ให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน เมื่อนำตัวอย่างน้ำใบย่านางทั้งที่เติมน้ำตาลและไม่เติมน้ำตาล (YC และ YS) ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน (YP และ YPS) พบว่าค่าการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และวิตามินซีลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการให้ความร้อนไปทำลายสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำใบย่านาง เช่น วิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากผลการทดลองกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในน้ำใบย่านางมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิก ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับการวิจัยของ Nwozo et al. (2015) ที่ศึกษาผลของความร้อนต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผักกึ๋นใบในเขตอบอุ่น 7 ชนิด และรายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 และ 20 นาที ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงในผักทุกชนิด และทั้งสองระยะเวลาในการให้ความร้อน รวมทั้งในการวิจัยของ Laslo et al. (2018) ที่ศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรส์ต่อองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำแอปเปิ้ลจากแอปเปิ้ล 2 สายพันธุ์ โดยพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15, 20 และ 25 นาที ระบุว่า การพาสเจอร์ไรส์น้ำแอปเปิ้ลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง และลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อน นอกจากนี้ Aguilar-Rosas et al. (2007) การให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที ของน้ำแอปเปิ้ลทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกลดลงประมาณ 32% เมื่อเทียบกับน้ำแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิจัยของ Norhayati et al. (2019) ผลการทดลองแสดงถึงการพาสเจอร์ไรส์เครื่องดื่มน้ำผึ้งที่มีการเติมแทนแทนกัมที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ทำให้ปริมาณฟีนอลิกในเครื่องดื่มน้ำผึ้งลดลง

ตารางที่ 2 การต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดของน้ำใบย่านาง

การวิเคราะห์	ตัวอย่างการทดลอง			
	YC	YS	YP	YSP
การต้านอนุมูลอิสระ (%)	0.47±0.05 ^c	0.79±0.05 ^a	0.33±0.05 ^d	0.67±0.01 ^b
ฟีนอลิกทั้งหมด (µg/mL)	0.11±0.01 ^a	0.13±0.01 ^a	0.06±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b
กรดแอสคอร์บิกทั้งหมด (µg/mL)	1.37±0.20 ^a	1.35±0.20 ^a	1.28±0.16 ^b	1.24±0.24 ^b

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษยกกำลังที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

YC คือ น้ำใบย่านางที่ไม่เติมน้ำตาลและไม่ผ่านความร้อน YS คือ น้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและไม่ผ่านความร้อน

YP คือ น้ำใบย่านางที่ไม่เติมน้ำตาลและผ่านความร้อน YSP คือ น้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและผ่านความร้อน

บทสรุป

การพาสเจอร์และการเติมน้ำตาลในน้ำใบย่านางส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง การพาสเจอร์ส่งผลทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกลดลง เนื่องจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น กรดแอสคอร์บิกและสารประกอบฟีนอลิก สามารถถูกทำลายหรือเปลี่ยนสภาพได้ง่ายด้วยความร้อน ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นเมื่อมีปริมาณลดลงจึงส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลง กล่าวคือ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านาง เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำใบย่านางที่เติมน้ำตาลและไม่เติมน้ำตาล พบว่าตัวอย่างน้ำใบย่านางที่มีการเติมน้ำตาลมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำใบย่านางที่ไม่เติมน้ำตาลทั้งในน้ำใบย่านางที่ผ่านและไม่ผ่านการพาสเจอร์ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างน้ำตาลและสารประกอบฟีนอลิกในน้ำใบย่านาง ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นอาจช่วยส่งเสริมกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบย่านางแต่กลไกการเกิดยังไม่ทราบแน่ชัดและเสนอแนะควรมีการศึกษาในเชิงลึกต่อไปสำหรับผู้สนใจ จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือต่อยอดในเชิงพาณิชย์เพื่อผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

เอกสารอ้างอิง

- จิรภัทร โอทอง, จิราภรณ์ ทองตัน และทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. (2558). การพัฒนาชาสมุนไพรย่านางและสมบัติด้านเคมีกายภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53. สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 1544-1551.
- นิตยา บุญทิม. (ม.ป.ป.). ย่านางสุดยอดอาหารและยา. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ค้นเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2564. https://stri.cmu.ac.th/pages/about_org.php
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21: 275-286.

- ปานฤทัย พุทธทองศรี, อภิรติ พันธสิงห์ และมะลิวัล ะสมพิช. (2562). การใช้ใบย่านางและขมิ้นชันเพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการผลิตหน่อไม้อบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 21(3): 49-55.
- สุนัน ปานสาคร และจตุรงค์ ลังกาพันธ์. (2563). ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 29: 119-133.
- ศรมน สุทิน. (2559). วิตามินกับอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 2: 80-92.
- ศรินทร์ ทองธรรมชาติ, สุชนา วานิช และนางลักษณ์ ศรีแก้ว. (2557). การศึกษาปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบย่านาง. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. มหาสารคาม.
- Aamir M., Ovissipour M., Sablani S.S. and Rasco B. (2013). Predicting the quality of pasteurized vegetables using kinetic models: a review. International journal of food science. 1-30.
- Aguilar-Rosas S., Ballinas-Casarrubias F., Nevarez-Moorillon M. L., Martin-Belloso G. V. and Ortega-Rivas E. O. (2007). Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. Journal of Food Engineering. 83(1): 41-46.
- Akdaş Z.Z. and Bakkalbaşı E. (2017). Influence of different cooking methods on color, bioactive compounds, and antioxidant activity of kale. International Journal of Food Properties. 20(4): 877-887.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E. and Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology. 28(1): 25-30.
- Benattouche Z., Bouhadi D., Hariri A. and Benchohra M. (2020). Effect of thermal pasteurization on phytochemical characteristics and antioxidant capacity of orange juice. Nature and Technology Journal. 50-53.
- Gaur S., Shivhare U.S., Sarkar B.C. and Ahmed J. (2007). Thermal chlorophyll degradation kinetics of mint leaves puree. International Journal of Food Properties. 10(4): 853-865.
- Hanh N.T., Hoang N.V. and Tao P.T.P. (2016). Change of chlorophyll and vitamin C In green peas (*Pisum Sativum*) during thermal processing. Vietnam Journal of Agricultural Sciences. 14(7): 1068-1074.
- Khiralla G. and Ali H.M. (2020). Bioavailability and antioxidant potentials of fresh and pasteurized kiwi juice before and after *in vitro* gastrointestinal digestion. Journal of Food Science and Technology. 57(11): 4277-4285.
- Korir M.W., Wachira F.N., Wanyoko J.K., Ngure R.M. and Khalid R. (2014). The fortification of tea with sweeteners and milk and its effect on *in vitro* antioxidant potential of tea product and glutathione levels in an animal model. Food Chemistry. 145: 145-153.
- Laslo V., Socaci S., Teusdea A., Timar A., Tofana M. and Ioana-Vicas S. (2018). The effect of pasteurization time on phytochemical composition and antioxidant capacity of two apple cultivars juices. Bulletin UASVM Food Science and Technology. 75(1): 67-77.
- Mashiane P., Mashitoa F.M., Slabbert R.M. and Sivakumar D. (2021). Impact of household cooking techniques on colour, antioxidant and sensory properties of African pumpkin and pumpkin leaves. International Journal of Gastronomy and Food Science. 23: 1-7.

- Mohammadzadeh M.J., Amuzadeh A. and Moetamedzadegan A. (2020). Effect of different additives on antioxidant capacity of black tea. *Journal of Culinary Science and Technology*. 18(2): 67-76.
- Norhayati H., Izzreen I. and Hooi P.T. (2019). Effects of pasteurization and different concentrations of xanthan gum on honey beverage. *Journal of Food Science*. 3: 325-332.
- Nwozo S.O., Oso B.J. and Oyinloye B.E. (2015). Effect of heat on antioxidant activity of some tropical leafy vegetables. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. 23(2): 93-101.
- Pellegrini N., Chiavaro E., Gardana C., Mazzeo T., Contino D., Gallo M., Riso P., Fogliano V. and Porrini M. (2010). Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 58(7): 4310-4321.
- Rabie M.A., Soliman A.Z., Diaconeasa Z.S. and Constantin B. (2015). Effect of Pasteurization and Shelf Life on the Physicochemical Properties of *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39(6): 1051-1060.
- Ryan-Stoneham T. and Tong C.H. (2000). Degradation kinetics of chlorophyll in peas as a function of pH. *Journal of Food Science*. 65(8): 1296-1302.
- Shalaby E.A., Mahmoud G.I. and Shanab S.M. (2016). Suggested mechanism for the effect of sweeteners on radical scavenging activity of phenolic compounds in black and green tea. *Frontiers in Life Science*. 9(4): 241-251.
- Sharma V., Kumar H.V. and Rao L.J.M. (2008). Influence of milk and sugar on antioxidant potential of black tea. *Food Research International*. 41(2): 124-129.
- Singthong J., Oonsivilai R., Oonmetta-Aree J. and Ningsanond S. (2014). Bioactive compounds and encapsulation of Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 11(3): 76-84.
- Sukporn S., Sirimuangmoon C., Kondo S. and Setha S. (2019). Effect of harvesting season, maturity stage and storage temperature on internal browning and postharvest quality of 'Phulae' pineapple. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*. 5: 212-219.
- Vegara S., Funes L., Mena P., Martí N., Saura D. and Valero M. (2012) Influence of pasteurization treatment and storage in antioxidant activity of pomegranate juice. *International Symposium on the Pomegranate*. Zaragoza: CIHEAM / Universidad Miguel Hernández. No. 103: 321-323.
- Lončarić A., Pichler A., Rašić N., Vukoja I., Leventić A. and Kopjar M. (2018). Influence of phenol and sugar interactions on antioxidant activity of pomegranate juice. *Acta Alimentaria*. 47(2): 203-209.
- Vongsawasdi P., Nopharatana M., Sasaeng K., Tantek P. and Wongphaisitpisan S. (2010). Kinetics of chlorophyll degradation in pandanus juice during pasteurization. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 3(1): 44-51.
- Weemaes C.A., Ooms V., Van Loey A.M. and Hendrickx M.E. (1999). Kinetics of chlorophyll degradation and color loss in heated broccoli juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(6): 2404-2409.

Received: August 17, 2021; Revised: November 10, 2021; Accepted: December 1, 2021

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของชนิดและปริมาณตัวดูดซับต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสของพอลิโพรพิลีน

Preliminary study on the effect of absorber type and quantity on microwave pyrolysis process of polypropylene

เทียมมะณี รัตนวิระพันธ์^{1*} สมภพ สนองราษฎร์¹ สิริญา ภัคดี¹ และสุชมาภรณ์ ลิทธิธรรม¹Tiammanee Rattanaweerapan^{1*}, Sompop Sanongraj¹, Sirinya Pakdee¹and Sukumaporn Sittitham¹¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

* Corresponding Author E-mail Address: Tiammanee.r@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยชนิดตัวดูดซับคลื่นที่เลือกใช้คือถ่านกัมมันต์และแกรไฟต์ ปริมาณที่ใช้ได้แก่ ร้อยละ 2, 5 และ 10 โดยมวล ผลการทดลองพบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่าแกรไฟต์ ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับคลื่นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 22.20-41.60 โดยมวล ซึ่งมีแนวโน้มแปรผันตรงกับปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.72-0.80 กิโลกรัม/ลิตร ความหนืดมีค่าระหว่าง 5-31 เซนติสโตก ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาดพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการทดลองมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาดแต่ความหนืดสูงกว่า พบหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้สอดคล้องกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาดซึ่งประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวไม่อิ่มตัวและอะโรมาติกส์ อย่างไรก็ตามควรมีการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น จุดวาบไฟ ค่าความร้อน และไฮโดรคาร์บอนองค์ประกอบ

คำสำคัญ: ไมโครเวฟไพโรไลซิส ขยะพลาสติก ตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟ

Abstract

This research was to study the effect of type and quantity of microwave absorber on microwave pyrolysis process. Activated carbon and graphite were used as microwave absorber in the percentage of 2, 5 and 10 by weight. The results showed that using activated carbon as microwave absorber gave the liquid content higher than that of graphite. The amount of liquid product from using activated carbon was between 22.20-41.60% (by weight) and tended proportional to the amount of activated carbon used. The density and viscosity of the liquid were 0.72-0.80 kg/L and 5-31 centistoke, respectively. The liquid product density is close but, the viscosity is higher than that of the gasoline from the local station. Component functional groups have been found in the molecular structure of liquid products corresponding to commercially available gasoline containing saturated, unsaturated, and aromatic hydrocarbons. However, further characterization of other properties such as flash point, heat value, and component hydrocarbons should be analyzed.

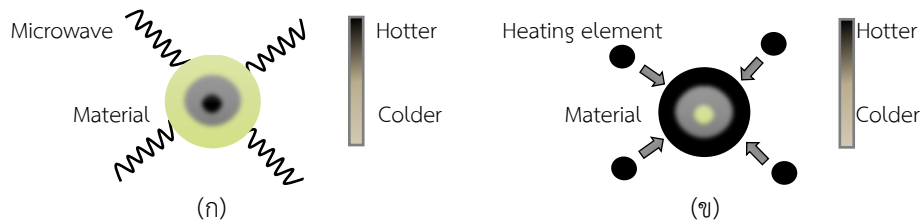
Keywords: Microwave pyrolysis, Plastic waste, Microwave absorber

บทนำ

พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ หรืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นพลาสติกที่เบา คงรูปแต่มีความยืดหยุ่น ทนทานต่อแรงกระแทก น้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้น้อย ปัจจุบันพบว่ามีการบรรจุภัณฑ์ประเภทพอลิโพรพิลีนจำนวนมากถูกนำมาใช้งานเพียงครั้งเดียวและไม่มีหรือนำมารีไซเคิลเพราะมีการปนเปื้อนและยุ่งยากในการล้างทำความสะอาด ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งพลาสติกเหล่านั้นมักจะถูกนำไปกำจัดโดยการฝังกลบหรือเผา ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ ปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ อีกทั้งยังกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย

การแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่ากลายเป็นเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการจัดการขยะพลาสติกในปัจจุบัน กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) จัดเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธีการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะอุณหภูมิสูง (ประมาณ 400-1,000 องศาเซลเซียส) และไร้ออกซิเจน การแตกตัวของพลาสติกจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กประกอบด้วยแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ซึ่งของเหลวที่ได้มีลักษณะสมบัติคล้ายน้ำมันเบนซินหรือดีเซล (Samuel et al., 2019) กระบวนการไพโรไลซิส แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow pyrolysis) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส/วินาที และมีอุณหภูมิสูงสุด 400-600 องศาเซลเซียส การไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10-100 องศาเซลเซียส/วินาที และมีอุณหภูมิสูงสุด 600-650 องศาเซลเซียส รวมทั้งการไพโรไลซิสแบบเร็วมาก (Flash pyrolysis) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส/วินาที และมีอุณหภูมิสูงสุด 1,000 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้ในกระบวนการมักจะเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานจากแก๊ส ซึ่งแม้จะมีประสิทธิภาพที่ดีแต่ยังมีการสูญเสียพลังงานระหว่างการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่งกำเนิดไปยังสารตั้งต้นที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ ปัจจุบันจึงมีความพยายามในการลดการสูญเสียพลังงานดังกล่าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงาน หรือที่เรียกกันว่า ไมโครเวฟไพโรไลซิส (Microwave pyrolysis; MP) นั่นเอง เทคนิคไมโครเวฟไพโรไลซิสได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในไพโรไลซิสของเสียทั้งที่เป็นของเสียทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย กะลา

ปาล์ม ฟางข้าว แกลบข้าว ชังข้าวโพด รวมถึงขยะพลาสติกด้วย (Yaning et al., 2020) สำหรับการไพโรไลซิสขยะพลาสติกนั้น ต้องอาศัยการดูดซับคลื่นไมโครเวฟของวัสดุบางชนิดมีความสามารถในการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ (Microwave absorber) เมื่อโมเลกุลของวัสดุนั้นดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสั่นและเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และถ่ายเทความร้อนให้แก่พลาสติกที่เป็นวัตถุดิบในถังปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว การถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟและแหล่งความร้อนทั่วไปแสดงดังรูปที่ 1 ด้วยเหตุผลดังกล่าวไมโครเวฟไพโรไลซิสจึงเป็นเทคนิคใหม่ที่มีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนแบบเดิม มีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายเทความร้อนอย่างจำเพาะเจาะจงจากตัวดูดซับคลื่นซึ่งแทรกอยู่ระหว่างพลาสติกกับวัตถุดิบเข้าสู่พลาสติกโดยตรงส่งผลให้ลดการใช้พลังงาน และประหยัดเวลามากขึ้น (โปรตปราน และคณะ, 2554)



รูปที่ 1 การแสดงการกระจายความร้อนภายในเนื้อวัสดุเมื่อให้ความร้อนโดยใช้ (ก) ไมโครเวฟ และ (ข) วิธีทั่วไป (สุขสันต์ และแอ๊ปเปิ้ล, 2556)

ตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่มีการศึกษาที่ผ่านมาหลายชนิดที่ใช้ในกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสของพลาสติกและชีวมวล เช่น แกรไฟต์ (Graphite) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่าน (Charcoal) และถ่านชาร์จากการไพโรไลซิส (Pyrolysis char) เป็นต้น (Dadi et al., 2021) ตัวดูดซับคลื่นแต่ละชนิดส่งผลต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสที่ต่างกัน เช่น เพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเพาะ และลดอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น ดังจะเห็นได้จากการรายงานของ Zhifeng et al. (2012) ซึ่งกล่าวว่าปริมาณไบโอออยล์ในกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสของสาหร่ายขนาดเล็กโดยใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านชาร์มีค่าสูงขึ้น ส่วน Zhenyi et al. (2011) กล่าวว่าการใช้ถ่านชาร์เป็นตัวดูดซับคลื่นส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนโดยตรงและอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนที่มีความจำเพาะในการไพโรไลซิสสาหร่ายขนาดเล็ก นอกจากนี้ Manaeva et al. (2016) กล่าวว่าการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับคลื่นในการไพโรไลซิสเปลือกถั่วลิสงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่จำเพาะสูงคือเป็นสารประกอบจำพวกฟีนอลสูงถึงร้อยละ 61 อีกทั้งยังช่วยลดอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสให้น้อยลงด้วย แกรไฟต์เป็นตัวดูดซับคลื่นที่ดี มีความเสถียร ให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงแต่มีราคาสูง ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชาร์เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น จึงเป็นวัสดุที่อาจจะนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสขยะพลาสติกได้ในอนาคต

สำหรับลักษณะสมบัติของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสนั้นมีลักษณะสมบัติเหมือนกับน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซินและดีเซล ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่เป็นวัตถุดิบ ความสะอาดของวัตถุดิบ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของระบบ ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟ (Dadi et al., 2021) สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือ FT-IR และ GC-MS ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ถึงหมู่ฟังก์ชันและชนิดของสารประกอบ (Samuel et al., 2019) ปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิส ได้แก่ ชนิดและปริมาณตัวดูดซับ รวมถึงกำลังไฟของเครื่องไมโครเวฟที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ปริมาณของเหลวสูงและลักษณะสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยครั้งนี้จึงสนใจศึกษาผลของชนิดและปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิส ซึ่งเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณของผลิตภัณฑ์เหลวและลักษณะสมบัติผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสขยะพลาสติกประเภทพอลิโพรพิลีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ของแก๊สโดยคำนวณจากสูตร ร้อยละของแก๊ส = $100 - (\text{ร้อยละของแข็ง} + \text{ร้อยละของเหลว})$ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำตัวอย่างของเหลวมารวมกันเพื่อนำไปวัดความหนืด ความหนาแน่น และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน และทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้ แต่เปลี่ยนตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ เลือกตัวดูดซับคลื่นที่ให้ปริมาณของเหลวมากกว่าเพื่อทำการทดลองต่อไป

การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับคลื่นต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิส

