

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2565

Vol.3 No.3 September - December 2022

- การเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี
วนารีย์ นิมป์ ศรีศักดิ์, สุนทรไชย และวศิณา จันทรศิริ
- การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยการใส่แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี
นุรัตน์ ดอกไม้, สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด, ปรัชญา มุขดา และขวัญชัย หนาแน่น
- การออกแบบและการพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์
เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา, ชนัฐ วิวัฒน์เพชร, ธนาพร เสนาสุธรรม และสุพรรณ ยั่งยืน
- เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่
ปรัชญา มุขดา, อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก, ขวัญชัย หนาแน่น, ภาศย์ พราหมณ์แก้ว, อภิรัตน์ วงศ์สุชาติ และช่วงชัย ชูปวา
- เครื่องบดสกัดน้ำซังแบบเกลียวอัด
เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา, ธนาพร เสนาสุธรรม, ชนัฐ วิวัฒน์เพชร และสุพรรณ ยั่งยืน
- การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเสกไม้เทพทาร์โรในเชิงอุตสาหกรรมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์, สักหวัดจ์ ทองแดง, อมร ดอนเมือง, รัชฎาวรรณ อรรถนิมาตย์ และสุรเชษฐ์ สีชำนาญ
- การเพาะพันธุ์ปลาช่อนหายาก
กษมา ดำวันดี, กฤติมา กษมาวุฒิ และสำเนา เสาวกุล
- การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่
จุฑาพล จำปาแกม, ลำพูน เหลลาราช, ภิตินันท์ อารยางกูร และสุรสิงห์ อารยางกูร
- การขยายพันธุ์บอนสีด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
ขวัญเดือน รัตน, ธิดารัตน์ ผ่องแผ้ว, วิภาดา สิงห์เชื้อ, ขจรพงศ์ ดาศรี และศุภาวีร์ แสงจันทร์จิรเดช
- ความหลากหลายของพืชให้สีและองค์ความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสวรรคภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด
เอื้อมพร จันทรสองดวง และณรงค์นิล พระไชยบุญ

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) การเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี 2) การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยใช้แผ่นบีดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี 3) การออกแบบและการพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ 4) เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 5) เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด 6) การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเศษไม้เทพทาโรในเชิงอุตสาหกรรมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 7) การเพาะพันธุ์ปลาชีวันหวดยาว 8) การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ 9) การขยายพันธุ์บอนสีด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช 10) ความหลากหลายชนิดของพืชให้สี และองค์ความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติ

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย 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	สาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.อัญวีณ์	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

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	อัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤช ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
รศ.ดร.พนธ์วัศ สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรเมศ บรรเท็ง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนิษฐา ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์ จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.รัชพล สันติวรากร	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
รศ.ดร.วีระเวทย์ อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อังคณา บุญยิต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.เอื้อมพร จันทรสองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์ อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.ภาณุพล หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
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 ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิตล ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.รัตนจิรา รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิขันธ์ นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุรียา อุดด้วง	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
ดร.ปรัชญา บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

- พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน
- ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน
 - ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม
 - ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาทบทวน

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต	งามเสน่ห์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤติมา	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ทวีวัฒน์	สุภารส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย	สิทธิพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหัทธ	ชลาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชญา	ศรีธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธกานต์	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์	จิระชีวะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี	ตรีอำรรค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุเมศวร์	สุขศรีศิริวัชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตานาถ	แก้ววินัด	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญ	ผาใต้	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งกานต์	กล้าหาญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรชาติ	โตแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร	หงส์ทองคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระพันธ์	สีหานาม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	ลาลูน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์	แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ	สุวรรณทา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล	ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิกา	กัลปพฤกษ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา	ประสิทธิ์นอก	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ัญญ์นิช	ัญญสิริวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรศิริกุลญา	ธราธิมา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ	ฉายบุญ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาโนช	ข้าเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อาจารย์ ดร.สุวัฒน์

อาจารย์ ดร.วีระยุทธ์

มณีวรรณ

อุดมบูรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่ม จำนวน 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 5 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC12)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ลิทธิวงษ์

บรรณาธิการ

การเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์ ของสาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	1
Cultivation and post-harvest management towards microbial quality of sea grape (<i>Caulerpa lentillifera</i> J. Agardh) in Laem Phak Bia Subdistrict, Ban Laem District, Phetchaburi Province	
วนารีย์ นิมปี ศรีศักดิ์ สุนทรไชย และวศิณา จันทศิริ	
การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยใช้แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี	15
Heat transfer augmentation in a circular tube using V-wavy twisted tape	
นุรัตน์ ดอกไม้ สมิต์ เอี่ยมสอาด ปรัชญา มุขดา และขวัญชัย หนาแน่น	
การออกแบบและการพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์	27
Design and development of compressor ice cream maker machine	
เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา ชณัฐ วิพัทนะพร รณมาพร เสนาสุธรรม และสุพรรณ ยั่งยืน	
เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่	38
The mobile solar water pump	
ปรัชญา มุขดา อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก ขวัญชัย หนาแน่น ภาคย์ พรหมณัฏแก้ว อมิรัตน์ วงศ์ศุภชาติ และช่วงชัย ชูปวา	
เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด	48
A screw press machine for ginger juice extraction	
เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา รณมาพร เสนาสุธรรม ชณัฐ วิพัทนะพร และสุพรรณ ยั่งยืน	

การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเศษไม้เทพทาโรในเชิงอุตสาหกรรม และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี Industrial distillation of essential oils from Taptaro wood chips and chemical composition analysis นำพน ทิพัฒน์ไพบูลย์ สัณห์วัจน์ ทองแดง อมร ดอนเมือง รัชฎาวรรณ อรรถนิมาตย์ และ สุรเชษฐ์ สีชำนาญ	62
การเพาะพันธุ์ปลาลำโพง Breeding of Striped flying barb (<i>Esomus metallicus</i>) กษมา ด้านวันดี กฤติมา กษมาวุฒิ และสำเนาวิ เสาวกุล	71
การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ Study of the optimal ratios and properties of Charcoal briquettes from Bamboo จุฑาพล จำปาแก้ว ลำพูน เหลลราช ภูตินันท์ อารยางกูร และสุรสิงห์ อารยางกูร	81
การขยายพันธุ์บอนสีด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช Propagation of <i>Caladium bicolor</i> (Aiton) Vent. by plant tissue culture technique ขวัญเดือน รัตนา อิตารัตน์ ผ่องแผ้ว วิทิตา สิงห์เชื้อ ขจรพงศ์ ดาครี และศุภาวีร์ แสงจันทร์จิระเดช	94
ความหลากหลายของพืชให้สีและองค์ความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด Species diversity of dyeing plants and knowledge of natural dyeing by Tai Khmer ethnic group in Suwannaphume district, Roi Et province เอี่ยมพร จันทร์สองดวง และนงคณิด พระไชยบุญ	106

Received: August 3, 2022; Revised: August 20, 2022; Accepted: September 6, 2022

การเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของ
สาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี
Cultivation and post-harvest management towards microbial quality
of sea grape (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh)
in Laem Phak Bia Subdistrict, Ban Laem District, Phetchaburi Province

วนารีย์ นิมปี^{1*} ศิริศักดิ์ สุนทรไชย¹ และวศินา จันทรศิริ¹
Wanaree Nimpee^{1*}, Sarisak Soontornchai¹ and Vasina Chandrasiri¹

¹ สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

*Corresponding Author E-mail Address: wanaree.nim@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษากระบวนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น (2) ศึกษากระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น (3) ตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสาหร่ายพวงองุ่น และ (4) หาความสัมพันธ์ระหว่างการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น ในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาคือ ฟาร์มเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 4 แห่ง ประกอบด้วย ฟาร์มมาตรฐานจีเอพี ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียว และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ เครื่องมือที่ใช้ คือ (1) แบบบันทึกการสำรวจ และ (2) อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เจ้าของฟาร์มและผู้เกี่ยวข้อง แล้วเก็บตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ พร้อมจำหน่ายจากฟาร์มทั้ง 4 แห่ง แห่งละ 3 ตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหาและสถิตินอน-พาราเมตริกครุสคัล-วอลลิส ผลการวิจัยพบว่า (1) ระบบการเพาะเลี้ยงของฟาร์มทั้ง 4 แห่งมีวิธีการจัดการไม่แตกต่างกัน (2) การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของฟาร์มทั้ง 4 แห่ง มีวิธีการจัดการไม่แตกต่างกัน (3) คุณภาพด้านเชื้อจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นของฟาร์มทั้ง 4 แห่ง มีการตรวจพบเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* เพียง 1 ตัวอย่าง จาก 12 ตัวอย่าง และไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มทั้ง 4 แห่ง และ (4) การเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของฟาร์มทั้ง 4 แห่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นโดยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: สาหร่ายพวงองุ่น การเพาะเลี้ยง การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว คุณภาพด้านจุลินทรีย์

ABSTRACT

This research aimed: (1) to study the cultivation system of sea grapes (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh); (2) to study the post-harvest management system; (3) to examine the microbial quality of harvested sea grapes; and (4) to determine the relationship between cultivation, post-harvest management and microbial quality of sea grapes in Laem Phak Bia subdistrict, Ban Laem district, Phetchaburi province. A survey research was conducted on a sample population of sea grapes farms in Laem Phak Bia subdistrict, Ban Laem district, Phetchaburi province cultivated totaling 4 different farms including GAP-certified farm, organic and GAP-certified farm, general algae farm, and general aquaculture farm (raising aquatic animals and algae). The following tools were used for this study: 1) survey records of cultivation and post-harvest management systems of sea grapes, and 2) tools for microbial quality analysis. Data were obtained by interviewing farm proprietors and staff; sea grapes samples were taken at the end of the production process and ready for sale from 4 farms, 3 samples from each farm. Data analysis was conducted using content analysis and Kruskal-Wallis' non-parametric statistics. Results revealed that: (1) no differences were found in cultivation system across the 4 farms; (2) no differences were found in post-harvest management across the 4 farms; (3) microbial quality of sea grapes from each farm showed no statistical difference, with only 1 sample detected with *Vibrio parahaemolyticus* out of 12 samples collected, lastly; and 4) cultivation and post-harvest management in all farms were shown to be related to microbial quality of sea grapes in compliance with standards.

Keywords: Sea grapes, Cultivation, Post-harvest management, Microbial quality

บทนำ

สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) เป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว มีลักษณะเป็นเมล็ดกลมเล็ก รวมกันเป็นช่อคล้ายกับผลพวงองุ่น หรือไข่ปลาเคียว จึงมีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า "Sea grapes" หรือ "Green caviar" (กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2560) จัดเป็นพืชอาหารชนิดหนึ่งที่มีคุณประโยชน์ และคุณค่าทางอาหารมากมาย ประกอบไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ หลายชนิด เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated Fatty Acid; PUFA) วิตามินบี 2 วิตามินอี และแร่ธาตุที่สำคัญอย่างแมกนีเซียม (Magnesium) แคลเซียม (Calcium) โพแทสเซียม (Potassium) สังกะสี (Zinc) ไอโอดีน (Iodine) เบต้า-แคโรทีน (Beta-carotene) เป็นต้น และเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่น่าสนใจชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีระดับโปรตีนที่สูง และมีกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ลิซีน วาลีน ไลซีน เป็นต้น อยู่ประมาณร้อยละ 40 ของกรดอะมิโนทั้งหมด ซึ่งใกล้เคียงกับในไข่และถั่วเหลือง (Ratana-arporn and Chirapart, 2006) และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ชนิดที่หาไม่ได้จากพืชบก เช่น กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid) กรดกลูตามิก (Glutamic acid) เป็นต้น ที่สำคัญสาหร่ายพวงองุ่นยังให้พลังงานต่ำ ไขมันต่ำ มีใยอาหารสูง จึงช่วยกระตุ้นระบบขับถ่ายได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) ที่สำคัญคือ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) โดยมีบทบาทสำคัญในการชะลอ หรือขจัดอนุมูลอิสระ (Free radical) ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถป้องกันภาวะเครียดที่เกิดจากการออกซิเดชัน (Oxidation stress) อีกทั้งยังมีบทบาทในการชะลอการแก่ก่อนวัยได้ ด้วยประโยชน์และ

คุณค่าทางอาหารที่กล่าวมา สาหร่ายพวงองุ่นจึงถูกจัดให้เป็นหนึ่งในอาหารสุขภาพประจำปี 2017 ที่ผู้รักสุขภาพนิยมบริโภค (สถาบันอาหาร, 2560) การบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นนิยมบริโภคแบบสด เช่น นำมารับประทานร่วมกับน้ำจิ้ม น้ำพริก ชูชิ สลัด ยำ ส้มตำ เป็นต้น

กรมประมงได้เล็งเห็นถึงศักยภาพและประโยชน์ของสาหร่ายพวงองุ่น และต้องการให้คนไทยได้บริโภคอาหารที่มีคุณค่า จึงได้มีการผลักดันให้สาหร่ายพวงองุ่นขึ้นเป็น “สาหร่ายเศรษฐกิจ” และส่งเสริมให้เกษตรกรทำการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ เพื่อสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรนอกเหนือจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยจังหวัดเพชรบุรีเป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ติดทะเล ไม่มีอุตสาหกรรมหนัก น้ำทะเลซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีคุณภาพดี การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในปัจจุบันมี 2 รูปแบบ คือ การเพาะเลี้ยงในบ่อดิน และการเพาะเลี้ยงในบ่อคอนกรีต (กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2560) ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่จะเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อดิน เนื่องจากมีบ่อเดิมที่เป็นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือนาเกลืออยู่แล้ว ในปี 2562 สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรเรื่องการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล มกษ. 7434-2562 เพื่อให้สาหร่ายทะเลจากการเพาะเลี้ยงมีคุณภาพและความปลอดภัยเหมาะสำหรับการนำไปบริโภคและนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเป็นมาตรฐานโดยสมัครใจ และได้มีการกำหนดคุณภาพของสาหร่ายทะเลในด้านการตกค้างจากสารโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่วปรอท สารหนู และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Salmonella* spp. *E.coli* เป็นต้น (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2562) จากมาตรฐานดังกล่าวการกำหนดคุณภาพด้านจุลินทรีย์ยังไม่มี ความชัดเจนโดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่อาจมีการปนเปื้อนมาจากสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การเพาะเลี้ยง เช่น ดิน น้ำ อากาศ เป็นต้น รวมถึงปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ระหว่างการเพาะเลี้ยง สิ่งที่มาสัมผัสกับผลผลิตในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต การขนส่ง เช่น เกษตรกร ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการอาหาร เครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งนำมาสู่การเกิดโรค และการเจ็บป่วยต่าง ๆ ได้ เช่น *Vibrio parahaemolyticus* ทำให้เกิดโรคอหิวาต์เทียม และ *Vibrio cholerae* ทำให้เกิดโรคอหิวาตกโรค โดยเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทสามารถพบได้ในสัตว์ทะเล สาหร่ายทะเล และแพลงก์ตอน *Listeria monocytogenes* สามารถพบได้ในทั่วไปในธรรมชาติ ทำให้เกิดโรค Listeriosis ในผู้สูงอายุมีครรภ์อาจทำให้เกิดการแท้งได้ *Staphylococcus aureus* สามารถสร้างสารพิษ และทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ โดยมนุษย์และสัตว์เป็นแหล่งอาศัยของเชื้อชนิดนี้มักพบในจมูก คอ ผิวหนัง เส้นผม เป็นต้น ถึงแม้ปัจจุบันจะยังไม่พบการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ หรือการเจ็บป่วยจากการบริโภคสาหร่ายพวงองุ่น แต่จากการศึกษาของ Kudaka et al. (2008) และ Mahmud et al. (2007) พบว่า มีการพบเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ในสาหร่ายทะเล ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรสดังที่กล่าวมา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบนำร่องมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นจากตัวแทนของฟาร์มในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศ โดยฟาร์มเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ปัจจุบันมี 4 แบบ คือ ฟาร์มมาตรฐานจีเอพี ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียว และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ และศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อหาความสัมพันธ์ของระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวกับคุณภาพด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นของฟาร์มทั้ง 4 แบบ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา คือ ฟาร์มเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างฟาร์มเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นที่ต้องการศึกษาแบบเจาะจง เพื่อให้เป็นตัวแทนของรูปแบบฟาร์มที่

หลากหลายและตามความสนใจของผู้ร่วมวิจัย จำนวน 4 แห่ง ดังนี้ 1) ฟาร์มมาตรฐานจีเอพี จำนวน 1 ฟาร์ม 2) ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ จำนวน 1 ฟาร์ม 3) ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นเพียงอย่างเดียว จำนวน 1 ฟาร์ม และ 4) ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นและสัตว์น้ำ จำนวน 1 ฟาร์ม และตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นที่ทำการศึกษ จำนวน 4 แห่ง แห่งละ 3 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ พร้อมจำหน่ายออกจากแหล่งเพาะเลี้ยง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบบันทึกการสำรวจระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ 1) ข้อมูลทั่วไปของฟาร์ม 2) สภาพแวดล้อมทั่วไป และสุขอนามัยภายในฟาร์ม 3) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น 4) การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ, คัด, บรรจุ, เก็บรักษา) และทำการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือให้ครอบคลุมเนื้อหา การใช้ภาษา และสอดคล้องกับกระบวนการวิจัย โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และนำมาหาค่า IOC โดยใช้เกณฑ์คะแนน 0.67 ขึ้นไป

การศึกษาคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทะเลและผู้ป่วยโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง การศึกษาคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์จึงอ้างอิงรายการตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (อาหารพร้อมบริโภค ประเภทอาหารทะเลที่บริโภคดิบ) (สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร, 2560) ซึ่งกำหนดเกณฑ์เชื้อจุลินทรีย์ 7 รายการ ได้แก่ 1) เชื้อจุลินทรีย์รวม (Total plate count) 2) *Escherichia coli* 3) *Staphylococcus aureus* 4) *Salmonella* spp. 5) *Vibrio cholerae* 6) *Vibrio parahaemolyticus* และ 7) *Listeria monocytogenes* โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการทางห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาของบริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น

ผู้วิจัยบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสังเกต และสัมภาษณ์ผู้ประกอบการฟาร์มตัวอย่างที่เข้าทำการสำรวจ โดยมีหัวข้อการสำรวจตามแบบบันทึกการสำรวจระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น

การศึกษาคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น

ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ พร้อมจำหน่ายออกจากฟาร์ม จำนวน 4 แห่ง แห่งละ 3 ตัวอย่าง โดยผู้เตรียมตัวอย่าง คือ เจ้าของฟาร์มหรือผู้ปฏิบัติงานทำการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายจากถังเลี้ยงสาหร่ายพร้อมจำหน่ายจำนวน 1 ถัง จากนั้นตักสาหร่ายพวงองุ่นขึ้นมาบรรจุใส่ตะกร้าโปร่ง และทำการเสเด็ดน้ำด้วยเครื่องปั่นแห้งหรือการสะบัดตะกร้า ผู้วิจัยทำการสวมถุงมือปลอดเชื้อ และฆ่าเชื้อถุงมือด้วยแอลกอฮอล์ 70% ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 3-5 นาที และหยิบตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นจากตะกร้ามาบรรจุในถุงซิปลาสติกปลอดเชื้อ ซึ่งน้ำหนัก 500 กรัม ปิดผนึกถุงเก็บตัวอย่างให้เรียบร้อย เก็บตัวอย่างสาหร่ายจำนวน 3 ตัวอย่างต่อฟาร์ม นำถุงตัวอย่างบรรจุลงในกล่องโฟม ปิดฝากล่องโฟมให้เรียบร้อย และนำตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการ บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด ภายในวันเดียวกับวันที่เก็บตัวอย่าง และทำการรวบรวมผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 7 รายการที่ได้จากใบรายงานผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น

วิเคราะห์เนื้อหาที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลระบบการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น

การศึกษาคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น

ทำการทดสอบความแตกต่างของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดจากแหล่งเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นทั้ง 4 แห่ง โดยใช้สถิติอน-พารามตริกครุสคัล-วอลลิส (Kruskal Wallis) เนื่องจากการเปรียบเทียบของข้อมูลที่มีจำนวนน้อย

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การศึกษาระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น

จากการศึกษาระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นของฟาร์มทั้ง 4 แห่ง ด้านสภาพแวดล้อมของฟาร์ม และสุขอนามัยภายในฟาร์ม และด้านการเพาะเลี้ยง ให้ผลดังนี้

ด้านสภาพแวดล้อมของฟาร์ม และสุขอนามัยภายในฟาร์ม

สภาพแวดล้อมของฟาร์ม พบว่า ทุกฟาร์มมีสถานที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเลซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย การคมนาคมสะดวกมีถนนเข้าถึงในพื้นที่ฟาร์ม มีระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานที่จำเป็น เช่น ไฟฟ้า น้ำประปา เป็นต้น อาคารหรือบริเวณการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก (พื้นที่ล้าง, คัด, บรรจุ และจัดเก็บผลผลิต) มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ เป็นอาคารแบบเปิด ซึ่งไม่สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ รวมถึงสัตว์พาหะนำเชื้อได้อย่างสมบูรณ์ แตกต่างกันที่ขนาดพื้นที่ วัสดุของโครงสร้างอาคาร ฟาร์มมาตรฐานจีเอพี และฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ มีสภาพอาคารผลิตและพื้นที่โดยรอบอาคารผลิตที่เป็นสัดส่วนและมีความสะอาดมากกว่าฟาร์มทั่วไปทั้งสองแห่ง (รูปที่ 1)



(ก) ฟาร์มที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจีเอพี



(ข) ฟาร์มทั่วไป

รูปที่ 1 รูปแบบอาคารผลิต (คัด ล้าง บรรจุ และจัดเก็บผลผลิต)