ผสมพลาสติกปริมาณ 50 กรัมกับตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนร้อยละ 2 โดยมวล ในขวดก้นกลม นำไปใส่ในเครื่องไมโครเวฟ เริ่มต้นใช้กำลังไฟ 320 วัตต์ (ไฟอ่อนปานกลาง) เวลา 10 นาที เพื่อให้ถึงปฏิกิริยาค่อย ๆ ร้อนขึ้น จากนั้นปรับกำลังไฟเป็น 480 วัตต์ (ไฟปานกลาง) นาน 30 นาที บันทึกอุณหภูมิภายในถึงปฏิกิริยาทุก ๆ 10 นาที อุณหภูมิสูงสุดของระบบ และปริมาตรของเหลวที่ได้ทั้งหมด ปล่อยให้ระบบเย็นลงและนำของแข็งที่เหลืออยู่ในถึงปฏิกิริยาใส่ในโถวัดความชื้นประมาณ 30 นาที ซึ่งน้ำหนักของแข็งเหลวที่เกิดขึ้นและของแข็งที่เหลืออยู่ในถึงปฏิกิริยาโดยไม่มีการแยกตัวดูดซับออก คำนวณหาร้อยละโดยมวลของแข็ง ของเหลว โดยเทียบกับน้ำหนักของพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง คำนวณร้อยละโดยมวลของแก๊สโดยคำนวณจากสูตร ร้อยละของแก๊ส = $100 - (\text{ร้อยละของแข็ง} + \text{ร้อยละของเหลว})$ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำตัวอย่างของเหลวมารวมกันเพื่อนำไปวัดความหนืด ความหนาแน่น และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน และทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้แต่เพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นร้อยละ 5 และ 10 โดยมวล ซึ่งอ้างอิงจากการทดลองเบื้องต้นของเราที่พบว่าปริมาณตัวดูดซับร้อยละ 2-10 ไม่ทำให้เกิดความร้อนสูงเกินไปและไม่ส่งผลให้ถึงปฏิกิริยาเสียหาย

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของผลิตภัณฑ์ของเหลว

ลักษณะสมบัติที่วิเคราะห์ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์เพียงบางพารามิเตอร์เท่านั้น ได้แก่ ความหนืดซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ HAAK 6 plus ตามมาตรฐาน ASTM D445 ความหนาแน่นซึ่งคำนวณจากการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร และคำนวณจากสมการที่ (1) ที่อุณหภูมิห้อง และชนิดของสารจากหมู่ฟังก์ชันซึ่งวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง ATR-FTIR Spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin Elmer เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาด (ไม่ระบุค่าออกเทน) จากสถานีน้ำมัน ปตท. ในท้องถิ่น

$$\text{ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลว (กิโลกรัม)} \dots\dots\dots(1)}{\text{ปริมาตรผลิตภัณฑ์ของเหลว (ลิตร)}}$$

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

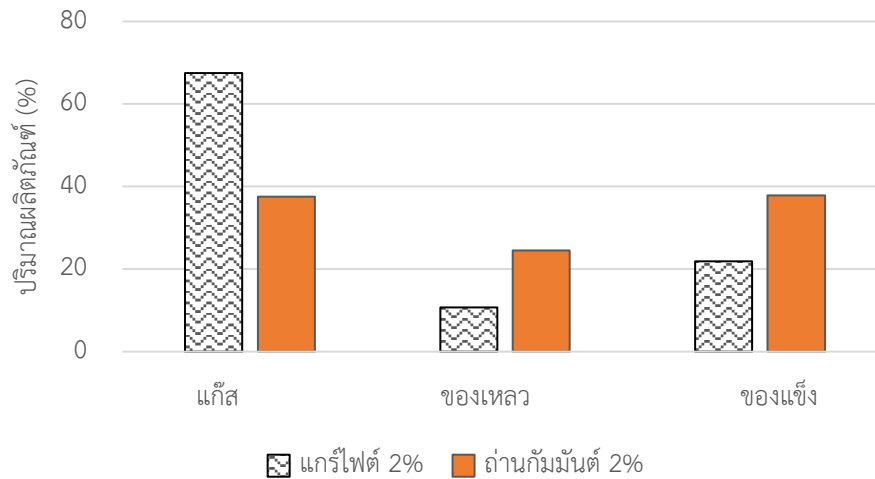
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิส โดยขั้นตอนแรกศึกษาผลของชนิดตัวดูดซับคลื่นก่อน จากนั้นเลือกตัวดูดซับคลื่นที่ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าเพื่อนำไปศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5 และ 10 โดยมวล ตามลำดับ ปริมาณและลักษณะสมบัติบางประการของเหลวจากกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสของพลาสติกพอลิโพรพิลีน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณผลิตภัณฑ์และลักษณะสมบัติบางประการของของเหลวจากกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีน

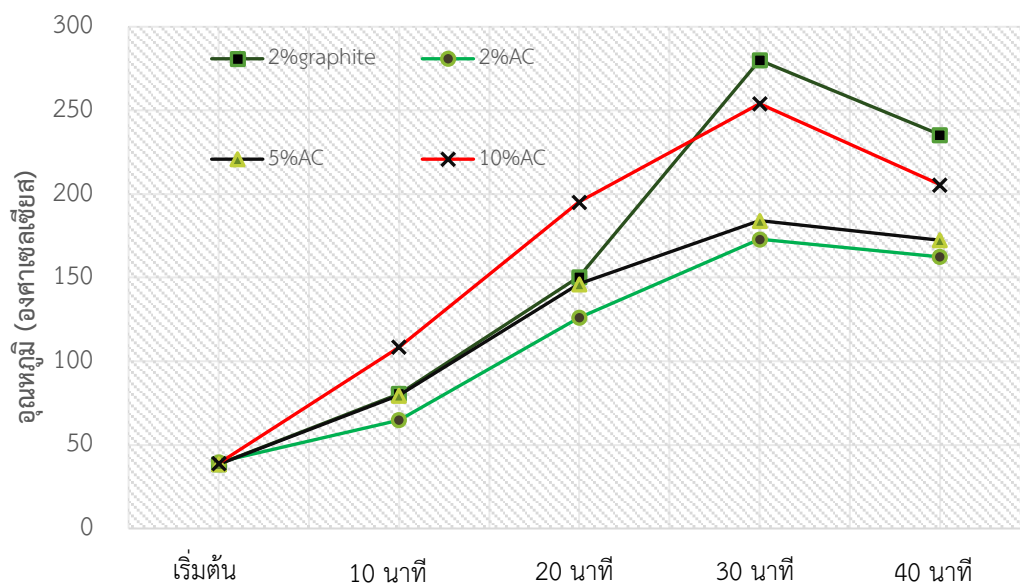
ปัจจัยศึกษา	ลักษณะสมบัติของของเหลว	
	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลิตร)	ความหนืด (เซนติสโตก)
ชนิดของตัวดูดซับคลื่น	แกรไฟต์ (ร้อยละ 2 โดยมวล)	76.0±0.006 6
	ถ่านกัมมันต์ (ร้อยละ 2 โดยมวล)	72.0±0.010 7
ปริมาณตัวดูดซับคลื่น (ถ่านกัมมันต์)	ร้อยละ 2 โดยมวล	72.0±0.010 7
	ร้อยละ 5 โดยมวล	74.0±0.010 5
	ร้อยละ 10 โดยมวล	80.0±0.012 31

จากตารางที่ 1 ชนิดของตัวดูดซับคลื่นในการทดลองครั้งนี้เลือกมา 2 ชนิด ได้แก่ แกรไฟต์และถ่านกัมมันต์ พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ให้ปริมาณของเหลวร้อยละ 24.48 โดยมวล สูงกว่าแกรไฟต์ซึ่งได้ของเหลวเพียงร้อยละ 10.64 โดยมวล แสดงดังรูปที่ 3 แต่เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง (รูปที่ 4) พบว่าการใช้แกรไฟต์ให้อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยาสูงสุด 280.0 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ซึ่งให้อุณหภูมิสูงสุดเพียง 173.0 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับที่กล่าวไว้ในรายงานของ Dadi et al. (2021) ที่กล่าวว่า แกรไฟต์เป็นตัวดูดซับคลื่นที่ดีให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง แต่ในถ่านกัมมันต์จะมีแกรไฟต์เป็นองค์ประกอบเพียงบางส่วน ดังนั้นแกรไฟต์จึงมีความสามารถในการดูดซับคลื่นและเกิดอันตริยากับคลื่นไมโครเวฟได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ และเกิดการสั่นของโมเลกุลมากกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาสูง ปฏิกิริยาการสลายตัวของพลาสติกพอลิโพรพิลีนจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นแก๊ส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Raj and Chayan (2016) ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะพบผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สมากขึ้นและกล่าวว่า การไพโรไลซิสในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวสูง

เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าการใช้แกรไฟต์ ดังนั้นจึงใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟในการทดลองต่อไป



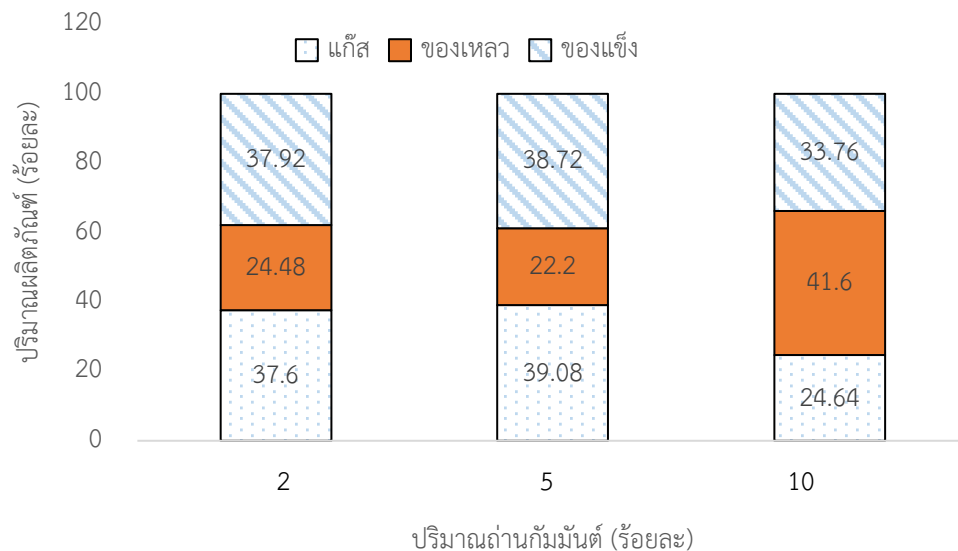
รูปที่ 3 ปริมาณผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีน โดยใช้แกรไฟต์และถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ คลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการทดลอง (AC คือ Activated carbon)

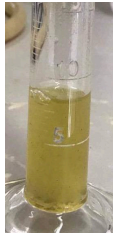
ในการทดลองผลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อผลิตภัณฑ์ของเหลว พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับคลื่นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2, 5 และ 10 (โดยมวล) ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลรร้อยละ 24.48, 22.20 และ 41.60 โดยมวล ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 และอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เป็น 173.0, 184.1 และ 254.0 ตามลำดับ ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ผลการทดลองที่ได้จากการใช้ถ่านกัมมันตร้อยละ 2 และ 5 นั้นไม่ชัดเจนเพราะปริมาณของเหลวไม่แปรผันตามแนวโน้มดังกล่าว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับสูงถึงร้อยละ 10 จะได้ปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นอย่างมาก (ร้อยละ 41.60) สำหรับอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการทดลองนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับ และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วง 4.76-7.46 องศาเซลเซียส/นาที จึงจัดเป็นการไพโรไลซิสแบบช้า แตกต่างจากการรายงานของ Dadi et al. (2021) ซึ่งได้ทำการทดลองไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีนปริมาณ 50 กรัม โดยใช้แกรไฟต์เป็นตัวดูดซับในสัดส่วนร้อยละ 50, 66.7

และ 87.5 โดยมวล (ปริมาณตัวดูดซับ 50, 200 และ 350 กรัมต่อพลาสติกพอลิโพรพิลีน 50 กรัม) กำลังไฟของเครื่องไมโครเวฟ 300 วัตต์ พบว่า อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 25.7, 9.3 และ 8.4 องศาเซลเซียส/นาที่ จึงมีความเป็นไปได้ว่าหากต้องการให้เกิดการไพโรไลซิสแบบเร็วหรือต้องการให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นต้องเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ให้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวดูดซับคลื่นในปริมาณมากอาจทำให้สิ้นเปลืองและเกิดความร้อนสูงอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ จำเป็นจะต้องเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง เช่น ควอตซ์ซึ่งมีราคาสูง และผลจากการทดลองครั้งนี้ค่อนข้างมีจำกัดจึงควรมีการศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่จะทำให้อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นเพิ่มเติมอีก



รูปที่ 5 ปริมาณผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีน โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกัน

สำหรับลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นซึ่งได้แก่ความหนาแน่นที่ใช้ตัวดูดซับคลื่นเป็นแกรไฟต์ร้อยละ 2 ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 2, 5 และ 10 (โดยมวล) มีค่าเป็น 0.76, 0.72, 0.74 และ 0.80 กิโลกรัม/ลิตร และความหนืดของของเหลวมีค่า 6, 7, 5 และ 31 เซนติสโตก ตามลำดับ สำหรับความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการทดลองนี้คล้ายกับการศึกษาที่รายงานโดย Raj and Chayan (2016) ซึ่งทำการไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีความหนาแน่น 0.76-0.79 กิโลกรัม/ลิตร ในการทดลองครั้งนี้การใช้ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10 โดยมวลนั้นได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวปริมาณสูงแต่ของเหลวมีความหนืดสูงถึง 31 เซนติสโตก ซึ่งมากกว่าการทดลองของ Raj and Chayan (2016) ที่ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีความหนืดระหว่าง 3-4 เซนติสโตกเท่านั้น ทั้งนี้ในตัวอย่างที่มีความหนืดสูงนั้นอาจเนื่องจากของเหลวที่ได้อาจมีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนโซยาว (มากกว่า C_{20}) (Lopez et al., 2017) เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำมันเบนซินและดีเซลแล้วพบว่า ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการทดลองนี้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาด (ข้อมูลจากการวัดความหนาแน่นของน้ำมันเบนซินจากสถานีจำหน่ายน้ำมัน ปตท. ในท้องถิ่น มีค่า 0.71-0.77 กิโลกรัม/ลิตร)



ก.

PP+2% แกรไฟต์



ข.

PP+2% ถ่านกัมมันต์



ค.

PP+5% ถ่านกัมมันต์

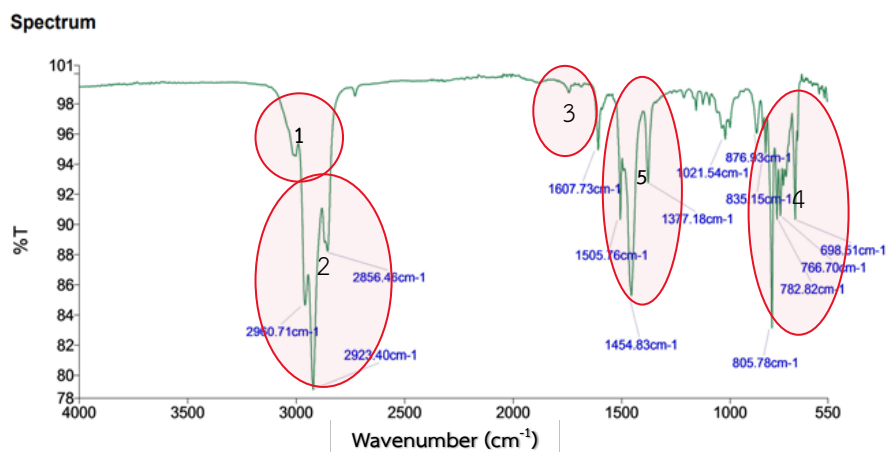


ง.

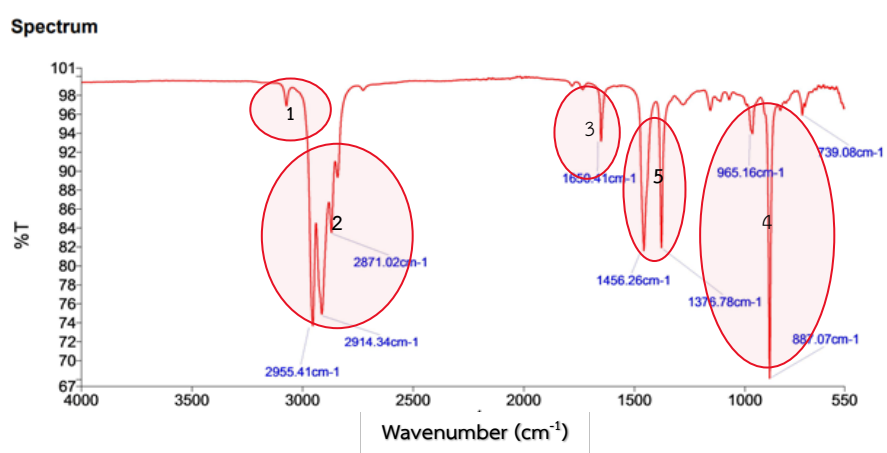
PP+10% ถ่านกัมมันต์

รูปที่ 6 ลักษณะของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

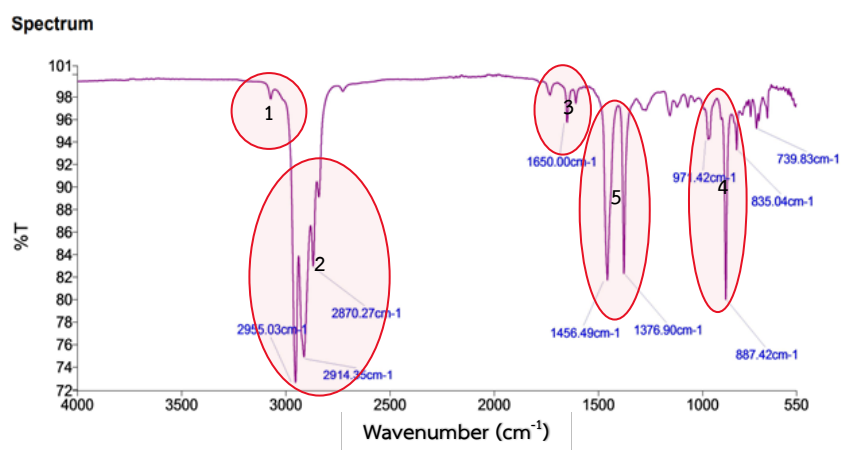
จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างทางเคมีของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติกพอลิโพรพิลีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาด (สถานีน้ำมัน ปตท. ในท้องถิ่น) ได้ผลดังรูปที่ 7-10 ซึ่งจะเห็นว่า IR spectrum ของผลิตภัณฑ์ของเหลวนั้นคล้ายกับน้ำมันเบนซินจากท้องตลาด โดยจะพบพีกของ C-H ระหว่างเลขคลื่น $3000-2800\text{ cm}^{-1}$ (หมายเลข 2) ซึ่งอาจจะมาจากการสั่นของโมเลกุลของหมู่เมทิลและเมทิลีน พบการสั่นของพันธะ C=C ที่เลขคลื่น $1650-1550\text{ cm}^{-1}$ (หมายเลข 3) ซึ่งในน้ำมันเบนซินจากสถานีจำหน่าย ปตท. ในท้องถิ่นพบพีกนี้ขนาดเล็กมาก แต่พบพีกของ =C-H (แบบงอ) ที่ช่วงเลขคลื่น $1000-650\text{ cm}^{-1}$ นอกจากนี้ก็ยังพบว่าในทุกตัวอย่างมีพีก C-H ที่เลขคลื่นมากกว่า 3000 cm^{-1} (หมายเลข 1) แสดงว่าอาจจะมีพันธะคู่จากวงแหวนอะโรมาติกส์ พบพีก C-H (แบบงอ) ที่เลขคลื่น $1500-1300\text{ cm}^{-1}$ (หมายเลข 5) และพบพีกที่แสดงถึงสารประกอบวงเบ็นซีนที่เลขคลื่น $800-400\text{ cm}^{-1}$ (หมายเลข 4) หากพิจารณาเพิ่มเติมจาก IR spectrum ไม่พบพีกที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด (เช่น หมู่ -COOH, -OH) ในของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสพอลิเอทิลีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่ากลุ่มสารที่เป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว ไม่อิ่มตัว ซึ่งอาจจะมีทั้งที่เป็นโซ่ตรงและเป็นวง คล้ายกับการรายงานของ Samuel et al. (2019) ที่ศึกษาการใช้กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมให้เป็นทรัพยากรที่มีคุณค่า เช่น น้ำมันดิบ เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำในถังปฏิกรณ์แบบ Fixed bed ใช้อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนไหลด้วยอัตรา 200 มิลลิลิตร/นาที่ นาน 2 ชั่วโมง, เวลาในการ Cracking 40 นาที วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องมือ FT-IR และ GC-MS พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีหมู่ฟังก์ชัน 21 ชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นส่วนผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดโซ่ตรงและเป็นวง สารประกอบเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มน้ำมันดีเซล ($C_{12}-C_{24}$) และน้ำมันมีค่าความหนืด Kinematic viscosity เป็น 1.036 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที น้ำมันดิบที่ได้จากการทดลองมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกในอนาคต อย่างไรก็ตาม ในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิค GC-MS จึงไม่อาจจะระบุชนิดของสารได้อย่างแน่ชัด และจะทำการทดลองในครั้งต่อไป