สุขอนามัยภายในฟาร์ม พบว่า การบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต ของฟาร์มมาตรฐานจีเอพี และฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ มีการจัดการที่ดีกว่าฟาร์มทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล รายการที่ 5 สุขอนามัยภายในฟาร์ม ข้อกำหนด 5.5 ควบคุมดูแลรักษาอุปกรณ์ เครื่องมือ ให้สะอาดทุกครั้งหลังการใช้งาน (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2562) การควบคุมไม่ให้สัตว์เลี้ยงเข้าไปในบริเวณพื้นที่ที่มีกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทุกฟาร์มยังจัดการไม่ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของฟาร์มที่มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิด ทั้งนี้ หากสัตว์เลี้ยงเข้าไปในพื้นที่ของฟาร์มอาจมีการขับถ่ายมูลลงในพื้นที่บริเวณบ่อเลี้ยง และอาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จากมูลสัตว์ได้ จากการศึกษาของ Rodrigues et al. (2014) พบการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* spp. ในตัวอย่างมูลสัตว์ที่ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์จากการเพาะปลูกผักกาดหอม ดังนั้นผู้ประกอบการจึงควรมีการติดตั้งอุปกรณ์หรือปรับปรุงโครงสร้างอาคารให้สามารถป้องกันสัตว์เลี้ยง เช่น จัดทำรั้ว หรือประตูกันพื้นที่อาคารผลิตให้เป็น

สัดส่วน แยกจากพื้นที่ภายนอก เป็นต้น การจัดการของเสียภายในฟาร์ม พบว่า ของเสียที่เกิดจากการผลิตส่วนใหญ่ คือ สาหร่ายที่ไม่ได้คุณภาพ เช่น มีสีแดง ความยาวของซอสสาหร่ายสั้น เป็นต้น ซึ่งของเสียดังกล่าวสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ย หรือนำไปเป็นต้นพันธุ์ใช้เพาะเลี้ยงต่อได้

บุคลากรและสัญลักษณ์ส่วนบุคคล พบว่า ผู้ประกอบการทุกแห่งได้รับการอบรมและคำแนะนำการเพาะเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี กรมประมง จึงทำให้ผู้ประกอบการมีความรู้ที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนการจัดการด้านสุขลักษณะบุคคลสำหรับผู้คัดและบรรจุผลผลิต เช่น การแต่งกาย (การสวมหมวก และเน็ตคลุมผม การสวมถุงมือ) การปฏิบัติตนด้านสุขอนามัยที่ดีในการผลิต สุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น พบว่า ทุกฟาร์มยังไม่มีมีการปฏิบัติในหัวข้อนี้ เนื่องจากยังไม่มีกำหนดในการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล

ด้านการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น

ฟาร์มที่ทำการศึกษากว่า 4 แห่งมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลในบ่อดิน เนื่องจากพื้นที่เดิมเป็นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและนาเกลืออยู่แล้ว จึงสามารถนำมาปรับใช้เป็นบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นตอนการเตรียมบ่อ โดยการขุดบ่อให้มีความลึกประมาณ 1.2–2.5 เมตร และมีการตากบ่อและโรยปูนขาวทิ้งไว้ประมาณ 1–2 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของบ่อ

ขั้นตอนการเตรียมน้ำ น้ำทะเลเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น แหล่งน้ำทะเลที่นำมาใช้ในบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย และน้ำทะเลที่ใช้ในกระบวนการล้างสาหร่ายหลังการเก็บเกี่ยวของฟาร์มทั้ง 4 แห่ง มาจากน้ำทะเลชายฝั่งตำบลแหลมผักเบี้ย โดยฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียวยังสามารถใช้น้ำทะเลจากชายฝั่งได้เลย เนื่องจากพื้นที่ตั้งฟาร์มอยู่ริมชายฝั่งทะเล ส่วนฟาร์มมาตรฐานจีเอพี และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ จะใช้น้ำทะเลที่ถูกส่งมาตามคลองส่งน้ำทะเล และสูบน้ำเข้าบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย การเติมน้ำทะเลลงในบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะมีระดับความสูงที่ประมาณ 1–1.5 เมตร

ขั้นตอนการเพาะเลี้ยง พบว่า ฟาร์มที่ศึกษาทั้ง 4 แห่งใช้การปลูกสาหร่ายแบบปักชำลงในดิน เนื่องจากมีการลงทุนน้อย และสาหร่ายเจริญเติบโตได้เร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชยุตม์ และคณะ (2021) เรื่อง ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่นในพื้นที่ทุ่งไผ่ จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่มีการเพาะเลี้ยงแบบหว่านลงดินให้ผลผลิตที่มากกว่าการเพาะเลี้ยงแบบแขวนเชือก การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นเป็นการเลี้ยงแบบธรรมชาติไม่มีการใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยจากมูลสัตว์ วัตถุดิบทรายทางการเกษตร สารเคมีต่าง ๆ เป็นต้น ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ในผลผลิตระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล และมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ โดยในส่วนของฟาร์มทั่วไปมีการปฏิบัติเช่นเดียวกัน ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายร่วมกับสัตว์น้ำ สัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง คือ ปลากระพง ซึ่งมีการให้อาหารปลาแบบสำเร็จรูปขณะที่ทำการเพาะเลี้ยง แต่ไม่มีการใช้ปัจจัยการผลิตอื่น ๆ เช่นเดียวกัน การควบคุมคุณภาพของน้ำโดยเฉพาะค่าความเค็มของน้ำทะเลในบ่อเพาะเลี้ยงต้องมีการวัดค่าความเค็มของน้ำทะเลอยู่เป็นระยะ จากการศึกษพบว่าทางผู้ประกอบการจะมีการวัดค่าความเค็มของน้ำทะเลในบ่อเพาะเลี้ยงทุก 1–3 วัน โดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 28–35 ส่วนในพันส่วน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสันติ (2546) เรื่อง การใช้สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentilifera* J. Argardh) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) แบบพัฒนา ที่พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 25–35 ส่วนในพันส่วน สามารถเจริญเติบโตได้ดี ส่วนระดับความเค็มที่ต่ำกว่า 20 ส่วนในพันส่วน และสูงกว่า 40 ส่วนในพันส่วน ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเปลี่ยนถ่ายน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงจะเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เพื่อให้ให้น้ำในบ่อสาหร่ายได้มีการหมุนเวียน และให้สาหร่ายได้รับธาตุอาหารจากน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชยุตม์ และคณะ (2021) ที่พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีความสามารถในการสะสมสารอาหารต่าง ๆ จากแหล่งน้ำเข้ามาไว้ในเนื้อเยื่อของลำต้นโดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งสารที่สำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจน ไนเตรต แอมโมเนีย และฟอสเฟต ซึ่งคุณภาพของน้ำจากคลองพุมเรียงซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ

ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจน แอมโมเนีย และฟอสเฟต สูงกว่าน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงจะเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่อสาหร่ายมีอายุตั้งแต่ 2-4 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเจริญ และทวิช (ม.ป.ป.) ที่พบว่า เมื่อทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นในตู้ปลา การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายพวงองุ่นในระยะเวลา 2 เดือน มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เนื่องจากได้รับสารอาหารพอเพียงต่อการเจริญเติบโต และสาหร่ายจะมีน้ำหนักเฉลี่ยลดลงตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น

2. การศึกษาระบบการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น

จากการศึกษาระบบการจัดการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นใน 4 หัวข้อ ได้แก่ การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อผลผลิต การคัดผลผลิต การบรรจุ และการเก็บรักษา ของฟาร์มทั้ง 4 แห่ง ให้ผลดังนี้

การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อผลผลิต พบว่า ทุกฟาร์มมีขั้นตอนการล้างสาหร่าย โดยจะแบ่งเป็นการล้างออกเป็น 2 ครั้ง ครั้งแรกจะเป็นการล้างสาหร่ายเบื้องต้นเพื่อกำจัดดินโคลนและสิ่งสกปรกที่ติดมากับสาหร่าย โดยหลังการเก็บสาหร่ายขึ้นจากบ่อเพาะเลี้ยงจะนำสาหร่ายใส่ลงในบ่อคอนกรีตหรือถังพลาสติก และแช่ทิ้งไว้ในน้ำทะเล 1 คืน โดยในระหว่างการแช่จะมีการเติมอากาศในน้ำและมีหัวทรายหรือสายยางเติมอากาศทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กในน้ำที่แช่สาหร่าย ซึ่งฟองอากาศขนาดเล็กจะช่วยดันสิ่งสกปรกและคราบเมือกต่าง ๆ ออกจากสาหร่าย ส่วนครั้งที่ 2 จะล้างสาหร่ายหลังขั้นตอนการคัด น้ำที่นำมาใช้ตั้งแต่กระบวนการล้างเป็นน้ำทะเลจากบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายหรือบ่อพักน้ำทะเลภายในฟาร์ม โดยฟาร์มมาตรฐานจีเอพี และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียวมีการสูบน้ำจากบ่อมาใช้โดยไม่มีระบบการกรองน้ำ ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำมีการใช้ตาข่ายพลาสติกหุ้มที่ปลายท่อสูบน้ำทั้ง 2 ด้าน เพื่อทำการกรองเศษหรือสิ่งสกปรกที่ติดมากับน้ำทะเล ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรกรอินทรีย์มีการทำความสะอาดน้ำทะเลโดยใช้ระบบโปรตีน สกิมเมอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อขจัดอนุภาคขนาดเล็กของสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำโดยใช้ฟองอากาศในการดักจับ (อนุสรฯ, 2015) ทำให้น้ำทะเลมีความสะอาดมากขึ้น และทุกฟาร์มไม่มีระบบการฆ่าเชื้อในน้ำทะเลที่นำมาใช้ในกระบวนการล้าง

การคัดผลผลิต พบว่า ทุกฟาร์มจะมีการคัดสาหร่ายที่มีสีเขียว ลักษณะสมบูรณ์ ซ่อสาหร่ายสวย ไม่มีสิ่งแปลกปลอมเกาะที่สาหร่าย ส่วนขนาดหรือความยาวไม่ได้กำหนด แต่โดยส่วนใหญ่จะมีความยาว 1-2 นิ้ว หากสาหร่ายมีลักษณะช่อยาวจะมีราคาสูง สาหร่ายที่ได้จากการคัดจะนำไปล้างอีกครั้ง โดยการแช่สาหร่ายในถังสกิมเมอร์ที่มีน้ำทะเล มีการเติมอากาศด้วยหัวทรายหรือสายยางเติมอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กซึ่งจะช่วยจับตะกอนและสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับสาหร่ายหลุดออกมา โดยการล้างสาหร่ายจะใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน ซึ่งจะต้องมีการใช้สวิงข้อนสิ่งสกปรกที่ลอยบนผิวน้ำออก หากใช้เวลาในการล้างเกิน 1 วันจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน แต่ไม่พบว่ามีขั้นตอนการฆ่าเชื้อในผลผลิตหรือน้ำที่ใช้ล้าง

การบรรจุ นำสาหร่ายขึ้นจากถังล้างสาหร่าย โดยใช้สวิงตาข่ายหรือกระชอนช้อนสาหร่ายขึ้นมา และบรรจุลงในตะกร้า และทำการสะเด็ดน้ำออกให้ได้มากที่สุด ฟาร์มมาตรฐานจีเอพี ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรกรอินทรีย์ และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำมีการใช้เครื่องปั่นแห้งในการสะเด็ดน้ำ ส่วนฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียวไม่มีเครื่องปั่นแห้งจึงใช้การสะบัดตะกร้าจนกว่าสาหร่ายจะแห้งเพียงพอ จากนั้นจะทำการบรรจุสาหร่ายลงในถุงพลาสติกตามปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้า ชั่งน้ำหนัก และบรรจุกล่องโฟม เพื่อรักษาสภาพของสาหร่าย

การเก็บรักษา สาหร่ายพวงองุ่นเป็นพืชที่มีความชื้นสูง ฉ่ำน้ำ เนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม ไม่แน่น เน่าเสียง่ายจากปัจจัยสภาพแวดล้อม (Le et al., 2016) มีความไวต่ออุณหภูมิต่ำและแรงดันออสโมติก จึงเสื่อมเสียได้ง่ายเมื่อจัดเก็บในตู้เย็นและล้างด้วยน้ำประปา (Kudaka et al., 2008) ดังนั้น สาหร่ายพวงองุ่นที่อยู่ระหว่างรอการขายจึงต้องแช่อยู่ในถังสกิมเมอร์ตลอดเวลา เพื่อป้องกันการเสื่อมเสีย และมีความสดอยู่เสมอ

ผลการศึกษาระบบการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวทั้ง 4 ขั้นตอน ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในด้านความปลอดภัยในการบริโภคคือ การล้างสาหร่าย ซึ่งเป็นการกำจัดสิ่งสกปรก และลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีในสาหร่ายพวงองุ่นที่อาจปนเปื้อนมาจากสิ่งแวดล้อมจากการเพาะเลี้ยง เช่น ดิน น้ำ เป็นต้น สอดคล้องกับการศึกษาของปิยะวรรณ และคณะ (2558) ที่สรุปว่านอกจาก

กระบวนการเพาะปลูกที่มีความสำคัญแล้ว กระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การล้าง เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สามารถลดการปนเปื้อนตลอดห่วงโซ่การผลิต และยังเป็น การลดการปนเปื้อนหรือลดระดับให้อยู่ในปริมาณที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากกระบวนการล้างแล้ว ความสะอาดของน้ำทะเลที่นำมาใช้ในการล้างเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้การล้างสาหร่ายมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จากการศึกษาของนพรัตน์ และคณะ (2561) พบว่า เมื่อทำการล้างสาหร่ายพวงองุ่นด้วยน้ำทะเลกรองเพียงอย่างเดียวจะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดหลงเหลืออยู่สูงกว่าการล้างด้วยน้ำทะเลกรองที่มีการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน กรดแลกติก หรือน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่หากใช้น้ำทะเลกรองเพียงอย่างเดียวต้องทำการล้างหลายครั้งจึงสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ และสอดคล้องกับการศึกษาของฐิตารีย์ และกนกวรรณ (2559) ที่พบว่า การล้างต้นอ่อนทานตะวันด้วยน้ำประปาเพียงอย่างเดียวมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของสาหร่ายพวงองุ่น

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count; TPC), *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Vibrio cholerae* และ *Vibrio parahaemolyticus* ในสาหร่ายพวงองุ่นหลังผ่านกระบวนการล้างเตรียมจำหน่ายจากฟาร์มที่ศึกษาทั้ง 4 แห่ง พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์รวมของตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียว มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด รองลงมา คือ ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ และฟาร์มมาตรฐานจีเอพี ตามลำดับ โดยจากการศึกษาข้อมูลด้านสุขอนามัยภายในฟาร์ม พบว่า การบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์การผลิตของฟาร์มมาตรฐานจีเอพีมีการจัดการที่ดีกว่าฟาร์มทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่าฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รวมโดยเฉลี่ยสูงกว่าฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์รวมเป็นการบ่งบอกถึงคุณภาพของอาหารและสุขลักษณะของผู้ผลิตโดยอาจมีการปนเปื้อนจากวัตถุดิบเริ่มต้น การปนเปื้อนในกระบวนการผลิต เช่น อุปกรณ์การผลิต ผู้ปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ อากาศ เป็นต้น สอดคล้องกับการศึกษาของวันเพ็ญ และคณะ (2012) ที่มีการสรุปว่า โดยทั่วไปผักผลไม้และวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมักจะตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์รวมเนื่องจากเป็นเชื้อทั่วไปในดิน แต่อย่างไรก็ตามเชื้อจุลินทรีย์รวมสามารถลดปริมาณลงได้โดยการทำความสะอาดปัจจัยการผลิต และให้ความรู้ด้านสุขลักษณะของสถานที่ผลิตและสุขลักษณะส่วนบุคคล การปนเปื้อนเชื้อ *Escherichia coli* มีค่า < 3.0 MPN/g, *Staphylococcus aureus* มีค่า < 10 CFU/g , ไม่พบการปนเปื้อนเชื้อ *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* และ *Vibrio cholerae* ในตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มทั้ง 4 แห่งทุกตัวอย่าง ส่วนเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ไม่พบการปนเปื้อนในตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ และฟาร์มทั่วไปทั้ง 2 แห่ง แต่พบในตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มมาตรฐานจีเอพี จำนวน 1 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 1 ซึ่งเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* เป็นแบคทีเรียที่พบได้ตามธรรมชาติ โดยจะอาศัยในน้ำทะเล จากการศึกษาของทศวรรณ และคณะ (2550) พบว่า ในน้ำทะเลและดินตะกอนจากแหล่งเพาะเลี้ยงหอยนางรมในพื้นที่ตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอ และการศึกษาของ Kudaka et al. (2008) พบการปนเปื้อนของเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ในน้ำทะเล ต้นพันธุ์สาหร่าย และผลผลิตสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และ ถึงแม้ว่าสาหร่ายพวงองุ่นจะผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทะเลอย่างน้อย 2-3 ครั้งแล้ว แต่ยังคงพบการปนเปื้อนของเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* จึงมีความเป็นไปได้ว่าเชืวดังกล่าวอาจมีการปนเปื้อนมากับน้ำทะเลที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงและการล้างสาหร่ายโดยน้ำที่นำมาใช้ไม่ได้ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ จึงยังคงทำให้มีการปนเปื้อนเชื้อนี้อยู่ในน้ำ ในการบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นมีการแนะนำให้ล้างน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง เพื่อลดความเค็มของสาหร่าย แต่การล้างน้ำสะอาดไม่สามารถทำลายเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ได้ จากการศึกษาของชัยวัฒน์ และคณะ (2552) พบว่า การทำลายเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ในหอยแครงโดยการใช้วิธีด้วยน้ำประปา 3 ครั้ง และการล้างน้ำประปา 3 ครั้ง และแช่ในน้ำเกลือ โดยไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ไม่สามารถทำลายเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ได้ ดังนั้น ผู้ประกอบการฟาร์มสาหร่ายควรพิจารณาถึงขั้นตอนการฆ่าเชื้อน้ำทะเลที่นำมาใช้ในขั้นตอนการล้างและแช่สาหร่ายซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกและเชื้อจุลินทรีย์ลงได้

ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Kudaka et al. (2008) ที่เสนอว่าควรมีขั้นตอนการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกระบวนการเพื่อการป้องกันโรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อดังกล่าว นอกจากนี้ควรมีการเฝ้าระวังเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* เพิ่มเติมจากเชื้อ *Salmonella spp.* และ *E.coli* ที่กำหนดไว้ในการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเลด้วย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2560 อาหารประเภทอาหารทะเลที่บริโภคพบ ในภาพรวมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นทุกตัวอย่างยังอยู่ในเกณฑ์ จึงมีความปลอดภัยในการบริโภค

ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 7 รายการ ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มตัวอย่าง 4 แห่ง

ฟาร์ม	ตัวอย่าง	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (cfu/g, MPN/g, per 25 g)						
		TPC ^{ns}	<i>E.coli</i> ^{ns}	<i>L.monocytogenes</i> ^{ns}	<i>S.aureus</i> ^{ns}	<i>Salmonella</i> spp. ^{ns}	<i>V.cholerae</i> ^{ns}	<i>V.parahaemolyticus</i> ^{ns}
จีเอพี	1	90	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ
	2	20	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	3	65	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
จีเอพี	1	7.3 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
และ	2	70	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
เกษตรอินทรีย์	3	1.4 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ทั่วไปเลี้ยง	1	3.6 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
สาหร่ายอย่างเดียว	2	4.4 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	3	2.9 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ทั่วไปเลี้ยง	1	1.4 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
สาหร่ายและ	2	1.3 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
สัตว์น้ำ	3	3.1 × 10 ²	<3.0	ไม่พบ	<10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตินอน-พารามетริกครุสคัล-วอลลิส (Kruskal Wallis) ($p>0.05$)

เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2560 อาหารประเภทอาหารทะเลที่บริโภคดิบ กำหนดให้

จำนวนจุลินทรีย์ น้อยกว่า 1×10^5 CFU/g

Escherichia coli น้อยกว่า 3 MPN/g

Staphylococcus aureus น้อยกว่า 100 CFU/g

Salmonella spp. /25 กรัม ต้องไม่พบ

Vibrio cholerae /25 กรัม ต้องไม่พบ

Vibrio parahaemolyticus /25 กรัม ต้องไม่พบ

Listeria monocytogenes /25 กรัม ต้องไม่พบ

4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบการเพาะเลี้ยง และรูปแบบการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวกับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น