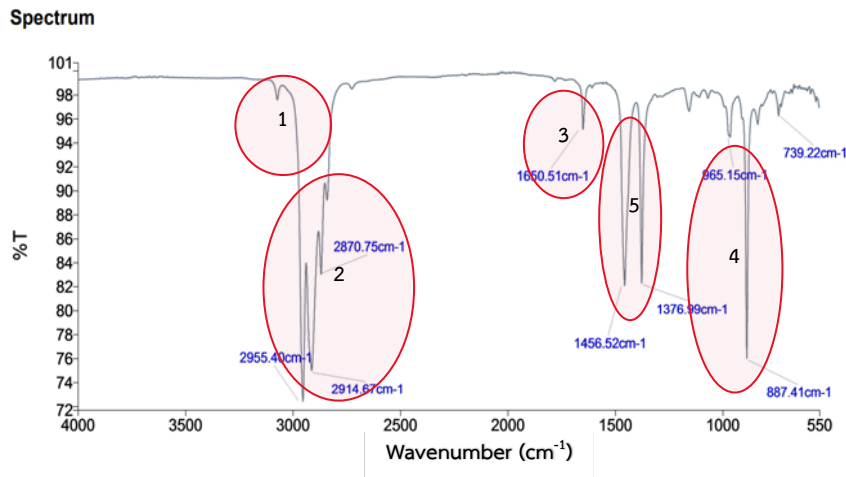
รูปที่ 7 IR Spectrum ของน้ำมันเบนซินจากสถานีจำหน่าย ปตท. ในท้องถิ่น



รูปที่ 8 IR Spectrum ของพอลิโพรพิลีน+ ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 2



รูปที่ 9 IR Spectrum ของพอลิโพรพิลีน + ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5



รูปที่ 10 IR Spectrum ของพอลิโพรพิลีน + ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 10

บทสรุป

จากการศึกษาผลของชนิดตัวดูดซับคลื่นโครเวฟที่มีกระบวนการไมโครเวฟไพโรไลซิสครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ให้อุณหภูมิสูงสุดของระบบต่ำกว่าการใช้แกรไฟต์แต่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับคลื่นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 22.20-41.60 โดยมวล ซึ่งปริมาณของเหลวที่ได้มีแนวโน้มแปรผันตรงกับปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ความหนาแน่นของของเหลวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.72-0.80 กิโลกรัม/ลิตร ความหนืดของของเหลวมีค่า 5-31 เซนติสโตก ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาดพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการทดลองมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาดแต่ความหนืดสูงกว่า พบหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้สอดคล้องกับน้ำมันเบนซินในท้องตลาด ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวและอะโรมาติกส์ อย่างไรก็ตาม ควรมีการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น จุดวาบไฟ ค่าความร้อน และไฮโดรคาร์บอนองค์ประกอบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สนับสนุนทุนในการสร้างเครื่องไมโครเวฟไพโรไลซิส ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- โปรดปราน สิริธีรศาสตร์, ณัฐพล ช่างการ และศรัณย์ ชโนวิทย์. (2554). การปรับปรุงคุณภาพของผสมชีวมวล และถ่านหิน ด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ. ใน การประชุมวิชาการนานาชาติ วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 วันที่ 10-11 พฤศจิกายน 2554. สงขลา. T-16.
- สุขสันต์ อมรรักษา และแอ๊ปเปิ้ล แจ่มจำรัส. (2556). การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟไพโรไลซิสสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 23(2): 480-488.

- Dadi V.S., Garlapati N., Attada Y. and Veluru S. (2021). Optimization of microwave power and graphite susceptor quantity for waste polypropylene microwave pyrolysis. *Process Safety and Environmental Protection*. 149: 234-243.
- Lopez G., Artetxe M., Amutio M., Bilbao J. and Olazar M. (2017). Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 73: 346–368.
- Manaeva A., Tahmasebi A., Tian, L. and Yu, J. (2016). Microwave-assisted catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass for production of phenolic-rich bio-oil. *Bioresource Technology*. 211: 382–389.
- Raj M.B. and Chayan B. (2016). Study on Microwave Pyrolysis of Polypropylene. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*. 5: 108-116.
- Samuel K.T., Enoch K.B. and Samuel D. (2019). Plastic waste to fuel via pyrolysis: A key way to solving the severe plastic waste problem in Ghana. *Thermal Science and Engineering Progress*. 11: 417–424.
- Yaning Z., Yunlei C., Shiyu L., Liangliang F., Nan Z., Peng P., Yunpu W., Feiqiang G., Min M., Yanling C., Yuhuan L., Hanwu L., Paul C., Bingxi L. and Roger R. (2020). Fast microwave-assisted pyrolysis of wastes for biofuels production—A review. *Bioresource Technology*. 297: 122480.
- Zhenyi D., Yecong L., Xiaoquan W., Yiqin W., Qin C., Chenguang W., Xiangyang L., Yuhuan L., Paul C. and Roger R. (2011). Microwave-assisted pyrolysis of microalgae for biofuel production. *Bioresource Technology*. 102: 4890–4896.
- Zhifeng H., Xiaoqian M. and Chunxiang C. (2012). A study on experimental characteristic of microwave-assisted pyrolysis of microalgae. *Bioresource Technology*. 107: 487–493.

Received: November 10, 2021; Revised: December 13, 2021; Accepted: December 14, 2021

ความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันบริเวณห้วยห้วยน้ำครือ และห้วยพรมแล้ง
ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

Butterfly species diversity in Yakruae and Phromleang streams,
Nam Nao national park, Phetchabun Province

สิริกมล พลายงาม¹ และนิศารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์^{1*}

Sirikamon Phlai-ngam¹ and Nisarat Tungpairong^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

*Corresponding Author E-mail Address: knisar@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวัน ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้สวิงโฉบเก็บผีเสื้อกลางวันโดยการเดินสำรวจเป็นแนวเส้นตรง (Line-transect) ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2556 บริเวณใกล้ลำธารสองสถานี ได้แก่ สถานีห้วยห้วยน้ำครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ผลการศึกษาพบผีเสื้อกลางวัน 80 ชนิด จัดจำแนกเป็น 52 สกุล 5 วงศ์ ได้แก่ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าพู่ (Nymphalidae) พบจำนวนชนิดมากที่สุด คือ 43 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Lyceanidae) 20 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (Papilionidae) 10 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Pieridae) 6 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Hesperiidae) พบจำนวนชนิดน้อยที่สุด คือ 1 ชนิด ตามลำดับ โดยแบ่งออกเป็นชนิดที่พบบริเวณสถานีห้วยห้วยน้ำครือ 57 ชนิด สถานีห้วยพรมแล้ง 48 ชนิด และพบ 25 ชนิดในทั้งสองสถานี ผลการวิเคราะห์ค่าความคล้ายคลึง (Sorensen similarity index) เท่ากับ 0.47 และสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ กับจำนวนความหลากหลายของผีเสื้อกลางวัน เท่ากับ 0.696 และ -0.018 ตามลำดับที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คำสำคัญ: ความหลากหลาย ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ การอนุรักษ์ อุทยานแห่งชาติ

Abstract

The species diversity of butterfly in Nam Nao national park, Phetchabun Province was investigated by using insect sweep net along Line-transect method. The butterflies were collected during six months between July to December 2013 from two sampling sites, including, Yakruae stream and Phromleang stream. The results revealed that a total of 80 species and belonged to 52 genera and 5 families were found. The family Nymphalidae was the highest number of species (43 species), Lyceanidae (20 species),

Papilionidae (10 species), Pieridae (6 species) and HesperIIDae was the lowest number of species (1 species), respectively. Additionally, butterfly species diversity was found 57 species in Yakruae stream and 43 species in Phromlaeng stream. Moreover, twenty-five butterfly species were found in both sampling sites. The similarity index analysis was 0.47. Air temperature and relative humidity were related to butterfly species diversity with the correlation equal to 0.696 and -0.018 respectively at 0.05 significantly level.

Keywords: Species diversity, Bioindicator, Conservation, National park

บทนำ

ผีเสื้อกลางวัน จัดอยู่ในอันดับ Lepidoptera เป็นแมลงที่มีจำนวนสมาชิกมากที่สุดเป็นอันดับสองของแมลงทั้งหมด และมีความหลากหลายชนิดมากที่สุดในเขตร้อนชื้น ซึ่งการมีจำนวนชนิดสะสมของผีเสื้อกลางวันในเขตร้อนชื้นสูง ทำให้มีจำนวนชนิดเฉพาะถิ่น (Endemic species) จำนวนมาก (Koneri and Nangoy, 2019) ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปกคลุมของป่าชั้นเรือนยอด (Canopy) จำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันนั้นมีความสัมพันธ์กับสัตว์มีกระดูกสันหลัง (Vertebrates) และประเภทของป่า (Forest types) กล่าวคือ ประเภทของป่าที่มีสภาพแวดล้อมและชนิดพรรณไม้ที่แตกต่างกัน มักส่งผลต่อชนิดของสัตว์มีกระดูกสันหลังและผีเสื้อกลางวันด้วยเช่นกัน หากสภาพแวดล้อมป่ามีความอุดมสมบูรณ์ มีพืชอาหารหลากหลาย อาจส่งผลให้สามารถพบทั้งสัตว์มีกระดูกสันหลังและผีเสื้อกลางวันหลากหลายชนิด ผีเสื้อกลางวันจึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดความหลากหลายทางชีวภาพ (Bioindicator) เนื่องจากจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันขึ้นอยู่กับการกระจายพันธุ์ของพืช โดยเฉพาะพืชอาหาร (Boonvanno et al., 2000; Ghazoul, 2002; Okamoto et al., 2013) ดังนั้นการใช้ผีเสื้อกลางวันเป็นดัชนีวัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศ จึงเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

ในประเทศไทยมีรายงานการพบชนิดผีเสื้อกลางวันมากกว่า 1,300 ชนิด อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถยืนยันจำนวนชนิดที่แน่ชัดได้จากการศึกษาอื่น ๆ (Ek-Amnuay, 2021) ทำให้การศึกษาค้นคว้าความหลากหลายของผีเสื้อในประเทศไทยจึงยังคงมีความสำคัญ เนื่องจากยังขาดข้อมูลความหลากหลายอยู่มากในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรมนุษย์ร่วมกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบนิเวศ ซึ่งอาจส่งผลต่อการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่า ซึ่งเป็นแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิต ทำให้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร การปรับตัวของสิ่งมีชีวิต รวมถึงผีเสื้อกลางวัน (Kemabonta et al., 2015) ซึ่งมักจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากปัจจัยดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันจึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่า หรือสภาพแวดล้อมของระบบนิเวศที่เปลี่ยนไป รวมถึงการบุกรุกพื้นที่ป่าหรือระดับของการตัดไม้ทำลายป่าได้

อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาเพชรบูรณ์ ตั้งอยู่ระหว่างรอยต่อของภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ 2 จังหวัด คือ จังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดชัยภูมิ โดยสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสลับซับซ้อน สภาพป่าของอุทยานเป็นป่าผืนใหญ่ติดต่อกัน ประกอบด้วยป่าหลายชนิดทั้งป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ ป่าสนเขา และป่าเต็งรัง เนื่องจากป่าส่วนหนึ่งเป็นป่าโปร่งสลับกับทุ่งหญ้าและป่าดิบ มีดินโปร่งและน้ำไหลผ่านตลอดปี จึงทำให้ ป่านี้มีสัตว์ป่าอาศัยอยู่อย่างชุกชุมรวมถึงแมลงต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก (สุวัฒน์, 2541) ปัจจุบันอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว เป็นอุทยานแห่งชาติที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ทำให้มีการปรับปรุงพื้นที่ในอุทยานแห่งชาติเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวจำนวนเพิ่มขึ้น ย่อมมีผลต่อการรบกวนแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ รวมถึงจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวัน ซึ่งอาจเป็นผลจากเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าที่เป็นแหล่งอาศัย และจำนวนพืชอาหาร โดยเฉพาะการศึกษาผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวนั้นเคยมีการศึกษาไว้เมื่อประมาณยี่สิบปีก่อน

โดยสุรัชย์ และชลธร (2541) ดังนั้นสภาพแวดล้อมและเวลาที่เปลี่ยนไปนั้นจึงอาจส่งผลกระทบต่อความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวในปัจจุบัน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ในบริเวณลำธารสองสถานีได้แก่ สถานีลำธารห้วยหญ้าเครือ และสถานีลำธารห้วยพรมแล้ง เนื่องจากสถานศึกษาดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีการเปิดให้นักท่องเที่ยวเยี่ยมชม โดยเฉพาะสถานีห้วยหญ้าเครือซึ่งเป็นสถานติดกับศูนย์บริการนักท่องเที่ยว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติ และสถานีห้วยพรมแล้งนั้นมีการก่อสร้างฝายชะลอน้ำ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันบริเวณทั้งสองสถานีเพื่อเป็นข้อมูลชี้วัดความหลากหลายทางชีวภาพและเพื่อเป็นประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์ และเป็นข้อมูลประกอบการจัดสรรพื้นที่อนุรักษ์ของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวต่อไป

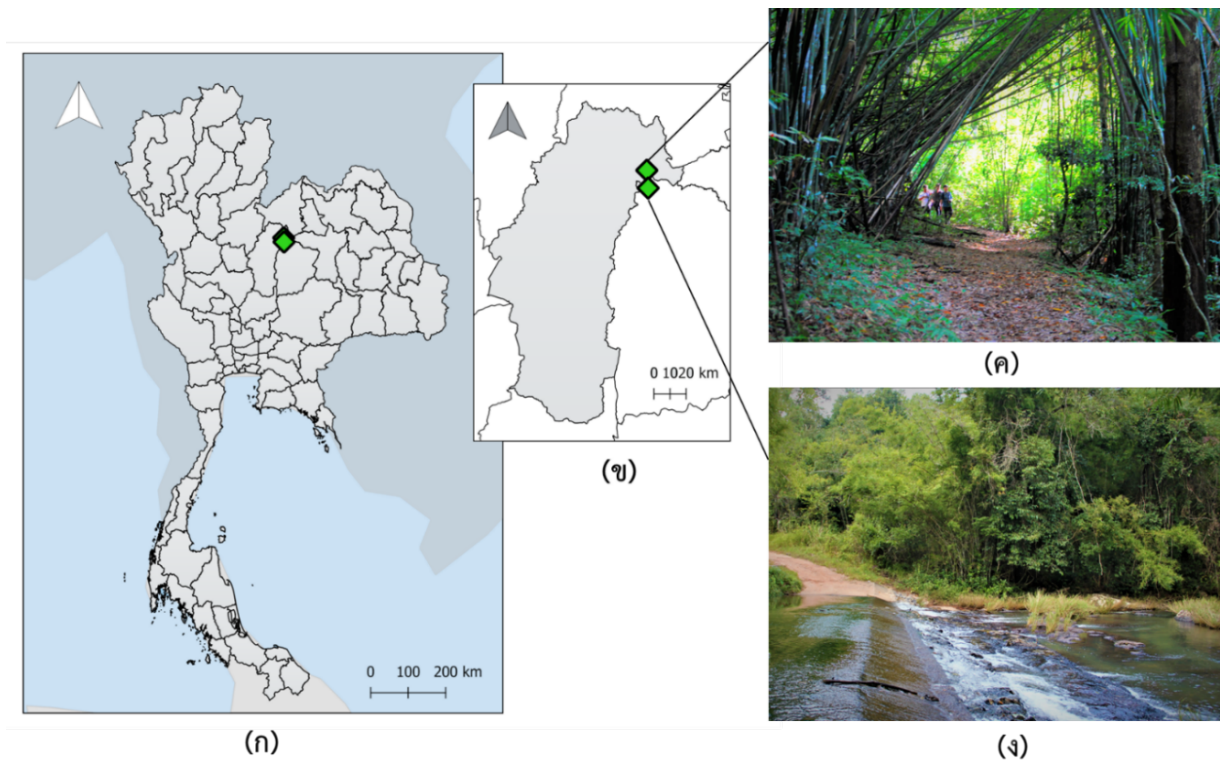
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน

เก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันโดยใช้สวิงจับแมลง (Insect sweep net) ทำการเก็บตัวอย่างเดือนละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม 2556 ทำการใช้สวิงโฉบเก็บผีเสื้อกลางวันโดยการเดินสำรวจเป็นแนวเส้นตรง (Line-transect) โดยมีระยะห่างจากแนวเส้นตรงฝั่งละประมาณ 10 เมตร เริ่มเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันทุกชนิดที่พบตั้งแต่วันที่ 8.00 น. ถึง 15.00 น. ในแนวเส้นตรงที่ทำการศึกษา นอกจากนั้นทำการตรวจวัดปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศโดยเทอร์มิสเตอร์ (หน่วย: องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์โดยไฮโกรมิเตอร์ (หน่วย: ร้อยละ)

สถานที่ศึกษา

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันจากบริเวณลำธารสองสถานี (รูปที่ 1ก-ข) คือ 1) สถานีห้วยหญ้าเครือ (รูปที่ 1ค) ตั้งอยู่บริเวณที่ทำการศูนย์บริการนักท่องเที่ยว (พิกัดสถานีเก็บตัวอย่าง $16^{\circ}44'25.15''\text{N}$, $101^{\circ}34'46.33''\text{E}$) บริเวณสถานีนี้เป็นเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติ มีลักษณะเป็นป่าดิบ พบพืชในวงศ์ทานตะวัน (Asteraceae) วงศ์เข็ม (Rubiaceae) วงศ์ถั่ว (Leguminosae) และวงศ์หญ้า (Poaceae) มีป่าไผ่แทรกค่อนข้างหนาแน่น เนื่องจากเป็นบริเวณรอยต่อของป่าเบญจพรรณและป่าดิบเขา 2) สถานีห้วยพรมแล้ง (รูปที่ 1ง) ตั้งอยู่บริเวณฝายกั้นน้ำ หน่วยพิทักษ์อุทยานพรมแล้ง (พิกัดสถานีเก็บตัวอย่าง $16^{\circ}38'24.02''\text{N}$, $101^{\circ}34'52.9''\text{E}$) ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากสถานีห้วยหญ้าเครือประมาณ 15 กิโลเมตร มีลักษณะป่าเป็นป่าดิบเขา มีป่าไผ่แทรก มักอยู่ริมลำธารห้วยพรมแล้ง พบพืชในวงศ์ทานตะวัน วงศ์เข็ม วงศ์ถั่ว และวงศ์หญ้า ส่วนพืชอาหารในสถานีห้วยพรมแล้ง พบพืชวงศ์หญ้ามากที่สุด รองลงมาคือพืชวงศ์เข็ม พืชวงศ์ถั่ว และพบพืชวงศ์ทานตะวันน้อยที่สุด (พิมพ์ดี และคณะ, 2558)



รูปที่ 1 สถานที่เก็บตัวอย่างในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ (ก-ข) ที่ตั้งสถานีเก็บตัวอย่างสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง (ค) สภาพแวดล้อมบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ (ง) สภาพแวดล้อมบริเวณสถานีห้วยพรมแล้ง

การเก็บรักษาตัวอย่าง และการระบุชนิดผีเสื้อกลางคืน

ตัวอย่างผีเสื้อกลางคืนจากสถานีเก็บตัวอย่างที่ถูกจับได้จะถูกการุณยฆาตโดยการบีบอัด (ศิริณ, 2547) และเก็บใส่ของกระดาศไขรูปสามเหลี่ยมเพื่อขนย้ายจากภาคสนาม นำกลับไประบุชนิดที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการจัดรูปร่างตัวอย่างโดยใช้เข็มปักแมลงปักบริเวณกลางอก จัดปีกให้กางออกโดยให้ขอบล่างของปีกคู่หน้าตั้งฉากกับลำตัว ขอบบนของปีกคู่หลังอยู่ใต้ขอบล่างของปีกคู่หน้า นำตัวอย่างที่จัดรูปร่างแล้วไปอบให้แห้งในตู้อบอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 15-30 วัน (ศิริณ, 2547) ระบุชนิดผีเสื้อกลางคืนโดยใช้เอกสารของ Pinratana (1981); Pinratana (1983); Pinratana (1985); Pinratana (1988); Pinratana (1992); Pinratana (1996); และ Ek-amnauy (2012)

การวิเคราะห์ค่าความคล้ายคลึง (Similarity index) และสหสัมพันธ์ (Correlations)