เมื่อนำปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รวม, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* และ *Vibrio parahaemolyticus* ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มที่ศึกษาทั้ง 4 แห่ง มาหาความสัมพันธ์ (ความแตกต่าง) ทางสถิติโดยใช้วิธีการทดสอบ Kruskal-Wallis ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทุกประเภทของสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มทั้ง 4 แห่ง ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าระบบการเพาะเลี้ยง และรูปแบบการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของฟาร์มมาตรฐานจีเอพี ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียว และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ ในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรีมีคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของปราณี และคณะ (2556) ที่พบว่า การประเมินความปลอดภัยทางด้านเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างผักจากแปลงจีเอพี ผ่านการประเมินมากกว่าตัวอย่างจากแปลงทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการจัดการตามระบบการจัดการคุณภาพจีเอพีพีจะมีการประเมินและการจัดการปัจจัยการผลิตเพื่อลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น การใช้ปุ๋ยคอก หรือน้ำที่นำมาใช้ต้องไม่มีการปนเปื้อน เป็นต้น ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นการเก็บตัวอย่างผักจากแปลงปลูกที่ยังไม่ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดหรือการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในผลผลิต และพบความแตกต่างของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จากแปลงจีเอพี และแปลงทั่วไป ในขณะที่งานวิจัยนี้เป็นการเก็บตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดผลผลิตเบื้องต้นแล้ว และพร้อมจำหน่าย แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของปราณี และคณะ (2556) ดังกล่าว ได้เสนอแนะว่า ถึงแม้ว่าการผลิตพืชตามระบบจีเอพีจะช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค แต่ยังคงมีความเสี่ยง จึงควรพิจารณาถึงการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวด้วย ทั้งนี้ การที่คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของสาหร่ายพวงองุ่นที่มาจากฟาร์มทั้ง 4 แห่ง ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากผู้ประกอบการทุกคนได้รับองค์ความรู้และคำแนะนำในการเพาะเลี้ยง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นจากหน่วยงานเดียวกันคือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี กรมประมง จึงมีแนวทางการเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ฟาร์มที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่ขอรับรองโดยมีหน่วยงานจากกรมประมงมาตรวจติดตามเป็นระยะ ส่วนฟาร์มทั่วไปแม้ไม่ได้ขอการรับรองมาตรฐานแต่การปฏิบัติตามมาตรฐานจีเอพีและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวในภาพรวมมีความสอดคล้องกับการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล แต่แตกต่างกันในด้านการจัดการอาคารผลิต และอุปกรณ์การผลิตของแต่ละฟาร์ม และถึงแม้ว่าคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มมาตรฐาน และฟาร์มทั่วไปจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการปฏิบัติตามมาตรฐานจีเอพีหรือเกษตรอินทรีย์ รวมถึงการนำมาตรฐานด้านสุขลักษณะที่ดีในการผลิตมาประยุกต์ใช้ของเกษตรกรและผู้ประกอบการย่อมส่งผลดีในหลาย ๆ ด้าน ทั้งด้านตัวของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการเอง ในการลดต้นทุนการผลิตในระยะยาว เนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีหรือมีการจำกัดการใช้ที่เหมาะสม การลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าได้ เนื่องจากผลผลิตได้มาตรฐาน และมีความปลอดภัยอย่างสม่ำเสมอ ทั้งด้านของผู้บริโภคที่มีความเชื่อมั่นว่าจะได้บริโภคสาหร่ายพวงองุ่นที่มีคุณภาพ และมีความปลอดภัยทั้งจากสารเคมี จุลินทรีย์ และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เนื่องจากเป็นผลผลิตที่มาจากกระบวนการเพาะเลี้ยงที่มีมาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนงนภัส และคณะ (2556) ที่พบว่าเกษตรกรเห็นด้วยกับโครงการส่งเสริมสินค้าเกษตรปลอดภัยและได้มาตรฐานปี 2555 ในด้านการตลาดและผลตอบแทน ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในสินค้าเนื่องจากได้รับใบรับรองมาตรฐาน สามารถส่งผลผลิตไปจำหน่ายยังตลาดแห่งอื่นได้ มีอำนาจในการต่อรองราคาในการซื้อปัจจัยการผลิต สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้สูง ผลผลิตมีคุณภาพ สามารถจำหน่ายได้ราคาสูงกว่าผลผลิตทั่วไป

บทสรุป

ฟาร์มตัวอย่างทั้ง 4 แห่งในพื้นที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ประกอบด้วยฟาร์มมาตรฐานจีเอพี ฟาร์มมาตรฐานจีเอพีและเกษตรอินทรีย์ ฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียว และฟาร์มทั่วไปที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายและสัตว์น้ำ มีระบบการเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นที่ไม่แตกต่างกันและมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดตามมาตรฐานสินค้าเกษตรเรื่อง การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล มกษ. 7434-2562 ซึ่งเป็นมาตรฐานทั่วไป และเป็นไปตามความสมัครใจของผู้ประกอบการในการขอการรับรอง เนื่องจากผู้ประกอบการฟาร์มสาหร่ายพวงองุ่นทั้ง 4 แห่งได้รับองค์ความรู้และคำแนะนำในการเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี กรมประมง จึงทำให้มีการปฏิบัติเป็นไปในแนวทางเดียวกัน การศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มทั้ง 4 แห่งโดยใช้เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2560 อาหารประเภทอาหารทะเลที่บริโภคได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์รวม, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Vibrio cholerae* และ *Vibrio parahaemolyticus* พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แต่ละรายการไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มทั้ง 4 แห่ง เนื่องจากแต่ละฟาร์มมีระบบการเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่แตกต่างกันดังที่กล่าวมา แต่อย่างไรก็ตามมีการพบเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มมาตรฐานจีเอพีจำนวน 1 ตัวอย่าง ดังนั้นผู้ประกอบการจึงควรมีการเฝ้าระวังเชืวดังกล่าวเพิ่มเติม และพิจารณาขั้นตอนการฆ่าเชื้อในน้ำทะเลที่นำมาใช้ในกระบวนการล้างสาหร่ายซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อให้ผลผลิตมีความสะอาดและปลอดภัยต่อการบริโภค และถึงแม้ว่าคุณภาพด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่นจากฟาร์มมาตรฐานและฟาร์มทั่วไปจะไม่แตกต่างกัน แต่ผู้วิจัยยังเล็งเห็นถึงความสำคัญของการขอรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรทั้งมาตรฐานจีเอพีหรือเกษตรอินทรีย์ เพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานในการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นให้มีคุณภาพและความปลอดภัยต่อการบริโภค สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตและโอกาสในการส่งออกต่างประเทศในอนาคตซึ่งเป็นผลดีต่อผู้ประกอบการ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นเพียงงานวิจัยนำร่องเพื่อให้ทราบข้อมูลพื้นฐานของการเพาะเลี้ยง การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวจากการปฏิบัติจริงของผู้ประกอบการ และข้อมูลคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิจัยในเชิงลึกเพิ่มเติมได้ในอนาคต เช่น ศึกษาวิธีการฆ่าเชื้อผลผลิตสาหร่ายพวงองุ่นที่เหมาะสม เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ก่อโรค *Vibrio parahaemolyticus* ศึกษาคุณภาพด้านอื่น ๆ ของสาหร่ายพวงองุ่น เช่น คุณภาพทางด้านเคมีระหว่างฟาร์มมาตรฐานจีเอพี มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และฟาร์มทั่วไป ทางด้านประสาทสัมผัส โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นระหว่างฟาร์มที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายเพียงอย่างเดียวและฟาร์มที่มีเพาะเลี้ยงสาหร่ายควบคู่กับสัตว์น้ำ เป็นต้น และควรเพิ่มจำนวนฟาร์มในการสำรวจเพื่อให้เป็นตัวแทนที่ดีของแต่ละพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการปรับปรุงหรือพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวให้เป็นไปตามมาตรฐานในทิศทางเดียวกันในทุกพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ประกอบการฟาร์มสาหร่ายพวงองุ่นทั้ง 4 แห่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลและเก็บตัวอย่าง รวมทั้งเสียสละเวลาในการให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. (2560). การจัดการความรู้ การเพาะเลี้ยงและการจัดการสาหร่ายพวงองุ่นหลังการเก็บเกี่ยว. ค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2561. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20170808161509_file.pdf
- จรัญ บุญรงค์ และทวิช สนธิวรรณ. (ม.ป.ป.). ผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงในตู้ปลา. สถาบันทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง. ค้นเมื่อ 6 กันยายน 2564. <http://nrei.rmutsv.ac.th/sites/default/files/data/AQ/%E0%B9%80%E0%B8%9C%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B9%88%20%20%E0%B8%9E%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%8D.pdf>
- ชยุตม์ กระสินธุ์, ชีร ศรีสวัสดิ์ และนิตยา อัมรัตน์. (2021). ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายผมนางในพื้นที่ทุ่งไผ่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารแก่นเกษตร. 49(ฉบับพิเศษ 1): 134-139.
- ชัยวัฒน์ พูลศรีกาญจน์, อรุณ บำงตระกูลนนท์, ศรีรัตน์ พรเรืองวงศ์, กรวรรณ นพพรพร และสืบเนื่อง ชัยชนะ. (2552). การศึกษาวิธีทำลายเชื้อโรคอาหารเป็นพิษในหอยแครง. วารสารอาหาร. 39(3): 250-257.
- จิตมารีย์ ชุตินพงษ์วิเวท และกนกวรรณ รูปพนม. (2562). ผลของการล้างด้วยน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และน้ำเย็นต่อการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ และคุณภาพการเก็บรักษาต้นอ่อนทานตะวัน. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ (เทคโนโลยีการผลิตพืช) คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- ทศวรรณ ขาวสีจาน, สุวรรณภา ภาณุตระกูล และศิริโฉม พุ่งแก้ว. (2550). การประเมินความเสี่ยงในการได้รับเชื้อกลุ่มไวรัสจาก การบริโภคหอยนางรมจากแหล่งเลี้ยงหอยนางรม ตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาวิทยาศาสตร์ 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2550. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 263-270.
- นงนภัส โคกรังพิมาย, เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ และสินินุช ครุฑเมือง แสนเสริม. (2556). ความคิดเห็นของเกษตรกรต่อโครงการ ส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรปลอดภัยและได้มาตรฐาน ปี 2555 จังหวัดบุรีรัมย์. ใน เรื่องเติมการประชุมวิชาการ แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 6-7 ธันวาคม 2556. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 2932-2938
- นพรัตน์ มะเห, ดลฤดี พิชัยรัตน์ และอุไรวรรณ วัฒนกุล. (2561). การวิจัยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่น. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ปราณี วรเนตรสุตาพิทย์, ประยุทธ์ สีสวยหุด, ชูลีกร ลิ้นอนลาน และสนธิพิมพ์ สิมมาทัน. (2556). สถานการณ์เชื้อจุลินทรีย์ อีโคไลและซัลโมเนลลาในผักจากแปลง เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. วารสารแก่นเกษตร. 41(ฉบับพิเศษ 1): 532-537.
- ปิยะวรรณ กาสลัก, ชีรยุทธ เกิดไทย, สุเวทย์ นิงสานนท์ และรุจ มรกต. (2558). คุณภาพและความปลอดภัยตลอดห่วงโซ่การผลิต พริกด้วยการจัดการระบบน้ำและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนัก วิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- วันเพ็ญ แสงทองพินิจ ,อัจฉรา ภู่แดง, และเบญจวรรณ โมราสี. (2012). การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศราชินีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบล ดอนตูม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม. ใน The 4th NPRU National Conference 2012 12 – 13 July 2012. Nakhon Pathom Rajabhat University. Nakhon Pathom. 1-10.
- สถาบันอาหาร. (2560). อาหารสุขภาพประจำปี 2017. จัดหมายข่าวสถาบันอาหาร. 20(2): 4. ค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2561. www.nfi.or.th.
- สันติ ปริยะวาทิ. (2546). การใช้สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) แบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร (สาขาวิทยาศาสตร์การประมง) มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2560). เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560). พิทู ดีไซน์ แอนด์ พรินท์: กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562). มาตรฐานสินค้าเกษตร : การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงที่ดีสำหรับฟาร์มสาหร่ายทะเล มกษ.7434-2562.
- อนุสรณ์ แก่นทอง. (2015). เรื่องนำร่องของโปรตีนสกินเมอร์. ค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563. http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1582:2015-04-01-09-43-20&catid=42:2012-02-20-03-00-29&Itemid=124
- Kudaka J., Itokazu K., Taira K., Nidaira M., Okano S., Nakamura M., Iwanaga S., Tominaga M. and Ohno A. (2008). Investigation and culture of microbial contaminants of *Caulerpa lentillifera* (Sea Grape). *Shokuhin Eiseigaku Zasshi*. 49(1): 11-15.
- Le T.T., Nguyen T.M.T., Vu N.B. and Nguyen H.D. (2016). Effect of packaging to quality and shelf-life of fresh sea grapes (*Caulerpa lentillifera* J.Agardh, 1837). *Journal of Fisheries science and Technology* No.3-2016. Accessed 13 Oct. 2021. <https://tailieumienphi.vn/doc/effect-of-packaging-to-quality-and-shelf-life-of-fresh-sea-grapes-caulerpa-lenti-lfycuq.html>
- Mahmud Z.H., Neogi S.B., Kassu A., Wada T., Islam M.S., Nair G.B., Ota F. and others. (2007). Seaweeds as a reservoir for diverse *Vibrio parahaemolyticus* populations in Japan. *International Journal of Food Microbiology*. 118(1): 92-96.
- Ratana-arporn P. and Chirapart A. (2006). Nutritional Evaluation of Tropical Green Seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*. *Kasetsart Journal Natural Science*. 40(Suppl.): 75-83.
- Rodrigues R.Q., Loiko M.R., Daniel de Paula C.M., Hessel C.T., Jacxsens L., Uyttendaele M., Bender R.J. and Tondo E.C. (2014). Microbiological contamination linked to implementation of good agricultural practices in the production of organic lettuce in Southern Brazil. *Food Control*. 42(2014): 152-164.

Received: August 30, 2022; Revised: September 22, 2022; Accepted: September 28, 2022

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยใช้แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี Heat transfer augmentation in a circular tube using V-wavy twisted tape

นุรัตน์ ดอกไม้¹ สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด² ปรัชญา มุกดา¹ และขวัญชัย หนาแน่น^{1*}Nurat Dokmai¹, Smith Eiamsa-ard², Prachya Mukda¹ and Kwanchai Nanan^{1*}^{1*}คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดกรุงเทพฯ

*Corresponding Author E-mail Address : ae_bew@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่สอดใส่แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี (V-WTT) แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีทำจากแผ่นอลูมิเนียมมีความหนา 1.0 มิลลิเมตร กว้าง 37.5 มิลลิเมตร ถูกนำมาบิดที่อัตราส่วนการบิด (y/W) คงที่เท่ากับ 3.0 และมุมของแผ่นบิดผิวคลื่นรูปตัววี (θ) ที่ 30° and 60° ตามลำดับ ท่อทดสอบทำจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 38 มิลลิเมตร ยาว 1,600 มิลลิเมตร อากาศถูกใช้เป็นของไหลในการทดสอบในช่วงเลขเรย์โนลด์ส (Re) ระหว่าง 4000 ถึง 8000 ภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงตัว ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ เลขนัสเซิลต์ ตัวประกอบเสียดทาน และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ผลการวิจัยพบว่าท่อทดสอบที่สอดใส่แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี (θ) 30° ที่ Re เท่ากับ 4,000 ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 1.24

คำสำคัญ: ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี การเพิ่มถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบความเสียดทาน

Abstract

This research studied heat transfer performance in circular tubes installed with V-wavy twisted tape (V-WTT). The V-wavy twisted tape was made of a thin straight aluminum sheet 1.0 millimeter thick, a width of 37.5 millimeter, constant twist ratio (y/W) of 3.0 and V-wavy angles (θ) of 30° and 60° , Respectively. The test tube was a copper having an internal diameter of 38 millimeter and a length of 1,600 millimeter. Air was used as a working fluid for Reynolds numbers (Re) ranging from 4,000 to 8,000 under uniform wall heat-flux condition. The heat transfer, friction loss and thermal performance behaviors were determined. The experimental results showed that the test tube with the V-wavy twisted tape having (θ) of 30° at Re of 4,000 gave the maximum heat transfer performance of 1.24.

Keywords: Heat exchanger tube, V-wavy twisted tape, Heat transfer enhancement, Friction factor

บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็น โรงจักรต้นกำลัง อุตสาหกรรมปรับอากาศและการทำความเย็น อุตสาหกรรมรถยนต์ เตาปฏิกรณ์เคมี หรืออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น การลดต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล่านี้สามารถทำได้โดยลดการใช้พลังงานด้วยการลดขนาดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น มีการซ่อมและการบำรุงรักษาน้อย อุปกรณ์ประกอบราคาถูกและง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้เทคนิคแบบพาสซีฟ (Passive technique) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องนำพลังงานจากภายนอกมาใช้ แต่ทำได้โดยการปรับปรุงพื้นผิวหรือโครงสร้าง ประกอบด้วย การทำให้พื้นผิวมีความขรุขระ ผิวท่อเป็นเกลียวและอุปกรณ์ที่เกิดการไหลหมุนวน หรืออุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน (Turbulators) ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งของวิธีพาสซีฟเนื่องจากการเป็นการสอดใส่อุปกรณ์เข้าไปในช่องทางการไหลประกอบไปด้วย ขดลวด (Wire coil) แหวนแบบกรวย (Conical ring) แผ่นใบบิด (Twisted tape) ปีก (Winglet) เช่น Eiamsa-ard and Promvongse (2005) ศึกษาเชิงทดลองอิทธิพลของแผ่นใบบิดแบบเกลียวต่อการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยติดตั้งแผ่นใบบิดแบบเกลียว 3 รูปแบบ คือ แผ่นใบบิดเต็มช่วงแบบมีแกน แผ่นใบบิดแบบทั่วไป (ไม่มีแกน) และแผ่นใบบิดตัวเว้นช่วง พบว่าแผ่นบิดเต็มช่วงแบบมีแกนจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 160 เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ สำหรับการใส่แผ่นบิดเต็มช่วงและแผ่นบิดแบบเว้นช่วงที่ระยะช่องว่างเท่ากับ 0.5 มีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 150 และร้อยละ 145 เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ ต่อมา Sarada et al. (2010) ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนด้วยแผ่นใบบิดในท่อกลมแนวตั้ง ในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 6,000 ถึง 13,500 โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ท่อทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 27.5 mm. แผ่นใบบิดมีความกว้างเท่ากับ 10, 14, 18, 22 และ 26 mm. อัตราส่วนกาบิดเท่ากับ 3, 4 และ 5 พบว่าการติดตั้งแผ่นบิดช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบได้ถึงร้อยละ 36-48 และร้อยละ 33-39 สำหรับความกว้างแผ่นใบบิดที่ 26 และ 22 mm. ตามลำดับ (Eiamsa-ard et al., 2011) ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานในท่อกลมโดยใช้แผ่นใบบิดปีกสี่เหลี่ยม (TT-RWs) มี 2 แบบ คือ แบบทั่วไป (TT) และแบบปรับแกน (TA) อัตราส่วนความลึกปีก (d/W) ค่าระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 อัตราส่วนการบิด (y/W) = 4.0 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,500 ถึง 20,200 โดยใช้ น้ำ เป็นของไหลทดสอบ ผลการทดลองพบว่าการใช้แผ่นบิดแบบปีกสี่เหลี่ยมที่ $d/W = 0.3$ ให้ค่าเลขนัสเซิลต์สูงกว่าท่อผิวเรียบประมาณร้อยละ 100 และมีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.36 ถัดมา (Bhuiya และคณะ, 2013) ศึกษาเชิงทดลองการใช้แผ่นบิดแบบเจาะรูที่ความพรุนเท่ากับร้อยละ 1.6, 4.5, 8.9 และ 14.7 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 7,200 ถึง 49,800 ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ พบว่าการใช้แผ่นบิดแบบเจาะรูให้ค่าเลขนัสเซิลต์ตัวประกอบความเสียดทานและสมรรถนะทางความร้อนสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบคิดเป็นร้อยละ 110-340, 110-360 และ 28-59 ตามลำดับ และ (Eiamsa-ard et al., 2012) ศึกษาถึงวิธีเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นใบบิดแบบเกลียว (Helically Twisted Tapes : HTTs) โดยใช้แผ่นใบบิดแบบเกลียวทำมาจากแผ่นใบบิดทั่วไปนำมาบิดให้เป็นรูปเกลียวที่อัตราการบิด (y/W) เท่ากับ 2.0, 2.5 และ 3.0 อัตราส่วนพิทช์ของเกลียว (p/D) เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 6,000 ถึง 20,000 พบว่าการใช้แผ่นใบบิดแบบเกลียวให้ค่าเลขนัสเซิลต์และตัวประกอบความเสียดทานน้อยกว่าแผ่นแบบเกลียว (Conventional Helical Tape, CHT) แต่ให้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนการบิดและอัตราส่วนพิทช์เกลียว แต่สมรรถนะทางความร้อนจะมีลักษณะตรงกันข้าม ถัดมา (Dhamane et al., 2014) ศึกษาผลของแผ่นใบบิดหักโดยพิจารณาที่อัตราส่วนพิทช์ = 8.33, 9.79 และ 10.42 ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 9,500 พบว่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มีการใส่แผ่นบิดหักสูงถึง 1.40 ที่อัตราส่วนบิด 8.33 และร้อยละ 1.45 ที่อัตราส่วนบิด 10.42 จากนั้น (Langeroudi and Javaherdeh, 2018) ได้ใช้ท่อถูกพูก่ร่วมกับแผ่นบิดแบบตัดตัววีที่มีอัตราส่วนบิด อัตราส่วนความลึก และอัตราส่วนความ

กว้างต่างกัน พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะทางความร้อนของท่อลูกฟูกที่สอดด้วยแผ่นบิตแบบตัดตัววีนั้นสูงกว่ากรณีแผ่นบิตแบบ ลำสุต (Dagdevir et al., 2021) ได้ปรับปรุงแผ่นบิตแบบมีรูพรุน (PTTE) และแบบรอยบ่ม (DTTE) ที่ขอบของแผ่นบิตซึ่งมีอัตราส่วนระยะพิทซ์ 0.25, 0.5 และ 1.0 พบว่า DTTE ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า PTTE ในขณะที่ PTTE ให้ค่าความดันตกคร่อมน้อยกว่ากรณี DTTE นอกจากนี้ยังพบว่ากรณี DTTE ที่มี $p/y = 0.25$ ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดที่ 1.57 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดที่ 6367 จึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่ได้ปรับปรุงแผ่นบิตแบบผิวคลื่นรูปตัววีที่สามารถสร้างความปั่นป่วนและทำลายชั้นขีดผิวความร้อนใกล้กับผนังท่อส่งผลให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ทฤษฎีในการวิเคราะห์

ในการทดลองการเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน เลขนัสเซิลต์เฉลี่ย ตัวประกอบความเสียดทาน และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบถูกพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิเฉลี่ยตามสมการที่ (4) ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (1)$$