วิเคราะห์ความคล้ายคลึงของชนิดผีเสื้อกลางคืนทั้งสองสถานีโดยใช้ Sorensen index (Southwood, 1968) ดังสมการที่ 1

$$C_s = I_{AB} = \frac{2j}{a+b} \dots\dots\dots(1)$$

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์กับจำนวนความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางคืน โดยใช้โปรแกรม SPSS version 19.0

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวพบผีเสื้อกลางวันทั้งหมด 80 ชนิด สามารถจัดจำแนกออกได้ทั้งสิ้น 52 สกุล 5 วงศ์ ได้แก่ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู (Nymphalidae) พบจำนวนชนิดมากที่สุด คือ 28 สกุล 43 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Lyceanidae) 18 สกุล 20 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (Papilionidae) 3 สกุล 10 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Pieridae) 4 สกุล 6 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Hesperiidae) พบจำนวนชนิดน้อยที่สุด คือ 1 สกุล 1 ชนิด ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2) จากข้อมูลดังกล่าวนำมาคิดเป็นร้อยละจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันที่พบทั้งหมดในการศึกษารังนี้ ได้แก่ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู (ร้อยละ 53) โดยพบจำนวนชนิดมากที่สุด รองลงมา คือ วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (ร้อยละ 25) วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (ร้อยละ 12) วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (ร้อยละ 9) และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (ร้อยละ 1) โดยพบจำนวนชนิดน้อยที่สุด ตามลำดับ (รูปที่ 1) เมื่อพิจารณาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันทั้งในทั้งสองสถานี พบว่า สถานีห้วยหญ้าเหวมีความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันสูงกว่าสถานีห้วยพรมแล้ง กล่าวคือ พบผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 57 ชนิด ได้แก่ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู พบจำนวนชนิดมากที่สุด คือ 17 สกุล 28 ชนิด รองลงมาคือ วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน 13 สกุล 13 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง 3 สกุล 9 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ 4 สกุล 6 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว 1 สกุล 1 ชนิด ตามลำดับ ส่วนสถานีห้วยพรมแล้งพบความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 48 ชนิด ได้แก่ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู พบจำนวนชนิดมากที่สุดเช่นเดียวกับสถานีห้วยหญ้าเหว โดยพบทั้งหมด 23 สกุล 31 ชนิด รองลงมาคือ วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน 8 สกุล 9 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง 2 สกุล 6 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ 2 สกุล 2 ชนิด ตามลำดับ จากการสำรวจในครั้งนี้ไม่พบผีเสื้อกลางวันวงศ์ผีเสื้อบินเร็วในสถานีห้วยพรมแล้ง (ตารางที่ 2) จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบผีเสื้อกลางวันกระจายตัวในทั้งสองสถานีถึง 25 ชนิด จากรูปที่ 3 แสดงร้อยละจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันทั้งที่พบทั้งหมดในการศึกษารังนี้โดยจำแนกตามวงศ์ของผีเสื้อกลางวันทีสำรวจพบในแต่ละสถานี พบว่า บริเวณสถานีห้วยหญ้าเหว พบผีเสื้อวงศ์ขาหน้าฟูมากที่สุด (ร้อยละ 49.12) รองมาด้วยวงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (ร้อยละ 22.81) วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (ร้อยละ 15.79) วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (ร้อยละ 10.53) และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (ร้อยละ 1.75) ตามลำดับ ส่วนสถานีห้วยพรมแล้งพบจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันวงศ์ขาหน้าฟูมากที่สุดเช่นเดียวกับสถานีห้วยหญ้าเหว คิดเป็นร้อยละ 64.58 รองมาด้วยวงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (ร้อยละ 18.75) วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (ร้อยละ 12.50) และวงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (ร้อยละ 4.17) ตามลำดับ จากผลการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในแต่ละวงศ์ในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า สถานีห้วยหญ้าเหวมีจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันในวงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ และวงศ์ผีเสื้อบินเร็วกว่าสถานีห้วยพรมแล้ง มีเพียงความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในวงศ์ขาหน้าฟูเท่านั้นที่มีจำนวนชนิดในสถานีห้วยพรมแล้งมากกว่าสถานีห้วยหญ้าเหว (รูปที่ 3 และ 4) โดยภาพตัวอย่างผีเสื้อกลางวันชนิดต่าง ๆ ในแต่ละวงศ์ ได้แก่ ผีเสื้อสีน้ำเงิน ผีเสื้อหางติ่ง ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ และผีเสื้อขาหน้าฟู ที่สำรวจพบในสถานีห้วยหญ้าเหวและสถานีห้วยพรมแล้ง แสดงดังรูปที่ 5-6 ผลการวิเคราะห์ค่าความคล้ายคลึงของชนิดผีเสื้อกลางวันในทั้งสองสถานีเท่ากับ 0.47 เมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ กับความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันโดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.696$) กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น หรือลดต่ำลง จำนวนความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันทีสำรวจพบก็มีจำนวนมาก หรือน้อยลงไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบ ($r = -0.018$) กล่าวคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีปริมาณสูงขึ้น ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันทีสำรวจพบมีจำนวนน้อยลง หรือเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้าม

ตารางที่ 1 จำนวนสกุลและชนิดของผีเสื้อกลางวันที่สำรวจพบบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

วงศ์	สถานีห้วยหญ้าเครือ		สถานีห้วยพรมแล้ง		รวมสองสถานี	
	สกุล	ชนิด	สกุล	ชนิด	สกุล	ชนิด
Hesperiidae	1	1	-	-	1	1
Lyceanidae	13	13	8	9	18	20
Nymphalidae	17	28	23	31	28	43
Papilionidae	3	9	2	6	3	10
Pieridae	4	6	2	2	4	6
รวม	38	57	35	48	54	80

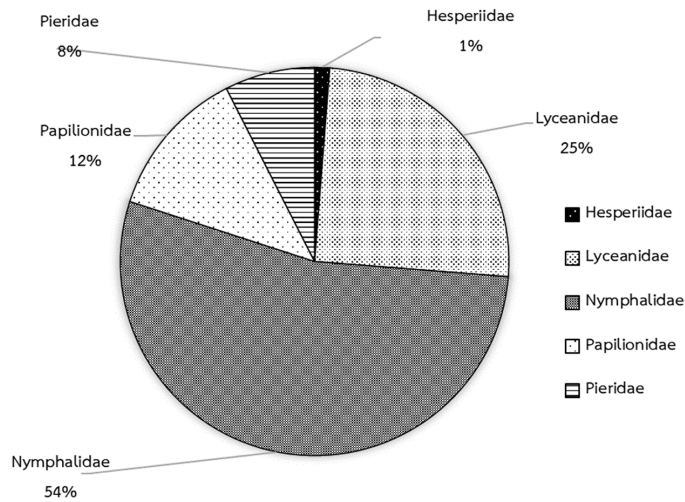
ตารางที่ 2 ชนิดของผีเสื้อกลางวันที่พบบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

วงศ์	วงศ์ย่อย	ชนิด	ชื่อสามัญ	สถานี ห้วยหญ้า เครือ	สถานี ห้วยพรมแล้ง
Hesperiidae	Coeliadinae	<i>Badamia exclamationis</i>	หน้าเข็มสีตาล	+	-
Lyceanidae	Miletinae	<i>Miletus archilochus</i>	หนอนกินเพลี้ยสยาม	-	+
	Polyommatainae	<i>Anthene emolus goberus</i>	ฟ้าขอบธรรมดา	+	-
		<i>Caleta elna elvira</i>	หนอนพุทราแถบหัก	+	-
			ศอก		
		<i>Castalius rosimon</i>	หนอนพุทราธรรมดา	+	-
		<i>Catochrysops panormus</i>	ฟ้าดอกถั่วสีเงิน	+	-
		<i>Jamides celeno celeno</i>	ฟ้าวารสีต่างฤดู	+	+
		<i>Nacaduba kurava</i>	ฟ้าขีดหกปีกจาง	-	+
		<i>Nacaduba pectorus</i>	ฟ้าขีดสี่ใหญ่	+	+
		<i>Pithecops corvus corvus</i>	ดำจุดขอบ	+	-
		<i>Prosotas aluta</i>	ฟ้าขีดทลายเข้ม	+	-
		<i>Udara toxopeus</i>	ฟ้าพุ่มขอบปีกจาง	-	+
	Poritiinae	<i>Simiskina phalia phalia</i>	ประกายฟ้า	+	
	Riodininae	<i>Dodona deodata deodata</i>	ภูเขาสะพายขาว	-	+
		<i>Abisara abnormis</i>	กิ้งปึกหุบลายแปลก	+	-
		<i>Abisara geza niya</i>	กิ้งปึกหุบจุดเด่น	-	+
	Theclenae	<i>Hypolycaena erylus</i>	พุ่มไม้ธรรมดา	-	+
		<i>Amblypodia narada</i>	ม่วงใบไม้ใหญ่	-	+
		<i>Cheritra freja evansi</i>	ขาวหางรี	+	-
		<i>Pseudotajuria donatana arooni</i>	หางคู่สีขมิ้น	+	-
		<i>Spindasis lohita</i>	ขีดเงินลายขอ	+	-
Nymphalidae	Apaturinae	<i>Mimathyma ambica miranda</i>	เจ้าชายม่วงอินเดีย	-	+

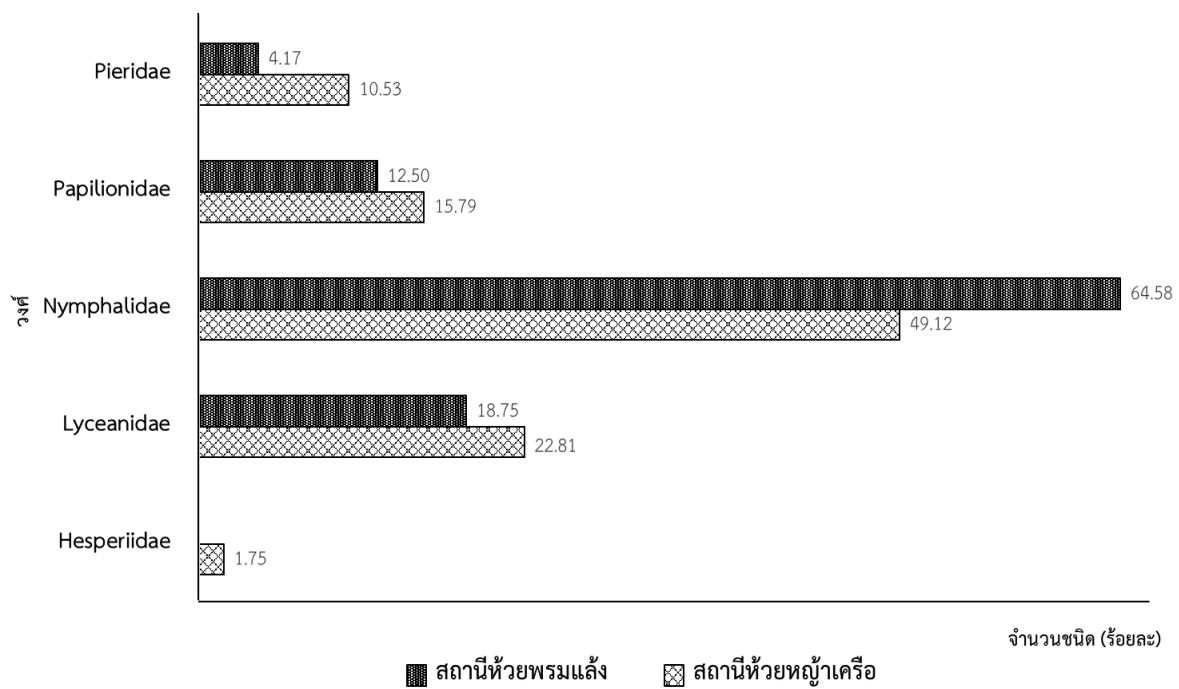
วงศ์	วงศ์ย่อย	ชนิด	ชื่อสามัญ	สถานี ห้วยหญ้า เครือ	สถานี ห้วยพรมแล้ง
		<i>Rohana tonkiniana</i>	เจ้าชายดำขอบปีกเรียบ	+	-
	Biblidinae	<i>Ariadne merione</i>	หนอนละหู่ธรรมดา	+	-
	Charaxinae	<i>Polyura jalysus jalysus</i>	ม้าเหี่ยวลายแถบกว้าง	-	+
	Cyrestinae	<i>Chersonesia intermedia</i> <i>intermedia</i>	แผนที่แดงลายประ	-	+
		<i>Cyrestis thyodamus</i> <i>thyodamus</i>	แผนที่ธรรมดา	-	+
	Danainae	<i>Euploea camaralzeman</i> <i>camaralzeman</i>	จรวดลือฟ้ามลายู	-	+
		<i>Euploea core cramer</i>	จรวดหนอนยี่โถ	+	+
		<i>Euploea klugii erichsonii</i>	จรวดสีตาล	+	
		<i>Euploea mulciber mulciber</i>	จรวดเมี่ยงลาย	+	+
		<i>Euploea radamanthus</i> <i>radamanthus</i>	จรวดดำขาว	+	+
		<i>Parantica aglea melanoides</i>	ลายเสือขีตยา	+	+
		<i>Parantica melaneus</i> <i>melaneus</i>	ลายเสือสีตาล	+	+
		<i>Tirumala septentrionis</i> <i>septentrionis</i>	ลายเสือสีฟ้าเข้ม	+	+
Nymphalidae	Heliconiinae	<i>Cethosia biblis parakana</i>	กะทกรกแดง	+	+
		<i>Phalanta alcippe</i> <i>alcippoides</i>	ดาวเล็ก	+	+
		<i>Vagarans sinha sinha</i>	พเนจร	-	+
	Libytheinae	<i>Libythea myrrha</i>	หัวแหลมกระบอง	+	+
	Limenitidinae	<i>Athyma perius perius</i>	จำกระบอง	+	-
		<i>Athyma ranga</i>	จำเส้นปีกดำ	+	+
		<i>Cynitia lepidea sthavra</i>	เคาท์เทา	-	+
		<i>Moduza procris procris</i>	ฟ้าแถบขาวธรรมดา	-	+
		<i>Neptis hordonia</i>	กะลาสีแดงธรรมดา	-	+
		<i>Neptis hylas kamarupa</i>	กะลาสีธรรมดา	+	+
		<i>Neptis nata gononata</i>	กะลาสีตาลใต้เรียบ	-	+
		<i>Tanaecia julioidilina</i>	ไวส์เคาท์ขอบฟ้า		+
	Nymphalinae	<i>Hypolimnas bolina</i>	ปีกไขใหญ่	-	+
		<i>Junonia atlites atlites</i>	แพนซีเทา	-	+
		<i>Junonia iphita iphita</i>	แพนซีตาลไหม้	+	+
		<i>Junonia lemonias lemonias</i>	แพนซีสีตาล	+	+
		<i>Kaniska canace</i>	ปีกแห้ว	-	+
		<i>Vindula erota</i>	ตาลหางแหลมธรรมดา	+	+
	Satyrinae	<i>Erites falcipennis falcipennis</i>	ปีกใสจุดตาธรรมดา	+	
		<i>Lethe confusa confusa</i>	เลอะเทอะลายแถบ	+	+

วงศ์	วงศ์ย่อย	ชนิด	ชื่อสามัญ	สถานี ห้วยหญ้า เครือ	สถานี ห้วยพรมแล้ง
		<i>Lethe europa</i>	เลอะเทอะป่าไผ่	+	-
		<i>Lethe rohria rohria</i>	เลอะเทอะธรรมดา	+	-
		<i>Melanitis leda leda</i>	สายัณห์สีตาลธรรมดา	+	-
		<i>Mycalesis intermedia</i>	ตาลพุ่มคั่นกลาง	+	-
		<i>Mycalesis malsara</i>	ตาลพุ่มพาดขาว	-	+
		<i>Mycalesis mineus mineus</i>	ตาลพุ่มสีจุดเรียง	+	+
		<i>Mycalesis mnascles perna</i>	ตาลพุ่มใหญ่	+	-
		<i>Mycalesis perseus tabistha</i>	ตาลพุ่มธรรมดา	+	-
		<i>Ypthima baldus</i>	สีตาลจุดดำหาธรรมดา	+	-
Papilionidae	Papilioninae	<i>Graphium agamemnon</i>	หนอนจำปีธรรมดา	+	+
		<i>agamemnon</i>			
		<i>Graphium saepedon</i>	สะพายฟ้า	+	+
		<i>sarpedon</i>			
		<i>Pachliopta aristolochiae</i>	หางตุ้มจุดชมพู	+	-
		<i>goniopeltis</i>			
		<i>Papilio demoleus demoleus</i>	หนอนมะนาว	+	
		<i>Papilio helenus helenus</i>	หางติ่งเฮเลน	+	+
		<i>Papilio memnon agenor</i>	หางติ่งนางละเวง	-	+
		<i>Papilio nephelus annulus</i>	หางติ่งชะอ้อน	+	+
		<i>Papilio nobeli</i>	หางติ่งโนเบล	+	
Papilionidae	Papilioninae	<i>Papilio paris paris</i>	หางติ่งปารีส	+	+
		<i>Papilio polytes</i>	หางติ่งธรรมดา	+	-
Pieridae	Coliadinae	<i>Catopsilia pomona</i>	หนอนคุณธรรมดา	+	-
		<i>pomona</i>			
		<i>Eurema hecabe hecabe</i>	เณรธรรมดา	+	+
		<i>Eurema laeta pseudoplaeta</i>	เณรไร้จุดลายขีด	+	-
	Pierinae	<i>Appias albina</i>	หนอนใบกุ่มธรรมดา	+	+
		<i>Delias agostina agostina</i>	หนอนกาฝากเหลือง	+	-
		<i>Delias pasithoe pasithoe</i>	หนอนกาฝากใต้ปีกแดง	+	-

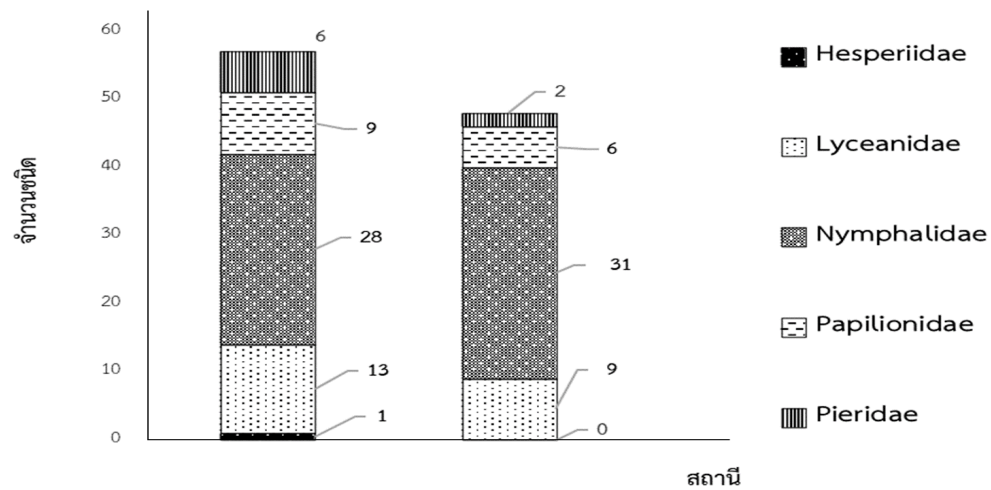
หมายเหตุ: สัญลักษณ์ (+) แสดงการสำรวจพบผีเสื้อกลางวัน, สัญลักษณ์ (-) แสดงการถูกสำรวจไม่พบผีเสื้อกลางวัน