โดยที่ Q_{air} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนอากาศ (W)
 Q_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (W)

$$Q_{air} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = VI \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
 C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kg K)
 T_i คือ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าท่อทดสอบ (°C)
 T_o คือ อุณหภูมิอากาศที่ทางออกท่อทดสอบ (°C)
 V คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
 I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

ในการทดลองสมดุลทางความร้อนของระบบมีค่าการสูญเสียไม่เกิน 5% เพื่อใช้หาค่าการพาความร้อนที่ผิวดังสมการ

$$Q_{conv} = hA(\bar{T}_w - T_b) \quad (3)$$

เมื่อ

$$T_b = (T_o + T_i)/2 \quad (4)$$

และ

$$\bar{T}_w = \sum T_w/10 \quad (5)$$

โดยที่	h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ($\text{W/m}^2 \text{K}$)
	A	คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (m^2)
	$\bar{T}_w$	คือ อุณหภูมิที่ผิวท่อเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)
	T_b	คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และเลขนัสเซลท์เฉลี่ย สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$Nu = hD/k \quad (6)$$

$$h = \dot{m}C_p(T_o - T_i)/hA(\bar{T}_w - T_b) \quad (7)$$

โดยที่	Nu	คือ เลขนัสเซลท์
	D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
	k	คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศ (W/m K)

และค่าตัวประกอบความเสียดทานหาได้จาก

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right)\rho\frac{U^2}{2}} \quad (8)$$

โดยที่	f	คือ ตัวประกอบความเสียดทาน
	ΔP	คือ ความดันตกคร่อมของอากาศที่ท่อทดสอบ (N/m^2)
	U	คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ (m/s)
	L	คือ ความยาวท่อทดสอบ (m)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

สำหรับค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่พิจารณาภายใต้กำลังขับของไหลเดียวกัน สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{(Nu/Nu_p)}{(f/f_p)^{1/3}} \quad (9)$$

โดยที่	η	คือ สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (-)
	Nu_p	คือ เลขนัสเซลท์ในกรณีท่อเปล่า
	f_p	คือ ตัวประกอบความเสียดทานในกรณีท่อเปล่า

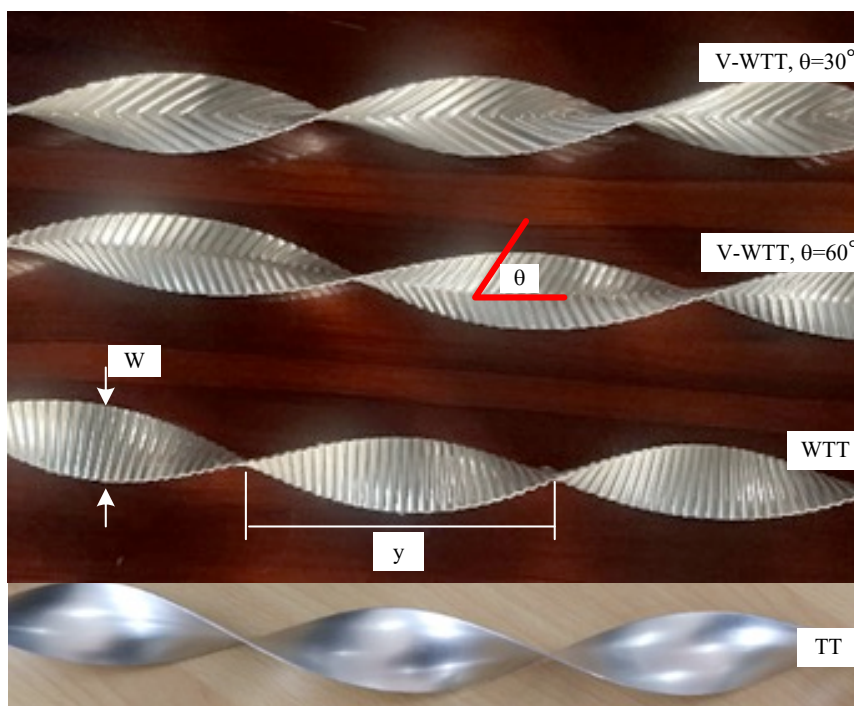
สำหรับการไหลของไหลในท่อทดลอง เลขเรย์โนลด์ส์หาได้จาก

$$Re = \frac{\rho UD}{\mu} \quad (10)$$

โดยที่	Re	คือ เลขเรย์โนลด์ส์
	μ	คือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa s)

อุปกรณ์การทดลอง

แผ่นบีดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีทำจากแผ่นอลูมิเนียมกว้าง (W) 37.5 มิลลิเมตร ขนาดความยาว (L) 1,600 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ถูกรีดขึ้นรูปเป็นผิวคลื่นขนาด 3 มิลลิเมตร โดยทำมุมเอียง (θ) ตามแนวยาวของแผ่นบีดเท่ากับ 30 และ 60 องศา โดยนำมาบีดให้มีอัตราส่วนการบีด (y/W) คงที่เท่ากับ 3.0 ดังแสดงในรูปที่ 1 ถูกติดตั้งในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 38 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร และยาว 1,600 มิลลิเมตร โดยผนังท่อทดสอบถูกพันด้วยขดลวดความร้อนและมีการให้ความร้อนที่ผนังท่อแบบคงตัว (Uniform Heat Flux, UHF) โดยมี Variac transformer เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า ภายนอกท่อถูกหุ้มด้วยใยแก้วเป็นฉนวนกันความร้อน ใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ อัตราการไหลสูงสุดที่ 318 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ที่ถูกควบคุมความเร็วรอบจาก Inverter ทำให้อากาศไหลเข้าท่อทดสอบมีพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 4,000 ถึง 8,000 ซึ่งสามารถวัดค่าความเร็วของอากาศได้จาก Flow meter ที่ต่อกับชุดท่อ Pitot tube และที่ทางเข้าและทางออกท่อทดสอบได้ติดตั้งหัววัดผลต่างความดัน (Differential pressure) แบบดิจิทัล สำหรับการวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type J วัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า 1 จุด ทางออกของท่อทดสอบ 5 จุด และที่ผิวท่อทดสอบเฉลี่ยตลอดความยาวท่อทั้งหมด 10 จุด โดยต่อกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) ตัวประกอบความเสียดทาน (f) และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η)

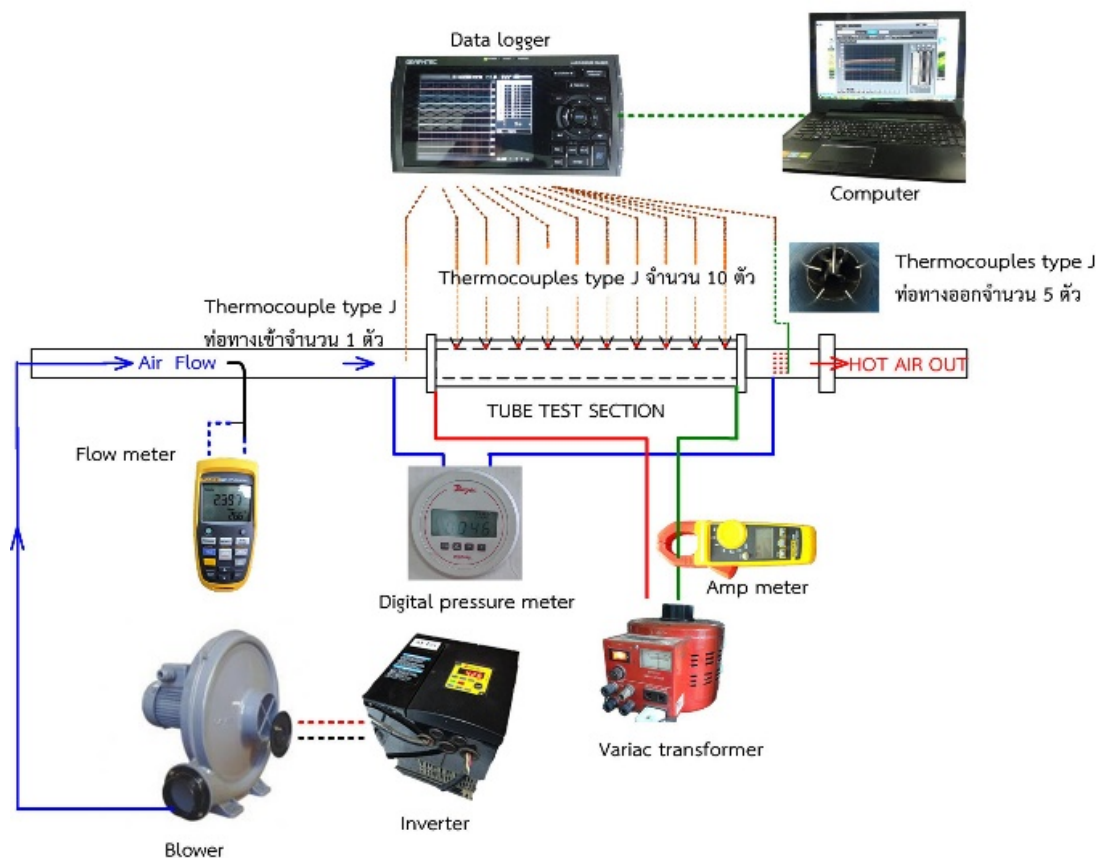


รูปที่ 1 แผ่นบีดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีทำมุม 30 องศา และ 60 องศา

โดยที่	W	คือ ความกว้างแผ่นบีด (m)
	y	คือ ระยะการบีด (m)
	V-WTT	คือ แผ่นบีดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี
	WTT	คือ แผ่นบีดพื้นผิวคลื่น
	TT	คือ แผ่นบีดแบบปกติ

วิธีการทดลอง

ชุดทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นปิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีถูกแสดงรายละเอียดดังในรูปที่ 2 ขั้นตอนการทดลองเริ่มต้นจากใช้ Inverter ในการควบคุมความเร็วรอบของ Blower ให้ได้เลขเรย์โนลด์ส์เริ่มต้นเท่ากับ 4,000 ทำได้โดยวัดค่าความเร็วจาก Flow meter ที่ต่อกับชุดท่อ Pitot อากาศที่อุณหภูมิห้องจะไหลเข้าท่อทดสอบเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อ ที่มีการให้ความร้อนจากการจ่ายไฟฟ้าเข้าขดลวดความร้อนที่ถูกควบคุมโดย Variac transformer เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับท่อทดสอบโดยปรับค่ากำลังไฟฟ้าให้แก่ชุดให้ความร้อนที่ 65 วัตต์ รอให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัวซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าอุณหภูมิเริ่มคงที่จึงบันทึกค่าอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า ทางออกและอุณหภูมิผิวท่อทดสอบเพื่อนำไปหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่ถูกนำเสนอในรูปของตัวเลขนัสเซลท์ (Nu) สำหรับผลต่างความดันตกคร่อม (ΔP) ของอากาศที่ท่อทดสอบวัดจาก Digital pressure meter ซึ่งจะถูกนำไปหาค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f) และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) ในลำดับถัดไป