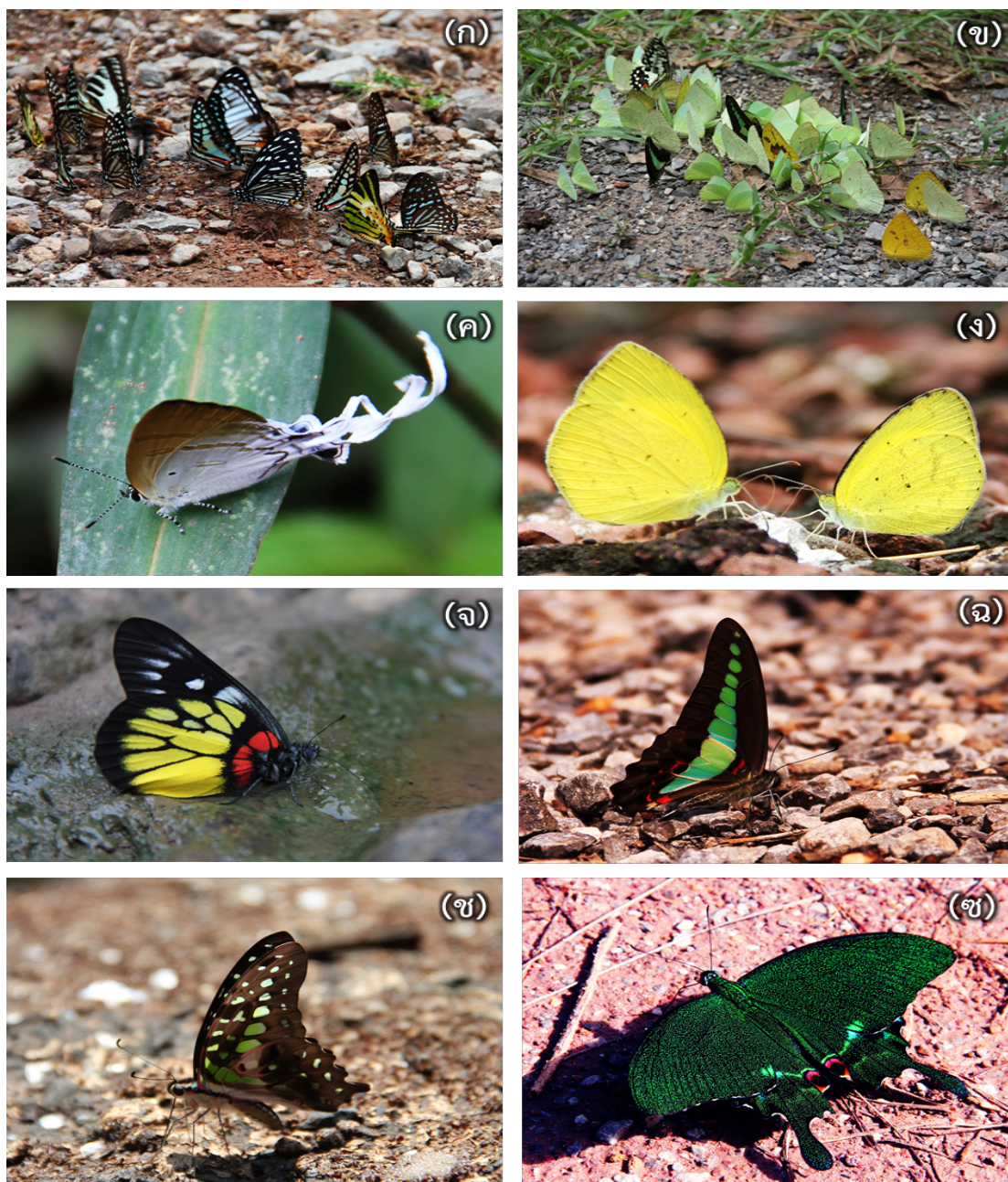
รูปที่ 2 ร้อยละจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันที่พบทั้งหมดโดยจำแนกตามวงศ์ที่สำรวจพบทั้งบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง เขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว



รูปที่ 3 ร้อยละจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันในแต่ละวงศ์ที่สำรวจพบบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว



รูปที่ 4 จำนวนชนิดผีเสื้อกลางวันในแต่ละวงศ์ที่สำรวจพบในบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว



รูปที่ 5 ตัวอย่างผีเสื้อกลางวันที่พบบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
 (ก)-(ข) ผีเสื้อที่สำรวจพบ (ค) ผีเสื้อขาวหางรี้ว (*Cheritra freja evansi*)
 (ง) ผีเสื้อเณรธรรมดา (*Eurema hecabe hecabe*)
 (จ) ผีเสื้อหนอนกาฝากไต้ปีกแดง (*Delias pasithoe pasithoe*)
 (ฉ) ผีเสื้อสะพายฟ้า (*Graphium saepedon sarpedon*)
 (ช) ผีเสื้อหนอนจำปีธรรมดา (*Graphium agamemnon agamemnon*)
 (ซ) ผีเสื้อหางติ่งปารีส (*Papilio paris paris*)



รูปที่ 6 ตัวอย่างผีเสื้อกลางวันที่พบบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

- (ก) ผีเสื้อจกราเมียลาย (*Euploea mulciber mulciber*)
- (ข) ผีเสื้อฟ้าแถบขาวธรรมดา (*Moduza procris procris*)
- (ค) ผีเสื้อกะทกรกแดง (*Cethosia biblis parakana*)
- (ง) ผีเสื้อปีกแห้ว (*Kaniska canac*)
- (จ) ผีเสื้อแผนที่ธรรมดา (*Cyrestis thyodamus thyodamus*)
- (ฉ) ผีเสื้อฟ้าแถบขาวธรรมดา (*Moduza procris procris*)
- (ช) ผีเสื้อเจ้าชายดำขอบปีกเรียบ (*Rohana tonkiniana*)
- (ซ) ผีเสื้อตาลหางแหลมธรรมดา (*Vindula erota*)

การอภิปรายผล

การศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ จากจำนวนสองสถานีเก็บตัวอย่าง ได้แก่ สถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง พบผีเสื้อกลางวันทั้งสิ้น 80 ชนิด โดยวงศ์ที่มีจำนวนชนิดมากที่สุด คือ วงศ์ผีเสื้อขาหน้าพู (Nymphalidae) จำนวน 48 ชนิด (ร้อยละ 49.12) เนื่องจากผีเสื้อขาหน้าพูนี้มีจำนวนสมาชิกมากที่สุดเมื่อเทียบกับผีเสื้อในวงศ์อื่น ๆ เนื่องจากผีเสื้อขาหน้าพูสามารถกินพืชอาหารได้หลากหลาย หรือมีแหล่งอาหารจำนวนมาก ส่งผลให้ผีเสื้อกลางวันวงศ์นี้มีการถูกสำรวจพบได้มาก ดังนั้นจากการศึกษาจึงพบผีเสื้อขาหน้าพูทั้งบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้งมากกว่าผีเสื้อกลางวันวงศ์อื่น ผีเสื้อกลางวันที่พบรองลงมา คือ วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Lyceanidae) จำนวน 20 ชนิด (ร้อยละ 22.81) โดยผีเสื้อสีน้ำเงินนี้เป็นอีกวงศ์หนึ่งที่มีจำนวนสมาชิกมากเช่นกัน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงพบผีเสื้อกลางวันวงศ์ผีเสื้อขาหน้าพูและวงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงินตลอดเส้นทางการสำรวจ เช่นเดียวกันกับการศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติและสถานีรักษาพันธุ์สัตว์ป่าอื่น ๆ เช่น สถานีรักษาพันธุ์สัตว์ป่าโตงนางข้าง (Boonvanno et al., 2000) และอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ (วัฒนชัย และคณะ, 2550) เป็นต้น นอกจากนั้นพบผีเสื้อกลางวันวงศ์หางติ่ง (Papilionidae) จำนวน 10 ชนิด (ร้อยละ 15.79) วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Pieridae) จำนวน 6 ชนิด (ร้อยละ 10.53) และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Hesperiidae) จำนวน 1 ชนิด (ร้อยละ 1.75) ผีเสื้อบินเร็วนี้มีจำนวนชนิดน้อยที่สุดในการศึกษา เนื่องจากผีเสื้อบินเร็วมีลักษณะกระพือปีกเร็วในระหว่างการบิน ทำให้บินได้เร็วกว่าผีเสื้อในวงศ์อื่น ๆ ทำให้ยากต่อการจับผีเสื้อในวงศ์ดังกล่าวมากกว่าวงศ์อื่น นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่า ผีเสื้อบินเร็วบางชนิด อาจมีพฤติกรรมออกหากินในเวลาพลบค่ำ หรือเช้ามืด ส่วนเวลาช่วงกลางวันมักอาศัยและหลบซ่อนอยู่ในที่มืดเพื่อหลบหลีกศัตรู ทำให้ผีเสื้อบินเร็วมักมีสีเข้ม เช่น สีน้ำตาล เทา และดำ (Nuhm and Reeves, 1980) ส่งผลให้สำรวจพบผีเสื้อวงศ์บินเร็วได้ยาก จากการศึกษาในครั้งนี้พบผีเสื้อในวงศ์นี้เพียงหนึ่งชนิดในสถานีห้วยหญ้าเครือเท่านั้น คือ *Badamia exclamationis* (ผีเสื้อหน้าเข็มสีตาล) ผลความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวในการศึกษารุ่นนี้เมื่อเทียบกับการศึกษาโดย สุรชัย และ ชลธร (2541) พบว่าในการศึกษานี้มีจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันน้อยกว่ารายการก่อนหน้า ที่มีรายงานการพบผีเสื้อกลางวันจำนวน 323 ชนิด เนื่องจากในการศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันเพียง 2 สถานีเท่านั้น และเก็บตัวอย่างเพียงเดือนละ 1 ครั้ง บริเวณรอบลำธาร แต่จากการศึกษาโดย สุรชัย และชลธร (2541) ทำการเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันจากพื้นที่ป่าชนิดต่าง ๆ คือ ป่าดงดิบ ป่าเบญจพรรณ ป่าสนเขา ป่าเต็งรัง และทุ่งหญ้า รวมถึงทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 1 ปี ทำให้สำรวจพบผีเสื้อกลางวันมากกว่า อย่างไรก็ตามผีเสื้อกลางวันที่พบในการศึกษานี้ส่วนมากเกือบทั้งหมดเป็นชนิดที่เคยรายงานไว้แล้ว ทำให้ทราบได้ว่าความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวยังคงเป็นตัวบ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของป่าหรือเป็นดัชนีชี้วัดความหลากหลายทางชีวภาพนี้ยังมีแนวโน้มที่ค่าความยังคงสมบูรณ์

ผลการศึกษาค่าความคล้ายคลึง ของชนิดผีเสื้อกลางวันที่พบบริเวณแนวสำรวจของสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง พบว่ามีค่าความคล้ายคลึงเท่ากับ 0.47 เนื่องจากบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเส้นทางศึกษาทางธรรมชาติที่เดินผ่านป่าดิบแล้งแทรกด้วยป่าไผ่ ทำให้พื้นที่เก็บตัวอย่างจากเมื่อสำรวจเป็นแนวเส้นตรง ระยะทาง 10 เมตร ครอบคลุมส่วนที่เป็นพื้นที่ป่าโดยส่วนมาก นอกจากนั้นสถานีห้วยหญ้าเครือยังครอบคลุมพื้นที่เปิดโล่งบริเวณหลังศูนย์บริการนักท่องเที่ยว ซึ่งมีสภาพป่าเป็นพื้นที่เปิดโล่งในป่าดิบแล้งอีกด้วย ส่วนบริเวณสถานีห้วยพรมแล้งมีลักษณะเป็นลำธารขนาดกว้าง มีฝายกั้นน้ำตัดผ่าน และมีสภาพป่าข้างลำธารเป็นป่าดิบแล้ง ทำให้บริเวณสถานีห้วยพรมแล้งบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันมีลักษณะแหล่งอาศัยเป็นพื้นที่ลาดหินโล่ง และป่าโปร่งเป็นส่วนมาก เมื่อทำการวัดระยะห่างจากแนวเส้นที่ทำการเก็บตัวอย่างออกมา 10 เมตร จึงครอบคลุมพื้นที่ป่าน้อยกว่าบริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือ รวมถึงพืชอาหารของผีเสื้อกลางวันของสถานีสืบศึกษาทั้งสองสถานียังมีความแตกต่างกัน คือ บริเวณสถานีห้วยหญ้าเครือพบพืชในวงศ์ทานตะวัน (Asteraceae) มากที่สุด รองลงมาคือ วงศ์เข็ม (Rubiaceae) วงศ์ถั่ว (Leguminosae) และวงศ์หญ้า (Poaceae) ส่วนพืช

อาหารในสถานีห้วยพรมแล้ง พบพืชวงศ์หญ้ามากที่สุด รองลงมาคือพืชวงศ์เข็ม พืชวงศ์ถั่ว และพบพืชวงศ์ทานตะวันน้อยที่สุด (พิมพ์ดี และคณะ, 2558) ดังนั้นบริเวณแหล่งอาศัยและพืชอาหารที่แตกต่างกันของทั้งสองสถานีนี้อาจส่งผลทำให้ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความแตกต่างกัน คือ พบผีเสื้อกลางวันจำนวน 57 ชนิด และ 48 ชนิด ในสถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้งตามลำดับ และมีจำนวน 25 ชนิดที่กระจายตัวในทั้งสองสถานี ดังนั้นปัจจัยของพืชอาหารซึ่งเชื่อมโยงกับแหล่งอาศัยนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อชนิดและการกระจายตัวของผีเสื้อกลางวัน (Tiple and Khurad, 2009; Subedi et al., 2021)

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ กับความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันโดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ($r = 0.696$) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม ($r = -0.018$) เนื่องจากผีเสื้อกลางวันมักอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่ค่อนข้างมีอุณหภูมิอากาศสูง เพราะอุณหภูมิอากาศมีผลต่อการเจริญพัฒนาของตัวหนอนผีเสื้อและดักแด้ระยะสุดท้าย ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลให้หนอนผีเสื้อเจริญเข้าสู่ระยะดักแด้เร็วมากขึ้น การเจริญเติบโตของผีเสื้อกลางวันจึงสูงขึ้นตาม อุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับจำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวัน (พงศ์เทพ, 2553; Alarape et al., 2015) ส่วนความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม หรือในทางลบ เนื่องจากเมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง หรือมีปริมาณความชื้นในอากาศสูง มักส่งผลทำให้หนอนผีเสื้อกลางวันเกิดการเข้าสู่ระยะพักตัว และส่งผลต่อการเจริญเป็นตัวเต็มวัย ทำให้ประชากรตัวเต็มวัยของผีเสื้อกลางวันและจำนวนชนิดลดน้อยลง ดังนั้นปัจจัยทางกายภาพ โดยเฉพาะสภาพอากาศจึงส่งผลต่อชนิดและการกระจายตัวของผีเสื้อกลางวันด้วยเช่นกัน (พงศ์เทพ, 2553; Tiple and Khurad, 2009; Alarape et al., 2015)

บทสรุป

การศึกษานี้ทำการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันเบื้องต้นในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ จากสถานีเก็บตัวอย่างสองสถานี ได้แก่ สถานีห้วยหญ้าเครือ และสถานีห้วยพรมแล้ง ผลการศึกษพบผีเสื้อกลางวัน 80 ชนิด จัดจำแนกเป็น 52 สกุล 5 วงศ์ ได้แก่ วงศ์ขาหน้าฟู (Nymphalidae) พบจำนวนชนิดมากที่สุด คือ 43 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Lyceanidae) 20 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (Papilionidae) 10 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Pieridae) 6 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Hesperiidae) พบจำนวนชนิดน้อยที่สุด คือ 1 ชนิด ตามลำดับ พบว่าทั้งสองสถานศึกษามีความคล้ายคลึงของผีเสื้อกลางวันเท่ากับ 0.47 นอกจากนั้นปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์กับจำนวนชนิดผีเสื้อกลางวัน คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มักพบชนิดของผีเสื้อกลางวันจำนวนสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น มักพบชนิดของผีเสื้อกลางวันน้อยลง จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวยังคงเป็นไปในทิศทางที่ดี เนื่องจากความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันสามารถใช้เป็นดัชนีความหลากหลายได้ และเมื่อเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า ที่มีการรายงานไว้เมื่อประมาณยี่สิบปีก่อน พบว่า ชนิดของผีเสื้อกลางวันส่วนใหญ่ยังคงสามารถพบเห็นได้ อย่างไรก็ตามการศึกษารุ่นนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นที่ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ซึ่งคาดว่าจะการศึกษาความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวในอนาคตมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวเป็นอุทยานแห่งชาติที่มีชื่อเสียงหนึ่งในประเทศไทย มีนักท่องเที่ยวเยี่ยมชมมาก มีทัศนียภาพที่สวยงาม มีผีเสื้อกลางวันนานาชนิด หากมีข้อมูลการศึกษาเพิ่มขึ้นนี้จะช่วยเป็นข้อมูลสำคัญในการจัดสรรกลยุทธ์ในการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ รวมถึงยังทำให้เกิดการส่งเสริมการท่องเที่ยวอนุรักษ์ได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่หน่วยพิทักษ์ป่า นายภูสิทธิ์ ออบมาลี ประจำอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ในการช่วยเก็บตัวอย่างและถ่ายภาพผีเสื้อกลางวันตลอดระยะเวลาทำการศึกษา ขอขอบคุณ ดร. รุ่งนภา สมนาค และนางสาวจุฑามาศ ศรีปัญญา ในการช่วยเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวัน ขอขอบคุณกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ในการอนุญาตให้ทำการศึกษา และเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ขอขอบคุณกลุ่มอุทยานผีเสื้อเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการอนุเคราะห์เพื่อการเก็บตัวอย่างผีเสื้อกลางวันเพื่อใช้ในการระบุชนิด ขอขอบคุณ รศ.ดร.นันทศักดิ์ ปิ่นแก้ว และทีมวิจัยจากภาควิชาชีววิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำหรับการตรวจสอบและยืนยันชนิดตัวอย่างผีเสื้อกลางวันจากการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- พงศ์เทพ สุวรรณวารี. (2553). ความสัมพันธ์ของความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันและระบบนิเวศป่าแบบต่าง ๆ ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. รายงานการวิจัย. สาขาชีววิทยา สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา.
- พิมพ์ดี พรพงศ์รุ่งเรือง, ญัฐภูมิ ไตรยุทธชัย และธีระวัฒน์ ศรีสุข. (2558). ความหลากหลายชนิดของพืชดอกในป่าเขาน้ำบริเวณลำห้วยห้วยเครือและห้วยพรมแล้ง อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 7(2): 97-110.
- วัฒน์ชัย ตาเสน, กอบศักดิ์ วันธงชัย, สาธิต ปิ่นกุล และเดชา วิวัฒน์วิทยา. (2550). ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวนศาสตร์. 26: 12-27.
- สุรัชย์ ชลดำรงกุล และชลธร ชำนาญคิด. (2541). การใช้ผีเสื้อกลางวันเป็นดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 5: 147-161.
- สุวัฒน์ อัสวไชยชาญ. (2541). หนังสือชุดท่องเที่ยวอุทยาน: อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์สารคดี: กรุงเทพฯ.
- ศิริณี พูนไชยศรี. (2547). การเก็บตัวอย่างแมลงเพื่อการศึกษาวิจัย. กลุ่มวิจัยกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: กรุงเทพฯ.
- Alarape A.A., Omifolaji J.K. and Mwansat G.S. (2015). Butterfly species diversity and abundance in university of Ibadan botanical garden, Nigeria. Open Journal of Ecology. 5: 352-360.
- Boonvanno K., Watanasit S. and Permkam S. (2000). Butterfly diversity at Ton Nga-Chang wildlife sanctuary, Songkhla Province, Southern Thailand. Science Asia. 26: 105-110.
- Ek-Amnuay, P. (2012). Butterflies of Thailand. 2nd Edition. Ammarin Printing and Publishing: Bangkok.
- Ghazoul J. (2002). Impact of logging on the richness and diversity of forest butterflies in a tropical dry forest in Thailand. Biodiversity and Conservation. 1: 521-54.
- Kemabonta K.A., Ebiyon A.S. and Olaleru F. (2015). The butterfly fauna of three varying habitats in south western Nigeria. FUTA Journal of Research in Sciences. 1: 1-6.
- Koneri R and Nangoy M.J. (2019). Butterfly community structure and diversity in Sangihe islands, north Sulawesi, Indonesia. Applied Ecology and Environmental Research. 17(2): 2501-2517.

- Nuhn R.L. and Reeves P.A. (2523). ผีเสื้อบางชนิดที่พบในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่. แปลจาก Some butterflies of Khao Yai National Park. โดย รจิต บุรี, ประสิทธิ์ บุรี และอรอนงค์ สีนจำปาสัก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์กรุงเทพ
เวชสาร: กรุงเทพฯ.
- Okamoto S., Tomita M., Choosai C. and Hanboonsong Y. (2013). A study on geographical distribution of Papilionidae in Thailand. *Evolutionary Science*. 18: 29-42.
- Pinratana A. (1981) Butterflies in Thailand, Vol. 4. The Viratham Press: Bangkok.
- Pinratana A. (1983) Butterflies in Thailand. Vol 2. The Viratham Press: Bangkok.
- Pinratana A. (1985) Butterflies in Thailand. Vol 5. The Viratham Press: Bangkok.
- Pinratana A. (1988) Butterflies in Thailand. Vol 6. The Viratham Press: Bangkok.
- Pinratana A. (1992) Butterflies in Thailand. Vol 1. The Viratham Press, Bangkok.
- Pinratana A. (1996) Butterflies in Thailand. Vol 3. The Viratham Press: Bangkok.
- Southwood T.R.E. (1978). *Ecological Methods*. Methuen & Co. Ltd: London.
- Subedi B., Stewart A.B., Neupane B., Ghimire S. and Adhikari H. (2021). Butterfly species diversity and their floral preferences in the Rupa wetland of Nepal. *Ecology and Evolution*. 11: 2086–2099.
- Tiple A.D. and Khurad A.M. (2009). Butterfly species diversity, habitats, and seasonal distribution in and around Nagpur city, central India. *World Journal of Zoology*. 4(3): 153-162.
- Triplehorn C.A. and Johnson N.F. (2005). *Study of insects*. 7th Edition. Thomson Learning: Singapore.

Received: October 19, 2021; Revised: December 20, 2021; Accepted: December 28, 2021

การปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์
กรณีศึกษา: บริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย
Improving the production process of motorcycle crankshaft
case study of Revaltech Thailand

ธีรภัทร สิ้นสันเทียะ¹ และพูนธนะ ศรีสระคู^{1*}Trerapat Sinsuntrai¹ and Poontana Sresracoo^{1*}¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

*Corresponding Author E-mail Address: poontana.teay@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาวางผังกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษาบริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย ที่มีกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการซึ่งมีกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ที่มีอยู่ 33 ขั้นตอน และในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์จะมีกระบวนการที่เกิดความสูญเสียเปล่า เช่น กระบวนการเดินไปเอาวัสดุหรือกระบวนการรอวัสดุ และการวางเครื่องจักรที่ซับซ้อน ที่ทำให้กระบวนการผลิตนั้นเกิดการล่าช้า ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ทำให้เสียเวลาและระยะทาง ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้นำแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H และหลักการแก้ปัญหา ECRC เพื่อแก้ไขกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์จากเดิมมีขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 33 ขั้นตอน และได้ทำการลดขั้นตอนการผลิตให้มีความเหมาะสมเท่ากับ 30 ขั้นตอน และเมื่อทดสอบแล้วนำมาประเมินสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ เช่น กระบวนการลดลง เวลาลดลง ระยะทางลดลง เวลาในการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,481 วินาที และหลังปรับปรุงเท่ากับ 1,339 วินาที ซึ่งมีผลลัพธ์หลังการเปรียบเทียบเท่ากับ 141 วินาที ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 26.67 เมื่อสามารถลดขั้นตอนการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ลงได้จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ผู้บริหารบริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย พิจารณาถึงความเหมาะสมในการไปพัฒนากระบวนการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตของบริษัทต่อไป

คำสำคัญ: หลักการ ECRC การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ปรับปรุงผังกระบวนการผลิต การวางผังกระบวนการผลิต

Abstract

This research is to improve the production process of motorcycle crankshaft. A case study of Revaltech Thailand with insufficient production capacity, which has 32 steps in the production of motorcycle crankshaft. There will be processes that are wasted, such as the process of walking to get the material or the process of waiting for the material. and complex machine placement causing the production process to be delayed these processes cost time and distance. Therefore, the authors have introduced flow process charts (FPC), 5W1H questioning techniques and ECRS problem solving principles. In order to modify the production process of motorcycle crankshaft from the original 32 production steps and the production process was reduced to be suitable for 29 steps and when tested and then used to assess the situation that will occur. Yes, such as reduced process, reduced time, reduced distance, time to manufacture end parts. motorcycle crankshaft, the mean time is 1,481 seconds. and after the adjustment was 1,339 seconds, with the result after the comparison was 141 seconds. which accounted for 26.67% when the process of improving the production process of the crank end parts of the motorcycle crankshaft can be reduced It will increase efficiency in the production process as well. Improving the production process of motorcycle crankshaft case study of Revaltech Thailand. Consider the suitability in the process of improving the production flow chart of motorcycle crankshaft.

Keywords: ECRS, Efficiency improvement, Process improvement, Production process plant layout

บทนำ

การเติบโตของธุรกิจผลิตอะไหล่ทดแทนในอนาคต มีแนวโน้มจะเพิ่มปริมาณมากขึ้น สังเกตได้จากการใช้ยานพาหนะไม่ว่าจะเป็นรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ที่มีมากขึ้นกว่าแต่ก่อน และยังมีผู้ที่ทำว่าผู้คนจะลดความต้องการปัจจัยเหล่านี้ค่อยลงแต่อย่างไร บวกกับโอกาสทางธุรกิจเอกชนที่มีกำลังในการจ่ายมาก ยิ่งช่วยเสริมทัพให้ธุรกิจนี้ดำเนินต่อไปได้ อุปกรณ์ที่กล่าวมานี้จะเริ่มมีประโยชน์กับรถยนต์ที่มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป อะไหล่ต่าง ๆ จะเริ่มเสื่อมสภาพ และค่อนข้างเก่า เป็นปัญหาที่ผู้ใช้รถยนต์ต้องแบกรับในส่วนของคุณค่าซ่อมบำรุง การดูแลรักษา และการทำงานที่จำกัดมากขึ้น แต่เนื่องจากความปลอดภัยในการขับขี่ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น และทุกคนต่างตระหนักดีว่า อย่างไรเสียก็ต้องยอมควักกระเป๋าจ่ายตอนนี้ดีกว่าเสียน้อยเสียมากในภายหลัง อะไหล่ทดแทนจึงเข้ามามีบทบาทอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพื่อทดแทนในส่วนที่สึกหรอหรือเสียหายจนไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ เป็นผลให้ธุรกิจผลิตอะไหล่ทดแทน เติบโตอย่างต่อเนื่อง ผลจากการสำรวจข้อมูลการใช้รถยนต์และรถจักรยานยนต์ซึ่งมีการจดทะเบียนกับทางขนส่งทางบกในช่วงล่าสุดนับเป็นเวลา 9 เดือนแรก ในปี ค.ศ. 2010 จำนวนการเข้ามาจดทะเบียนมีมากกว่า 2 ล้านคัน ปริมาณเหล่านี้เพิ่มมากขึ้นจากเดิมในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเป็น 2 เท่าตัว แน่นอนว่าหากลองคาดการณ์ไปถึงอนาคตข้างหน้าอีกสักประมาณ 5 ปี จำนวนรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ที่เริ่มเสื่อมสภาพ อายุการใช้งานตั้งแต่ 6-10 ปี (เป็นรถที่จดทะเบียนตั้งแต่ในปี ค.ศ. 2006-2010) จะมีปริมาณมากถึง 12 ล้านคัน ซึ่งเพิ่มจาก 2 ล้านคัน ดังที่ปรากฏให้เห็นในปัจจุบัน เป็นโอกาสที่เหมาะสมสำหรับการทำธุรกิจผลิตอะไหล่ทดแทน

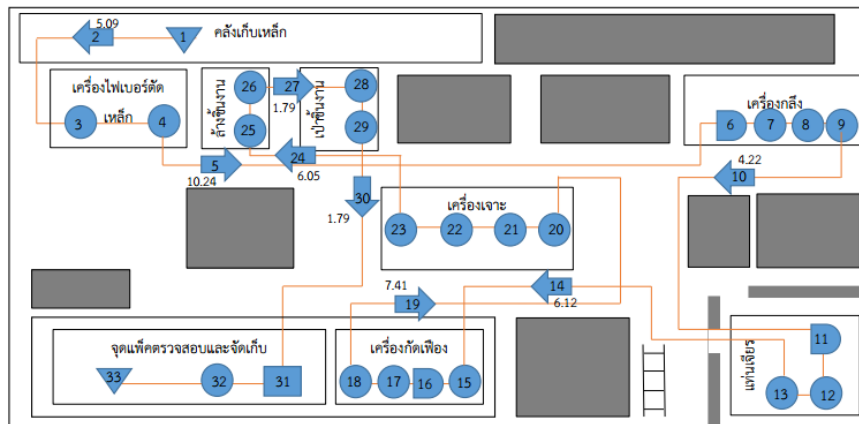
จากกรณีศึกษา บริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า การจัดวางผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงซึ่งเป็นแผนกสำคัญของบริษัทที่กำลังการผลิตมีส่วนสำคัญในการผลิต มีพื้นที่ในการจัดเก็บของตำแหน่งของเครื่องจักร และวัตถุดิบถูกจัดวางอย่างไม่เหมาะสม จึงทำให้การไหลของวัสดุระหว่างการผลิตไม่ต่อเนื่อง ทำให้ผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายของลูกค้า ทำให้ผู้วิจัยเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหา โดยปัญหาที่พบคือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุระหว่างกิจกรรมมีระยะทางที่ไกล และใช้เวลานานมีการวกวนกลับไปกลับมา และตำแหน่งของเครื่องจักรถูกจัดวางอย่างไม่ต่อเนื่อง รวมไปถึงบริเวณที่ทำงานในตำแหน่งต่าง ๆ ขาดการจัดวางตำแหน่งที่เหมาะสม โดยเฉพาะการจัดวางของเครื่องจักร และการจัดวางวัตถุดิบในพื้นที่ของกระบวนการผลิต จึงทำให้ขั้นตอนการทำงาน ซึ่งมีการขนย้ายวัตถุดิบมีระยะไกล และมีสิ่งกีดขวางตามทางเดิน ทำให้เกิดความล่าช้าในการปฏิบัติงาน ฉะนั้นการปรับปรุงการวางผังจึงเป็นการจัดวางตำแหน่งเครื่องจักรที่มีอยู่แล้วให้มีความเหมาะสมมากขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่การเคลื่อนย้าย การปฏิบัติงานทั้งต่อตัวพนักงาน และเครื่องจักรเพื่อให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากกรณีศึกษาผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพบปัญหาที่เกิดขึ้น คือการจัดวางผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยง ซึ่งมีพื้นที่ในการจัดเก็บของตำแหน่งของเครื่องจักร และวัตถุดิบถูกจัดวางอย่างไม่เหมาะสม จึงทำให้การไหลของวัสดุระหว่างการผลิตไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุระหว่างกิจกรรมมีระยะทางที่ไกล และใช้เวลานานมีการวกวนกลับไปกลับมา และตำแหน่งของเครื่องจักรถูกจัดวางอย่างไม่ต่อเนื่อง รวมไปถึงบริเวณที่ทำงานในตำแหน่งต่าง ๆ ขาดการจัดวางตำแหน่งที่เหมาะสม จึงนำมาสู่การแก้ปัญหาในงานวิจัยในครั้งนี้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์

กรณีศึกษาบริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงผังกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์โดยวิธีการเทคนิคการตั้งคำถาม (5W1H) การลดความสูญเสีย (ECRS) และแผนภูมิการไหล (FPC) ซึ่งคณะผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ เป็นการนำเทคนิคหรืออุปกรณ์เข้ามาช่วยในการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษาบริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย

1. แผนภูมิการไหล (FPC) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์การปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ว่าเกิดความสูญเสีย ซึ่งข้อมูลทรัพยากรที่จะนำมาใช้ในการสร้างแผนภูมิการไหล
2. เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H และการลดความสูญเสียด้วยหลักการ ECRS เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์แล้วมาตั้งคำถามด้วยหลักการ 5W1H เพื่อหาจุดอ่อนที่ทำให้ผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์เกิดความสูญเสีย จากนั้นใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยในการกำจัดขั้นตอน จัดขั้นตอนใหม่ทำให้ขั้นตอนง่ายขึ้นและการยุบขั้นตอนรวมกัน เพื่อลดความสูญเสียในการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ และนำขั้นตอนที่ได้มาทำการปรับปรุงผังกระบวนการผลิต (ก่อนปรับปรุง) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ Flow Diagram (ก่อนปรับปรุง)

การเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์

ทำการเก็บขั้นตอนระยะทาง และเวลาในผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษาบริษัท ไร่วัฒนา ประเทศไทย ซึ่งมีขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์

ขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
1. คล้องเก็บเหล็ก	-	-
2. นำเหล็กจากคลังไปยังที่วัด	5.09	53.00
3. วัดเหล็กเพลไฟฟ้า SCM 440 ขนาด 1 เมตร	-	15.32
4. ตัดเหล็กเพลไฟฟ้า SCM 440	-	10.43
5. นำเหล็กที่ตัดไปยังเครื่องกลึง CNC	10.24	17.87
6. ร่อนนำเหล็กเข้าเครื่องกลึง	-	124.03
7. นำเหล็กเพลไฟฟ้าเข้าเครื่องกลึง	-	13.34
8. ทำการกลึงเหล็กเพลไฟฟ้า SCM 440	-	78.84
9. นำชิ้นงานที่กลึงเสร็จแล้วใส่ตะกร้า	-	40.72
10. นำตะกร้าชิ้นงานไปยังเครื่องเจียร	4.22	8.03
11. ร่อนเครื่องเจียรพร้อมทำงาน	-	6.23
12. เจียรดึงเหล็กจากการกลึงออก	-	10.49
13. นำชิ้นงานที่เจียรแล้วใส่ตะกร้า	-	4.27
14. นำตะกร้าชิ้นงานไปยังเครื่องกัดเฟือง	6.12	11.17
15. นำชิ้นงานใส่เครื่องกัดเฟือง	-	3.19
16. ร่อนเครื่องกัดเฟืองพร้อมทำงาน	-	4.60
17. เครื่องจักรทำการกัดเฟืองตามแบบ	-	900.14
18. นำชิ้นงานที่กัดเฟืองเสร็จแล้วใส่ตะกร้า	-	4.12
19. นำชิ้นงานไปยังเครื่องเจาะ	7.41	14.14
20. นำชิ้นงานเรียงใส่แท่นแบบ	-	4.47
21. นำแท่นแบบใส่เครื่องเจาะ	-	4.66

ขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
22. รอเครื่องจักรทำการเจาะรูชิ้นงาน	-	16.83
23. นำชิ้นงานที่เจาะรูเสร็จแล้วใส่ตะกร้า	-	4.26
24. นำตะกร้าชิ้นงานไปยังสถานที่ล้างทำความสะอาด	6.05	12.82
25. ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน	-	20.06
26. นำชิ้นงานที่ล้างทำความสะอาดแล้วใส่ตะกร้า	-	4.22
27. นำชิ้นงานไปยังสถานที่เป่า	1.79	4.34
28. เป่าชิ้นงานให้แห้ง	-	20.14
29. นำชิ้นงานที่เป่าแห้งแล้วใส่ตะกร้า	-	4.76
30. นำชิ้นงานไปยังที่ตรวจสอบ	7.32	15.22
31. ตรวจสอบขนาดและคุณภาพของชิ้นงาน	-	30.87
32. บรรจุชิ้นงานใส่ซองใส	-	11.49
33. จัดเก็บสินค้าในคลังสินค้า	-	-
รวม	48.24	1,474.07

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษา บริษัท ริวัลเทค ประเทศไทย (ก่อนปรับปรุง) โดยมีตารางแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) สรุปผลของแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) ก่อนปรับปรุง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลของแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ก่อนปรับปรุง
การปฏิบัติงาน	19 ขั้นตอน
การเคลื่อนที่	8 ขั้นตอน
การรอคอย	3 ขั้นตอน
การตรวจสอบ	1 ขั้นตอน
การจัดเก็บ	2 ขั้นตอน
รวม	33 ขั้นตอน
ระยะทาง	48.24 เมตร
เวลา	1,474.07 วินาที

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน

เลือกใช้วิธีการตั้งคำถาม 5W1H มาใช้ในการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ จึงนำขั้นตอนเหล่านี้มาทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตามแนวคิดในการค้นหาแนวทางการปรับปรุง จึงได้นำขั้นตอนมาทำการ

ปรับปรุง การกำจัด การรวม การจัดใหม่ และการทำให้ง่าย ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสียเปล่าลงได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้หลักการ ECRS

บ่งชี้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ที่ทำให้เกิดการใช้เวลาที่สูญเปล่า

เวลาที่สูญเปล่าส่วนใหญ่ของการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นสามารถที่จะบ่งชี้ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงได้ดังนี้

1. การสูญเปล่าในกิจกรรม OPERATION 4 จุด
 - 1.1 วัดเหล็กเพล้า SCM 440 ขนาด 1 เมตร
 - 1.2 ตัดเหล็กเพล้า SCM 440
 - 1.3 นำเหล็กเพล้าเข้าเครื่องกลึง
 - 1.4 นำชิ้นงานที่ล้างทำความสะอาดแล้วใส่ตะกร้า
2. การสูญเปล่าในส่วนกิจกรรม DELAY 1 จุด
 - 2.1 รอเหล็กเข้าเครื่องกลึง
3. การสูญเปล่าในส่วนกิจกรรม TRANSPORT 4 จุด
 - 3.1 นำตะกร้าชิ้นงานไปยังเครื่องเจียร
 - 3.2 นำตะกร้าชิ้นงานไปยังเครื่องกัดเฟือง
 - 3.3 นำชิ้นงานไปยังเครื่องเจาะ
 - 3.4 นำชิ้นงานไปยังสถานที่เป่า

จากการศึกษาขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แล้วได้ พบว่า มีขั้นตอนที่ควรปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียเปล่า และลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่เกิดมูลค่าโดยสามารถใช้เทคนิคการตั้งคำถามแบบ 5W1H เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมตามลำดับขั้นตอนการทำงานเพื่อกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น และนำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงการทำงานของการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ การตั้งคำถาม 5W1H ในกิจกรรม OPERATION ขั้นตอนวัดเหล็กเพล้า SCM440 ขนาด 1 เมตร แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตั้งคำถาม 5W1H ในกิจกรรม OPERATION ขั้นตอนวัดเหล็กเพล้า SCM440

หัวข้อ	คำถาม	คำตอบ
วัตถุประสงค์	(What) ทำอะไร	วัดเหล็กเพล้า SCM440 ขนาด 1 เมตร
	(Why) ทำไมต้องทำ	เพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการทำที่เครื่องไฟเบอร์ตัดเหล็ก
สถานที่	(Where) ทำที่ใด	ทำที่เครื่องไฟเบอร์ตัดเหล็ก
	(Why) ทำไมต้องทำที่นั่น ๆ	เป็นการวัดขนาดเหล็กให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ
ลำดับการทำ	(When) ทำเมื่อใด	ทำเมื่อมีความต้องการเหล็กขนาด 1 เมตร
	(Why) ทำไมต้องทำในขณะนั้น ๆ	เป็นการวัดขนาดชิ้นงาน ก่อนการตัด
วิธีการทำ	(How) ทำอย่างไร	วัดเหล็กเพล้า SCM440 ขนาด 1 เมตร
	(Why) ทำไมต้องทำ	เพื่อให้ได้ขนาดของเหล็ก ตามที่ต้องการก่อนตัด

หลังจากที่มีแนวทางการแก้ไขปัญหในกระบวนการผลิต ดังนั้นเพื่อให้การปรับปรุงกระบวนการทำงานในการผลิตชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและลดความสูญเสียเปล่าของการทำงาน ลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไป จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้นโดยหลักการ ECRS แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดในการใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกิจกรรม

	กิจกรรมการไหลของกระบวนการผลิต	รูปแบบการปรับปรุง	หมายเหตุ
1	คลังเก็บเหล็ก	-	-
2	นำเหล็กจากคลังไปยังที่วัด	-	-
3	วัดเหล็กเพลไฟฟ้า SCM 440 ขนาด 1 เมตร	combine	รวมกิจกรรมทั้ง 2 กิจกรรมให้เหลือกิจกรรมเดียว คือให้วัดเหล็กแล้ว ทำ
4	ตัดเหล็กเพลไฟฟ้า SCM 440	combine	การตัดให้แล้วเสร็จเพื่อลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน

ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ กรณีศึกษาบริษัท รีวัลเทคโนโลยีประเทศไทย สำหรับการศึกษาการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ ใช้ทฤษฎีการศึกษาวิธีการทำงานในการศึกษาข้อมูลก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการบันทึกลงในแผนภูมิการไหล เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้กับการตั้งคำถามโดยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H และหลักการแก้ปัญหา ECRS รวมไปถึงการวางแผนผังโรงงานใหม่ เมื่อนำข้อมูลที่ได้ใส่ในหลักการต่าง ๆ จะทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ และระยะทางที่ใช้ในการผลิตแต่ละครั้ง และหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ให้เหมาะสมต่อไป สรุปผลการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ จากการศึกษาการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ พบปัญหาเบื้องต้น คือ เกิดการรอจากการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นทำให้เกิดความสูญเปล่า และการจัดวางตำแหน่งของเครื่องจักรที่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดความซับซ้อนและล่าช้า ด้วยเหตุผลนี้กลุ่มผู้วิจัยจึงได้ใช้หลักการ 5W1H และ หลักการ ECRS มาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา และนำมาสู่แนวทางในการลดกิจกรรมที่ทำให้เกิดความสูญเปล่า เพื่อการนำไปพิจารณาเปลี่ยนแปลง แผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) สรุปผลของแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) หลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) หลังการปรับปรุง

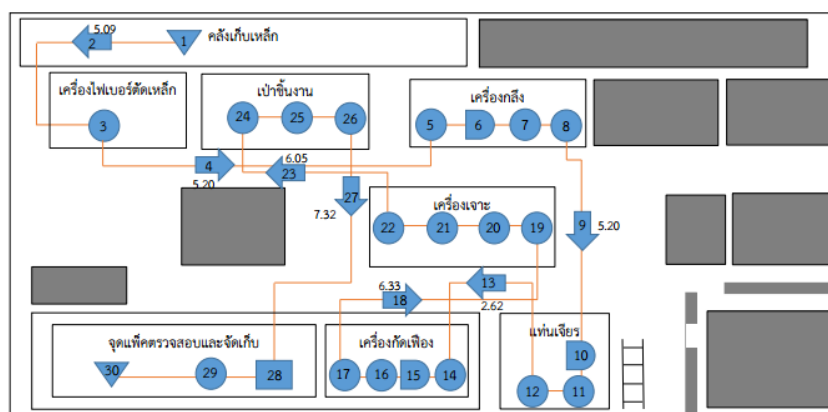
	ลำดับ	หลังปรับปรุง
การปฏิบัติงาน	○	17 ขั้นตอน
การเคลื่อนที่	→	7 ขั้นตอน
การรอคอย	D	3 ขั้นตอน
การตรวจสอบ	□	1 ขั้นตอน
การจัดเก็บ	▽	2 ขั้นตอน
รวม		30 ขั้นตอน
ระยะทาง		34.49 เมตร
เวลา		1,332.12 วินาที

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) จึงสามารถสรุปผลของแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) ก่อนปรับปรุง และกระบวนการไหล (FPC) หลังปรับปรุงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบแผนภูมิกระบวนการไหล (FPC) ก่อนปรับปรุง และกระบวนการไหล (FPC) หลังปรับปรุง

ลำดับ		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง
การปฏิบัติงาน	○	19	17	2
การเคลื่อนที่	➡	1	1	-
การรอคอย	⌒	3	3	-
การตรวจสอบ	□	8	7	1
การจัดเก็บ	▽	2	2	-
รวม		33	30	3
ระยะทาง (เมตร)		51.56	34.49	13.75
เวลา (วินาที)		1,481.16	1,332.12	141.95

หลังจากการปรับปรุงขั้นตอนที่ได้จากผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ Flow Diagram (หลังปรับปรุง) แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ Flow Diagram (หลังปรับปรุง)

การอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลจากข้อมูลที่ได้ทำการลงพื้นที่เพื่อทำการสำรวจพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อหาปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยการใช้หลักการแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การปฏิบัติงาน เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตชิ้นงาน ได้นำหลักการสำรวจและการวิเคราะห์ปัญหา 5W1H ในการตั้งคำถามเพื่อให้ได้ข้อสรุปของกระบวนการปฏิบัติงานตามลำดับขั้นตอนที่มีความเป็นเหตุ

และผลเกี่ยวเนื่องกัน และใช้หลักการลดความสูญเสีย ECRS มาใช้เพื่อช่วยลดความสูญเสียในกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เศรษฐี (2543) โดยศึกษาปัญหาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์รถจักรยานยนต์ โดยศึกษาเฉพาะโครงการตัวอย่างโดยละเอียดแล้วประยุกต์วิชาการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จากการศึกษาวิเคราะห์ปัญหา พบว่า ปัญหาที่สำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่ ด้านการวางแผนโรงงานพื้นที่ในการเก็บรักษาวัตถุดิบและอุปกรณ์การผลิตทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตโรงงานต่ำ จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตวางแผนโรงงานที่เก็บระบบ ออกแบบคลังเก็บวัตถุดิบและอุปกรณ์การผลิต รวมทั้งจัดวางเครื่องจักรใหม่ ผลจากการวิจัยผังโรงงานใหม่สามารถลดระยะทางในการบรรยายโดยรวมได้และสามารถรองรับอัตราการผลิตที่จะเพิ่มขึ้นได้โดย ในส่วนการคลังสามารถรองรับจำนวนสินค้าในประเทศที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉลี่ย 99.72% และสามารถรองรับจำนวนสินค้าต่างประเทศที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.55 เท่า คลังวัสดุสามารถรองรับจำนวนที่ต้องเก็บเพิ่มขึ้นได้อีกเฉลี่ย 1.26 เท่า

บทสรุป

ผลการวิจัยที่ได้เป็นผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการวัดประสิทธิภาพการลดเวลาในกระบวนการผลิต ชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ก่อนและหลังปรับปรุง ทำให้สามารถลดขั้นตอน ลดเวลา และลดระยะทางในการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์โดยรวมได้ดังนี้ จากการปรับปรุงผังกระบวนการผลิต ชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์ ระยะทางในกระบวนการผลิตจากเดิมก่อนปรับปรุงเท่ากับ 51.56 เมตร และหลังการปรับปรุงเท่ากับ 34.49 เมตร ลดลง 13.75 เมตร คิดเป็นร้อยละ 26.67 เวลาการผลิตรวมทุกขั้นตอนจากเดิมก่อนปรับปรุงเท่ากับ 1,481.16 วินาที และหลังการปรับปรุงเท่ากับ 1,339.21 วินาที ลดลง 141.95 วินาที คิดเป็นร้อยละ 9.58 และสามารถลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตจากเดิมก่อนปรับปรุงมีขั้นตอนทั้งหมด 33 ขั้นตอน หลังปรับปรุงเหลือ 30 ขั้นตอน ลดลง 3 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 9.36 จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปลายข้อเหวี่ยงของรถจักรยานยนต์เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย ในส่วนของข้อมูลในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท รีวัลเทค ประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- กรณีฐิฎล วรราชศรีรัตน์. (2559). การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในสายการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน. คณะโลจิสติกส์
มหาวิทยาลัยบูรพา.
- กัญญา เบญจศิริวรรณ (2551). การศึกษาวิธีการทำงานและการปรับปรุงโลจิสติกส์ภาคการผลิตชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ. วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

- เกชา ลาวัลยะวัฒน์ และยุทธชัย บรรเทงจิตร. (2527). การศึกษางาน. สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: กรุงเทพฯ.
- จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. (2551). การวิเคราะห์แผนภูมิกระบวนการไหล. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จำลอง สุขเอียด. (2550). การวางแผนโรงงานสำหรับการผลิต Blower Wheel และ Blower Housing. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชูศักดิ์ พรสิงห์ และสรชัย อ่ำพุทรา. (2561). การปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ กรณีศึกษาโรงงานผลิตหลอดไฟแอลอีดีตัวอย่าง. หน่วยวิจัยการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์.
- ธารชуда พันธนิกุล. (2557). การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- นุชสรา เกรียงกรกฎ. (2555). การศึกษางานอุตสาหกรรม. (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง). โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี: อุบลราชธานี.
- เศษฐฤทธิ์ ต้นตระกูล. (2543). การออกแบบผังโรงงานใหม่กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์รถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Received: August 15, 2021; Revised: August 19, 2021; Accepted: December 30, 2021

สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม
ด้วยวัสดุพรุน: กรณีศึกษาอบตะไคร้

Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer
Including porous media: A case study of lemongrass drying

ธนกร หอมจำปา^{1*}, วิโรจ ทศนะ¹, ประทีป ตุ่มทอง¹ และประพันธ์พงษ์ สมศิลา¹
Tanagorn Homchampa^{1*}, Wiroj Tassana¹, Prateep Toomthong¹ and
Prapanpong Somsila¹

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address: tanagorn.ho@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมติดตั้งวัสดุพรุนและไม่ติดตั้งวัสดุพรุนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดแผ่นเรียบขนาด 60x120x10 cm³ วัสดุพรุนขนาด 55x30x5 cm³ ติดตั้งบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ห้องอบแห้งขนาด 60x65x45 cm³ และใช้ตะไคร้ในการทดสอบอบแห้ง ปัจจัยที่ศึกษาคือ โลหะลวดตาข่ายที่ค่าความพรุน 0.087, 0.134 และ 0.178 ทดสอบภายใต้แสงแดดธรรมชาติที่ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 m/s สมรรถนะที่ศึกษาคือ ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าความชื้นและอัตราการอบแห้งของตะไคร้ จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมติดตั้งวัสดุพรุนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีสมรรถนะสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมไม่ติดตั้งวัสดุพรุนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้ยังพบว่า การทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมติดตั้งวัสดุพรุนเมื่อเพิ่มค่าความพรุนทำให้สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของตะไคร้ลดลงและทำให้อัตราการอบแห้งของตะไคร้เฉลี่ยสูงขึ้น

คำสำคัญ: สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ วัสดุพรุน ตะไคร้

Abstract

This study has the objective of evaluating the performance of a mixed-mode solar dryer including porous media and without porous media. A solar collector is a $60 \times 120 \times 10 \text{ cm}^3$ flat plate and $55 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$ porous media installed on the flat plate collector. The size of the drying chamber is $60 \times 65 \times 45 \text{ cm}^3$ and lemongrass is used to test. The studied factors are metal wire mesh with the porosity of 0.087, 0.134 and 0.1780. Samples are tested under natural sunlight conditions with wind speeds of 0.5, 1.0 and 1.5 m/s. The performances of interest are the efficiency of the solar collector, moisture content, and drying rate of the lemongrass. From the study, the mixed-mode solar dryer which includes the porous media has higher performance than the one without the porous media. Moreover, the increasing porosity results in the increasing efficiency of the dryer because the moisture of the lemongrass is reduced and the average drying is increased.

Keywords: Performance of mixed-mode solar dryer, Porous media, Lemongrass

บทนำ

หลักการพื้นฐานในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม เริ่มต้นจากการดูดอากาศจากภายนอกด้วยพัดลมให้ไหลผ่านตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ทำให้ความร้อนที่อยู่ในผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่งผ่านให้กับอากาศ วิธีดังกล่าวสามารถทำให้ได้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งได้ การเปลี่ยนรูปพลังงานของตัวเก็บรังสีจากการสำรวจที่ผ่านมาพบว่า การใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบมีสัดส่วนใช้งานสูงถึง 22.1% เมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดอื่น (วาณิช และ สุธิตา, 2561) ซึ่งประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่ำเป็นหนึ่งในปัญหาหลักในการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Hana et al., 2021) การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทำได้หลายวิธี เช่น เพิ่มพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้ความร้อนตามที่ต้องการ และการทำให้อากาศที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Messoud et al., 2019) เช่นเดียวกับ Zhimin et al. ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยโรงเรือนที่สามารถรับรังสีอาทิตย์โดยตรงและมีแหล่งความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ Bashria and Nor, 2008 ศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนชนิดใยแก้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ Shigeki et al.(2013) ศึกษาผลของการใช้วัสดุพูนโลหะที่มีความพูนสูงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำร่วยและคณะศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ติดตั้งจากแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยรูปทรงที่ต่างกันหาข้อดีซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแผ่นดูดกลืนรังสีสอดคล้องอย่างมีนัยสำคัญกับประสิทธิภาพของการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยค้นคว้าดังกล่าวข้างต้นเกี่ยวกับการการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมด้วยวัสดุพูนก็ยังไม่มีการศึกษาค้นคว้าในการใช้งานอย่างแพร่หลาย

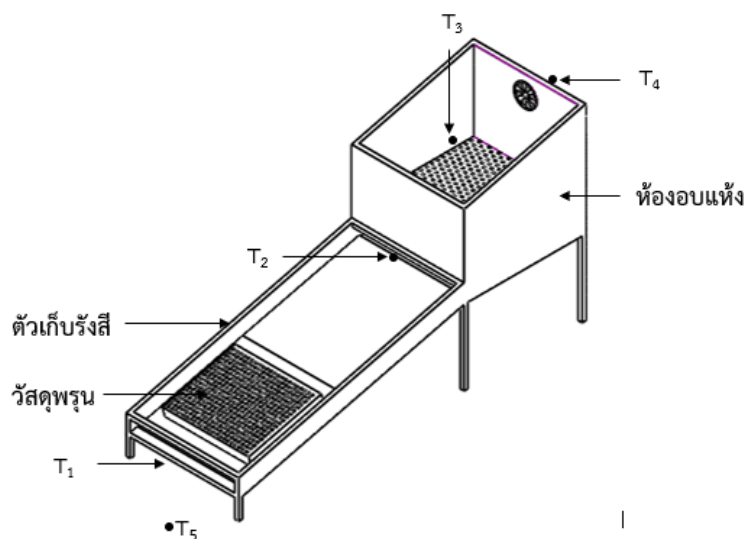
ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมโดยนำวัสดุพูนติดตั้งในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน ซึ่งวัสดุพูนมีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก นอกจากนี้วัสดุพูนยังมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุทั่วไป (ทวีศิลป์ และบัณฑิต, 2554)

และทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมติดตั้งวัสดุพูนและไม่ติดตั้งวัสดุพูนโดยใช้ตะไคร้ในการทดสอบเพื่อหาความชื้นและอัตราการอบแห้ง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม (I.N. Simate, 2003) ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 โดยนำอากาศร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยพัดลม 12 VDC กระแสตรง ขนาด 8 cm ดูดอากาศไหลผ่านห้องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทความชื้นภายในห้องอบแห้งออกสู่ภายนอก เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีตำแหน่งรับพลังงานแสงอาทิตย์สองตำแหน่งคือ ด้านบนห้องอบแห้งและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โครงสร้างภายนอกทำจากแผ่นสังกะสีติดฉนวนกันความร้อนขนาด $60 \times 65 \times 45 \text{ cm}^3$ มีพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ด้านบนห้องอบแห้งปิดด้วยกระจกขนาด $60 \times 67 \text{ cm}^2$ เที่ยงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับตัวเก็บรังสีอาทิตย์โครงสร้างภายนอกทำจากไม้อัดขนาด $60 \times 120 \times 10 \text{ cm}^3$ แผ่นดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ทำจากสังกะสีแผ่นเรียบพ่นสีดำด้าน ด้านบนปิดด้วยกระจกใสหนา 0.5 cm เที่ยงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ ด้านในหุ้มฉนวนกันความร้อน การทดสอบกรณีใช้วัสดุพูนติดตั้งในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ใช้โลหะลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมชุบกลวไนซ์วางซ้อนทับกันขนาด $55 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$ ติดตั้งบนแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ห่างจากทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดวงอาทิตย์ 10 cm โดยใช้ลวดตาข่ายต่างขนาดเพื่อให้มีค่าความพูนต่างกัน

การทดลองดำเนินการภายใต้สภาวะกลางแจ้งแสงแดดจากดวงอาทิตย์จริง เริ่มการทดลองเวลา 09.00 – 16.00 น. ทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้วัสดุพูนและไม่ใช้วัสดุพูนติดตั้งในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์และสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้ 1) นำตะไคร้สดล้างและคัดแยกสิ่งเจือปนออก หั่นประมาณ 1 นิ้ว ลอกเอากาบใบออก 2) นำตะไคร้สดเข้าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เครื่องละ 500 g โดยทดสอบติดตั้งวัสดุพูนและไม่ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทดสอบพร้อมกัน 4 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งทดสอบกรณีไม่ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เครื่องที่สองถึงเครื่องที่สี่จะทดสอบกรณีติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ค่าความพูนต่างกัน 3) เปิดสวิตช์พัดลมและปรับความเร็วลมโดยใช้ค่าความเร็วลม 0.5 m/s วัดที่ตำแหน่งทางออก บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 1 และน้ำหนักของตะไคร้ทุกๆ 30 นาที 4) ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1) ถึง 3) โดยปรับเปลี่ยนค่าความเร็วลมเป็น 1.0 และ 1.5 m/s ตามลำดับ จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

T_1 = อุณหภูมิอากาศทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์

T_2 = อุณหภูมิอากาศทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

T_3 = อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้ง

T_4 = อุณหภูมิอากาศทางออกของห้องอบแห้ง

T_5 = อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม

การคำนวณประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีดวงอาทิตย์ขณะใดขณะหนึ่ง (Sopian K. et al., 1999) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1

$$\eta = \frac{Q}{A_c \times G_T} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

η คือ ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีอาทิตย์ (%)

Q คือ ความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ (J/s)

A_c คือ พื้นที่รับรังสี (m^2)

G_T คือ ค่าพลังงานตกกระทบ (W/m^2)

ความชื้นมาตรฐานเปียก เป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่อยู่ในเนื้อวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้น ความชื้นในวัสดุ ดังสมการที่ 2

$$M_w = \frac{w-d}{w} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)

w คือ มวลของวัสดุ (kg)

d คือ มวลวัสดุแห้ง (kg)

อัตราการอบแห้ง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการอบแห้งของการลดความชื้นของวัสดุ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3

$$DR = \frac{m_i - m_t}{t} \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ

DR คือ อัตราการอบแห้ง ($kg_{water\ evap.}/hr$)

m_i คือ มวลของวัสดุที่เวลาเริ่มต้น (kg)

m_t คือ มวลของวัสดุที่เวลาใดๆ (kg)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

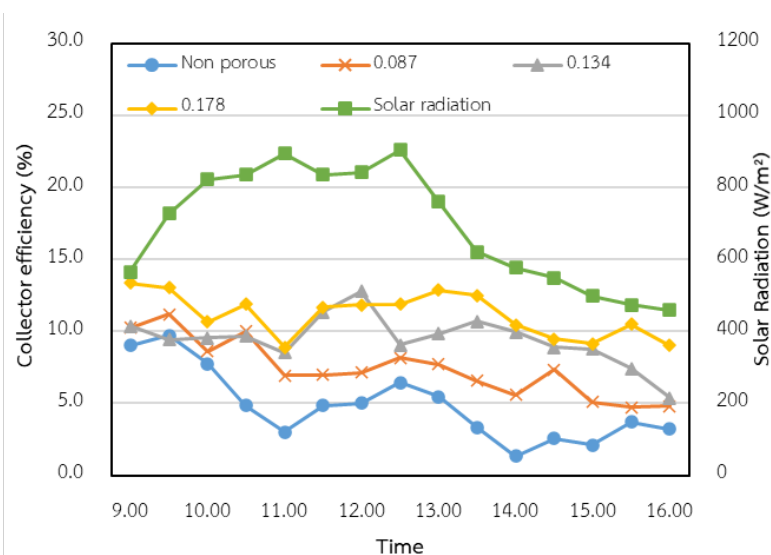
ผลการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมใช้วัสดุพูนและไม่ใช้วัสดุพูนติดตั้งในตัวเก็บรังสี ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับ มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

การทดสอบอบแห้งตะไคร้ที่ความเร็วลม 0.5 m/s

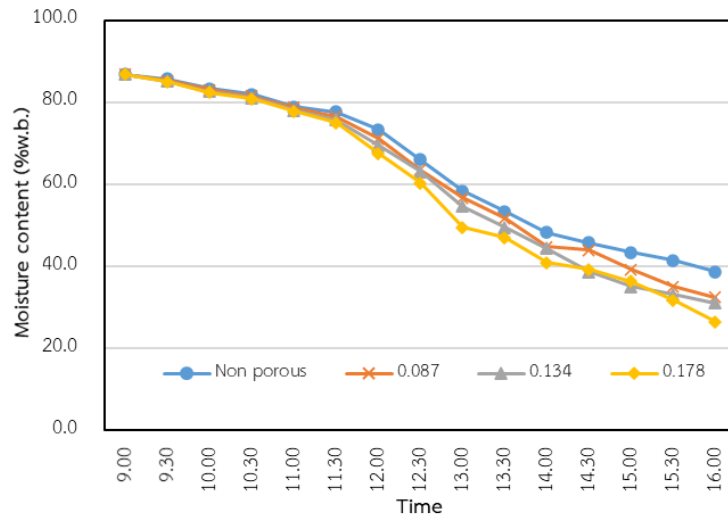
การทดสอบอบแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 0.5 m/s ทำการทดสอบวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 มีผลการทดสอบ ดังนี้

การทดสอบประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 0.5 m/s แสดงดังรูปที่ 2 จากข้อมูลพบว่า ค่าพลังงานตกกระทบเฉลี่ยตลอดการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 690.4 W/m^2 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.82 % ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.40, 9.45 และ 11.14 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนมีความแปรปรวนเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากวัสดุพูนทำหน้าที่เป็นตัวเก็บสำหรับเพื่อรักษาอุณหภูมิให้สูงขึ้นแม้ในสถานะที่ไม่เอื้ออำนวยในช่วงค่าพลังงานตกกระทบต่ำ (Sopian K. et al., 2007)



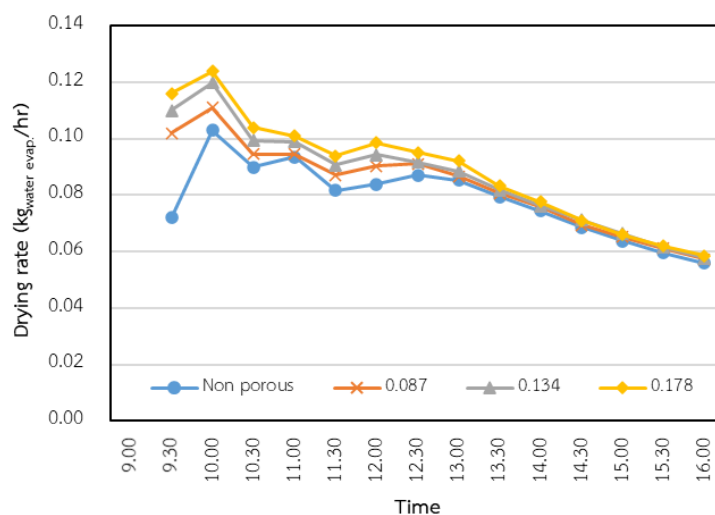
รูปที่ 2 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 0.5 m/s

ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 0.5 m/s แสดงข้อมูลดังรูปที่ 3 จากข้อมูลพบว่า ค่าความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้สดมีค่าเท่ากับ 86 %w.b. ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 38.7 %w.b. ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 ที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 32.4, 31.0 และ 26.4 %w.b. ตามลำดับ และแสดงว่าความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน สามารถลดความชื้นของตะไคร้ได้มากกว่าไม่มีวัสดุพูน



รูปที่ 3 ความชื้นของตะไคร้ที่ความเร็วลม 0.5 m/s

อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 0.5 m/s แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4 พบว่าอัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0560 kg_{water evap}/hr อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0574, 0.0577 และ 0.0586 kg_{water evap}/hr ตามลำดับ และแสดงว่าอัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน มีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูน



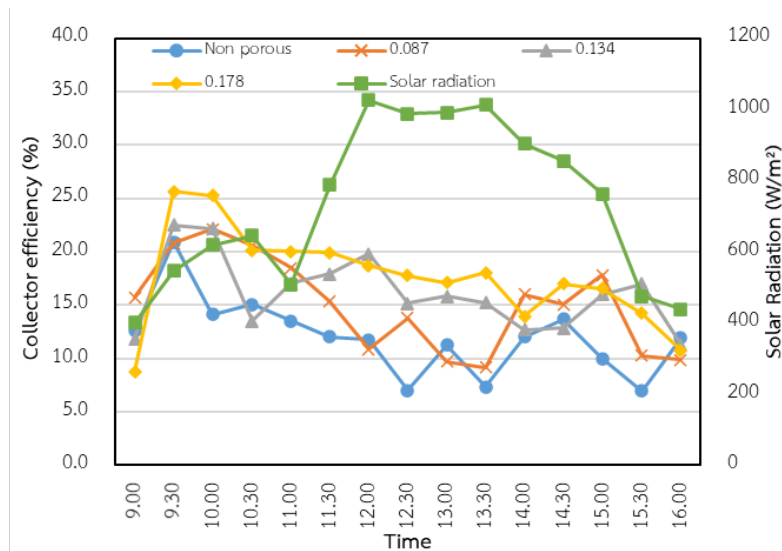
รูปที่ 4 อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่ความเร็วลม 0.5 m/s

การทดสอบอบแห้งตะไคร้ที่ความเร็วลม 1.0 m/s

การทดสอบอบแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.0 m/s ทำการทดสอบวันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 มีผลการทดสอบ ดังนี้

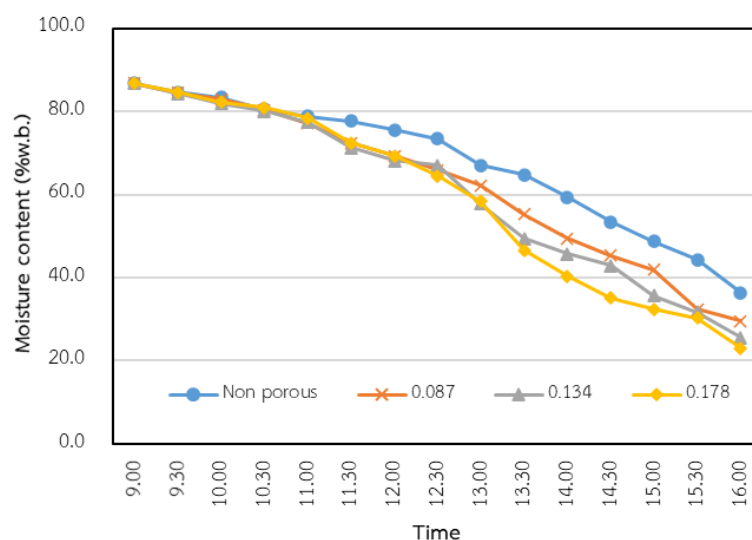
การทดสอบประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.0 m/s แสดงดังรูปที่ 5 จากข้อมูลพบว่า ค่าพลังงานตกกระทบเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 731.0 W/m² ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 12.3 % ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.05, 16.11 และ 17.60 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนมีความแปรปรวนเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.0 m/s

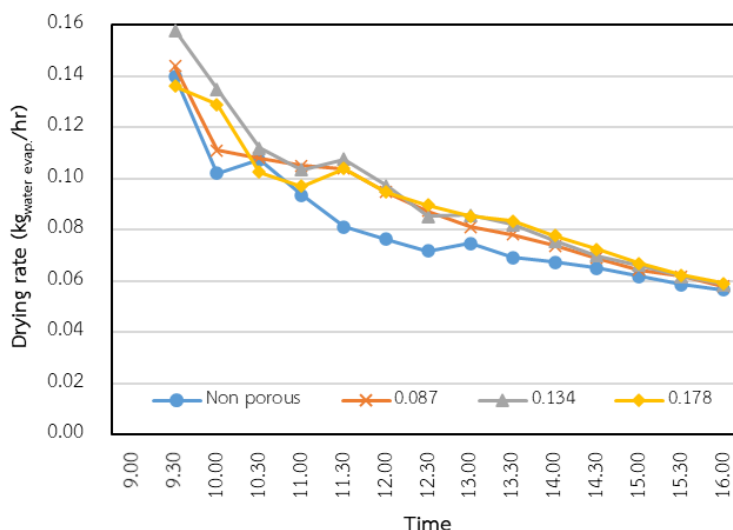
ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.0 m/s แสดงข้อมูลดังรูปที่ 6 จากข้อมูลพบว่า ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 36.3 %w.b. ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 ที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 29.5, 25.6 และ 23.0 %w.b. ตามลำดับ และแสดงว่าความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน สามารถลดความชื้นของตะไคร้ได้มากกว่าไม่มีวัสดุพูน



รูปที่ 6 ความชื้นของตะไคร้ที่ความเร็วลม 1.0 m/s

อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.0 m/s แสดงข้อมูลดังรูปที่ 7 พบว่า อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0566 kg_{water evap}/hr

อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0580, 0.0587 และ 0.0591 $\text{kg}_{\text{water evap}}/\text{hr}$ ตามลำดับ และแสดงว่าอัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน มีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูน

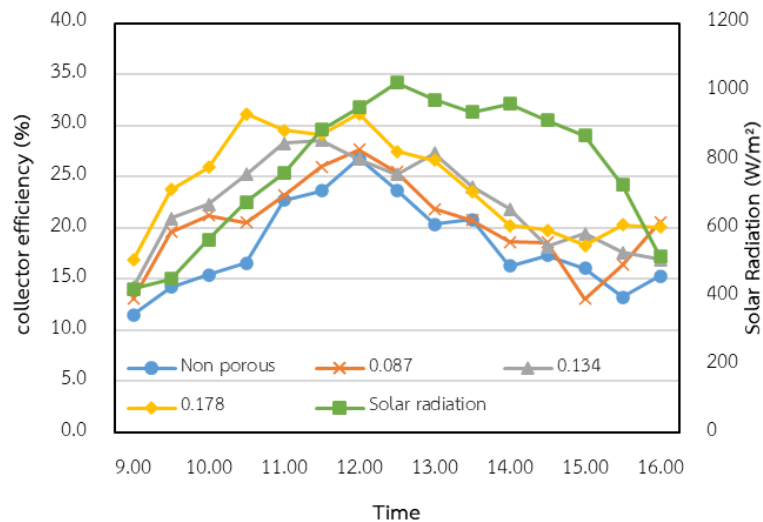


รูปที่ 7 อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่ความเร็วลม 1.0 m/s

การทดสอบอบแห้งตะไคร้ที่ความเร็วลม 1.5 m/s

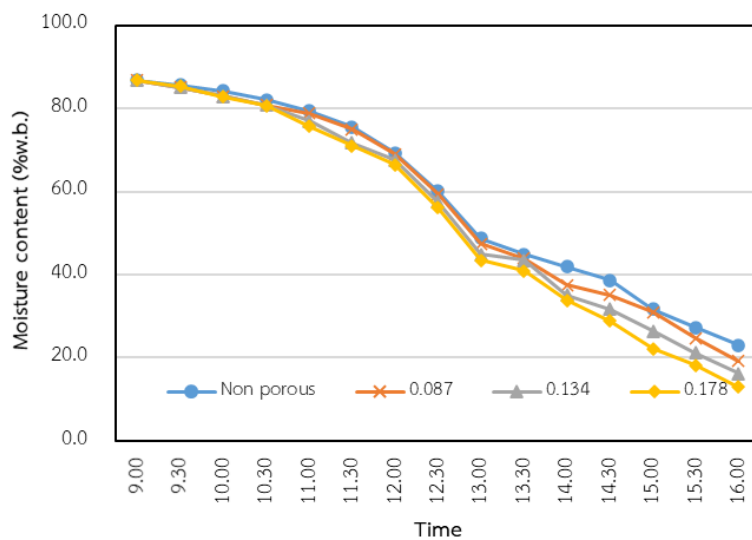
การทดสอบอบแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.5 m/s ทำการทดสอบวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 มีผลการทดสอบ ดังนี้

การทดสอบประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.5 m/s แสดงดังรูปที่ 8 จากข้อมูลพบว่า ค่าพลังงานตกกระทบเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 776.5 W/m^2 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.25 % ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.45, 22.46 และ 24.26 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนมีความแปรปรวนเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.5 m/s

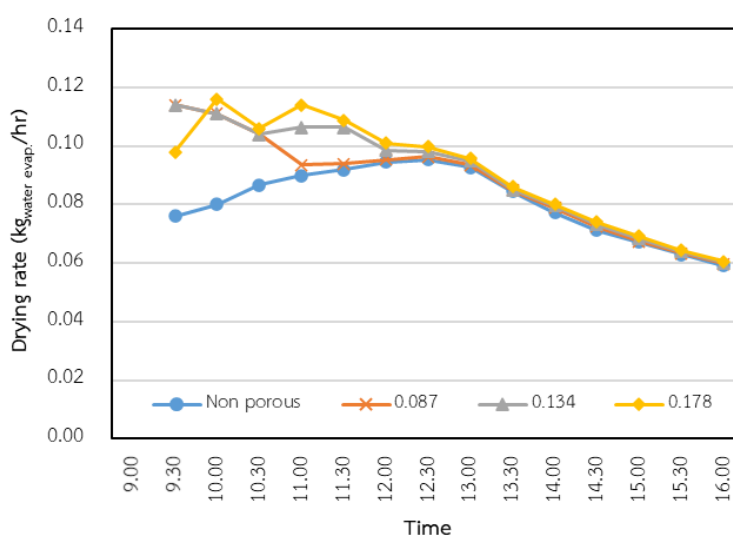
ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.5 m/s แสดงข้อมูลดังรูปที่ 9 จากข้อมูลพบว่า ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 23.0 %w.b. ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 ที่เวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 19.2, 16.2 และ 12.8 %w.b. ตามลำดับ และแสดงว่าความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน สามารถลดความชื้นของตะไคร้ได้มากกว่าไม่วัสดุพูน



รูปที่ 9 ค่าความชื้นของตะไคร้ที่ความเร็วลม 1.5 m/s

อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1.5 m/s แสดงข้อมูลดังรูปที่ 10 พบว่า อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0591 kg_{water evap}/hr อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0597, 0.0601 และ 0.0606 kg_{water evap}/hr ตามลำดับ และแสดงว่าอัตรา

การอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูน มีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูน



รูปที่ 10 อัตราการอบแห้งที่ความเร็วลม 1.5 m/s

การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนและไม่ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์อบแห้งตะไคร้ พบว่า

1) การติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น (K. Sopian et al., 1999; Omer and Zala, 2017) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อค่าความพูนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น การทดสอบที่ความเร็วลม 0.5 m/s ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.58, 4.63 และ 6.32 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน การทดสอบที่ความเร็วลม 1.0 m/s ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.76, 3.81 และ 5.30 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน การทดสอบที่ความเร็วลม 1.5 m/s ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 จะมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.20, 4.21 และ 6.01 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน

2) ความชื้นของตะไคร้จะลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า ตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วยให้ความชื้นของตะไคร้ลดลงเร็วกว่าการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูน เนื่องจากการติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น และส่งผลให้อุณหภูมิในท้องอบแห้งสูงขึ้นซึ่งที่อุณหภูมิสูงทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิตัวกลางและตะไคร้มีค่าสูงส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารได้ดี (ละมุล และณัฐพล, 2553) โดยการทดสอบที่ความเร็วลม 0.5 m/s ความชื้นของตะไคร้ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 มีค่าความชื้นลดลง 16.3, 19.9 และ 31.8 % ตามลำดับ เมื่อเทียบความชื้นตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน การทดสอบที่ความเร็วลม 1.0 m/s ความชื้นของตะไคร้ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 มีค่าความชื้นลดลง 18.7, 25.6 และ 36.6% ตามลำดับ เมื่อเทียบความชื้นตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน การทดสอบที่ความเร็วลม 1.5 m/s ความชื้นของตะไคร้ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 มีค่าความชื้นลดลง 16.5, 29.6 และ 44.3% ตามลำดับ เมื่อเทียบความชื้นตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน

3) อัตราการอบแห้งตะไคร้มีค่าสูงในช่วงแรกเนื่องจากช่วงแรกความชื้นในตะไคร้มีปริมาณมากและความชื้นสามารถแพร่ออกจากผิวผลิตภัณฑ์ได้ง่าย จากนั้นอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลงเนื่องจากความชื้นในผลิตภัณฑ์เหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องส่งผลให้ค่าอัตราการอบแห้งลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วยให้อัตราการอบแห้งของตะไคร้เฉลี่ยสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการอบแห้งตะไคร้มีค่าเพิ่มขึ้น การทดสอบที่ความเร็วลม 0.5 m/s อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 4.6% ตามลำดับ เมื่อเทียบอัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน การทดสอบที่ความเร็วลม 1.0 m/s อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.4, 3.7 และ 4.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบอัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน การทดสอบที่ความเร็วลม 1.5 m/s อัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนที่ค่าความพูน 0.087, 0.134 และ 0.178 มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.0, 1.7 และ 2.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบอัตราการอบแห้งตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน

บทสรุป

การติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยส่งผลให้ความชื้นของตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลดลงเร็วกว่าการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูน ตะไคร้ที่อบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วยให้อัตราการอบแห้งของตะไคร้เฉลี่ยสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อติดตั้งวัสดุพูนที่มีค่าความพูนสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น ความชื้นของตะไคร้ลดลงเร็วกว่าการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งวัสดุพูนที่มีค่าความพูนต่ำ และช่วยให้อัตราการอบแห้งของตะไคร้เฉลี่ยสูงขึ้น แต่ในการทดสอบนี้ยังขาดการเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากการติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นการขวางทิศทางการไหลของอากาศ และหากสามารถปรับความเร็วลมอัตโนมัติให้เหมาะสมกับค่าพลังงานตกกระทบ ณ ช่วงเวลาขณะนั้นอาจจะส่งผลต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัย นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ศูนย์วิจัยพลังงานและนวัตกรรม คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์ และบัณฑิต กฤตาคม. (2554). การศึกษาอิทธิพลของวัสดุพูนตัวแผ่รังสีต่อการเผาไหม้ของหัวพันไฟชนิดวัสดุพูนโดยใช้เชื้อเพลิงเหลว. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 19-21 ตุลาคม 2554. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กระบี่.
- ละมุล วิเศษ และณัฐพล ภูมิสะอาด. (2553). การอบแห้งใบตะไคร้ภายใต้อุณหภูมิและตัวกลางแตกต่างกัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(3/1): 277-280.
- วานิช นิลนนท์ และสุธิดา พิทักษ์วินัย. (2561). การประเมินสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบด้วยการวิเคราะห์พลังงานและเอกเซอร์จี. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 14(3): 116-137.
- สำรวย ภูบาล, สำรวย รังสิษฐ์, พิสุทธิ แทนทอง, เสฏฐวุฒิ ดวงจันทร์ และปรีดา จันทวงศ์. (2555). การศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ติดแผ่นครีบอกเพื่อทำอาคารร้อนในการอบแห้ง. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 8(3): 9-17.
- Bashria A.A.Y. and Nor M.A. (2008). Performance analysis for flat plate collector with and without porous media. Journal of Energy in Southern Africa. 19(4): 32-42.
- I.N. Simate. (2003). Optimization of mixed-mode and indirect-mode natural convection solar dryer. Renewable Energy. 28(3): 435-453.
- Hana E., Hadi S.A. and Payman S. (2021). Improving the thermal efficiency of a solar dryer using phase change materials at different position in the collector. Solar Energy. 220: 535-551
- Sopian K., Supranto, Daud W.R.W., Othman M.Y. and Yatim B. (1999). Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media. Renewable energy. 18: 557-564
- Sopian K., Supranto, Daud W.R.W., Othman M.Y. and Yatim B. (2007). Double-pass solar collectors with porous media suitable for higher-temperature solar-assisted drying systems. Journal of engineering. 133: 13-18
- Omer K. A. and Zala A. M. (2017). Influence of porous media on the performance of hybrid PV/Thermal collector. Renewable energy. 112: 378-387
- Messaoud S., Abdelghani B. and Djamel M. (2019). Improvement of the thermal performance of solar drying systems using different techniques: A review. Journal of solar energy engineering. 141: 050802-1 - 050802-11
- Zhimin L., Hao Z., Runsheng T., Tao L., Wenfeng G. and Yue Z. (2006). Experimental investigation on solar drying of salted greengages. 31(6): 837-847.

- Effect of fish meal supplement on quality of Khanom ping product
Natwalinkhol Settapramote, Sirirat Meethum, Vipawan Panliaw, Benyaluk Supitnam, Uracha Wanich and Nittaya Phungam
- Effects of Tannin supplementation on growth performance, *Escherichia coli* and *Lactobacillus* concentration in weaned pigs
Sudthidol Piyadeatsoontorn, Charinya Niamjit, Awatsada Chusrisattaya and Kornpapha Phanitkullawat
- Nursing of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) in flow through water systems
Phichet Detanun, Krittima Kasamawut and Samnao Saowakoon
- The study of iron concentration, water hardness and coliform bacteria from water coolers
Wanpiti Thammasri, Aunchisa Paiboon, Maruay Phakpaknam and Marisa Liabsang
- Solar-powered banana oven with hybrid system
Yospon Jutayothin, Sarawut Phetthabtim, Watcharapon Inkesorn, Thinnagorn Chunhapataragul, Titiya Netwong and Surasit Songma
- Effect of pasteurization and sugar on phenolic content, ascorbic acid and antioxidant activity of Ya-Nang (*Tiliacora triandra* Diels) juice
Arissara Phosanam, Jirawan Thongmaha, Darawan Utawong, Patcharaporn Tinchai and Kunwadee Kaewka
- Preliminary study on the effect of absorber type and quantity on microwave pyrolysis process of polypropylene
Tiammanee Rattanaweeran, Sompop Sanongraj, Sirinya Pakdee and Sukumaporn Sittitham
- Butterfly species diversity in Yakruae and Phromleang streams, Nam Nao national park, Phetchabun Province
Sirikamon Phlai-ngam and Nisarat Tungpaibojwong
- Improving the production process of motorcycle crankshaft case study of Revaltech Thailand
Trerapat Sinsuntra and Poontana Sresracoo
- Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer Including porous media: A case study of lemongrass drying
Tanagorn Homchampa, Wiroj Tassana, Prateep Toomthong and Prapanpong Somsila