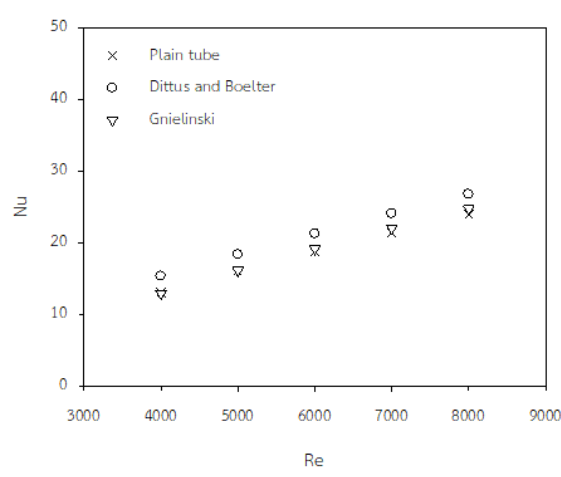
รูปที่ 2 แผนภาพชุดทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยใช้แผ่นปิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววี

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

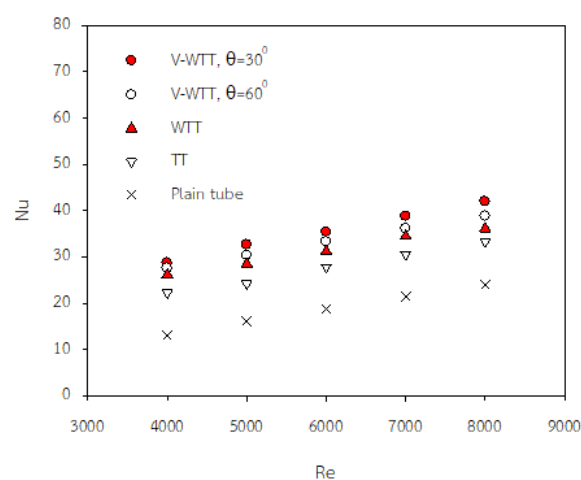
การถ่ายเทความร้อน (Nu)

จากรูปที่ 3 แสดงผลของค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการทดลองในกรณีท่อเปล่าซึ่งถูกนำไปสอบเทียบความน่าเชื่อถือกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ของนักวิจัยในอดีต เช่น Dittus and Boelter (1930), Gnielinski (1976) พบว่าเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการทดลองในกรณีท่อเปล่า (Plain tube) มีแนวโน้มเดียวกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์และมี

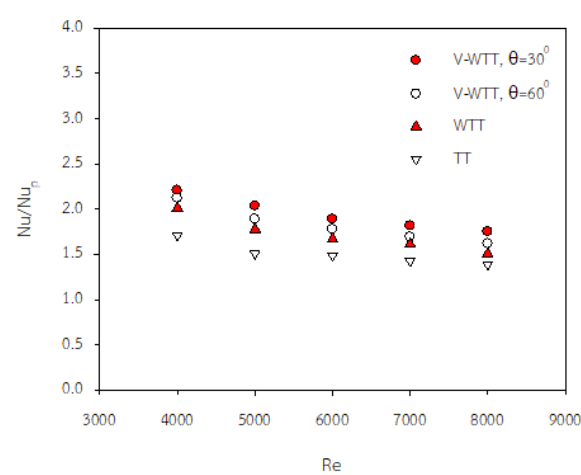
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 14 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สในกรณีท่อเปล่าเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ในอดีต



(ก) เลขนัสเซลท์



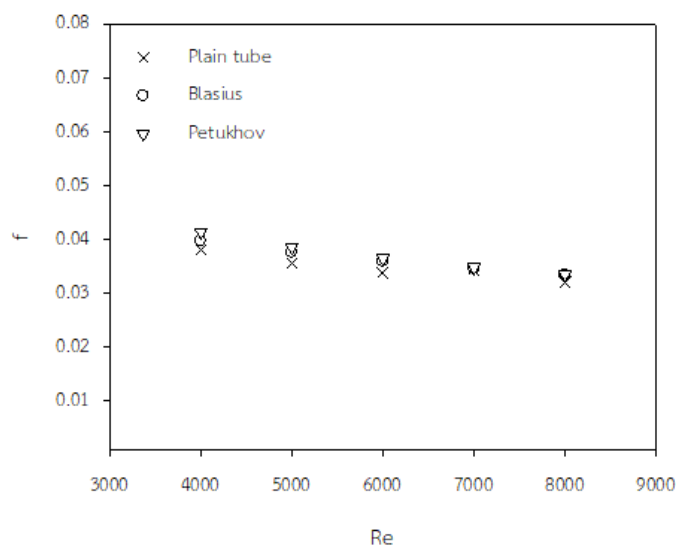
(ข) อัตราส่วนเลขนัสเซลท์

รูปที่ 4 อิทธิพลของแผ่นปิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

สำหรับรูปที่ 4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์ (แกนตั้ง) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (แกนนอน) ในขณะที่รูปที่ 4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่สอดใส่แผ่นบิดแบบพื้นผิวคลื่นรูปตัววี แผ่นบิดแบบพื้นผิวคลื่น และแผ่นบิดแบบปกติ โดยมีอัตราส่วนการบิด (y/W) คงที่เท่ากับ 3.0 โดยผลการวิจัยนี้ได้เน้นศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงแผ่นบิดผิวคลื่นรูปตัววีที่ทำมุม 30° และ 60° ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้นำเสนอในรูปของเลขนัสเซลท์จะมีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ส์ในทุกกรณี ในขณะที่ผลของการสอดใส่แผ่นบิดสร้างการไหลหมุนวนสามารถช่วยให้เลขนัสเซลท์เพิ่มสูงขึ้นจากกรณีท่อเปล่าได้เป็นอย่างดีเนื่องจากเกิดการไหลหมุนวนส่งผลให้การแยกตัวของชั้นของไหลที่อยู่บริเวณกลางท่อเกิดการคลุกเคล้ากับของไหลที่ใกล้กับผนังท่อซึ่งเป็นบริเวณที่ของไหลมีอุณหภูมิส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ผลของการปรับปรุงแผ่นบิดผิวคลื่นรูปตัววีจะก่อให้เกิดกระแสการไหลหมุนวนของของไหลในท่อโดยมีทิศทางพุ่งชนเข้าหาผนังท่อและทำลายชั้นขีดยาวทางความร้อนให้บางลงจึงสามารถช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นบิดผิวคลื่น สำหรับอิทธิพลของมุมตัววี 30° และ 60° พบว่าที่มุมของตัววี 30° จะก่อให้เกิดทิศทางการไหลของของไหลพุ่งชนผนังท่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่ามุมของตัววี 60° โดยแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่ทำมุม 30° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดโดยสูงกว่ากรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่ทำมุม 60° แผ่นบิดพื้นผิวคลื่น แผ่นบิดแบบปกติ และกรณีท่อเปล่าประมาณ 6.7, 13.3, 29 และ 121 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

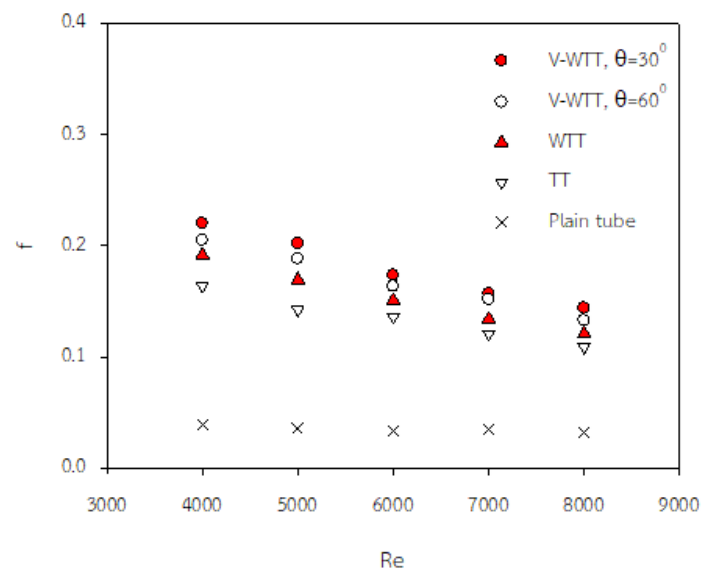
ตัวประกอบความเสียดทาน (f)

ขณะที่ตัวประกอบความเสียดทานที่ได้จากการทดลองสำหรับกรณีการไหลในท่อเปล่า (Plain tube) ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ของนักวิจัยในอดีตเช่น Blasius (1908), Petukhov (1970) พบว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานที่ได้จากการทดลองในกรณีท่อเปล่ามีแนวโน้มเดียวกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเพียง 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสามารถยืนยันความน่าเชื่อถือของค่าที่ได้จากการทดลองได้ ดังแสดงในรูปที่ 5

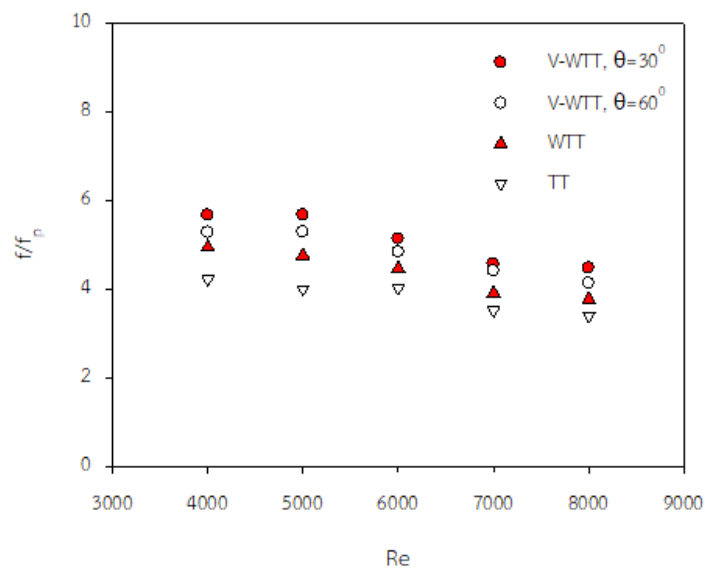


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ ในกรณีท่อเปล่าเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ในอดีต

สำหรับผลของการติดตั้งแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อค่าตัวประกอบความเสียหาย พบว่าตัวประกอบความเสียหายมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งจากกรณีแผ่นบิดผิวคลื่น กรณีแผ่นบิดแบบปกติ และกรณีท่อเปล่า อันเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างการไหลหมุนควงที่มีทิศทางพุ่งเข้าชนผนังท่อแลกเปลี่ยนความร้อนตามมุมเอียงของแผ่นบิดผิวคลื่นรูปตัววี โดยผลจากการทดลองพบว่าแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 30° มีตัวประกอบความเสียหายสูงกว่ากรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 60° แผ่นบิดพื้นผิวคลื่น และแผ่นบิดแบบปกติ ประมาณ 6.5, 6.9 และ 33.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีท่อเปล่าพบว่าการสอดใส่แผ่นบิดแบบพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 30° แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 60° แผ่นบิดพื้นผิวคลื่น และแผ่นบิดแบบปกติจะให้ตัวประกอบความเสียหายเพิ่มขึ้นประมาณ 5.1, 4.8, 4.4 และ 3.8 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) ตามลำดับ



(ก) ตัวประกอบความเสียหาย

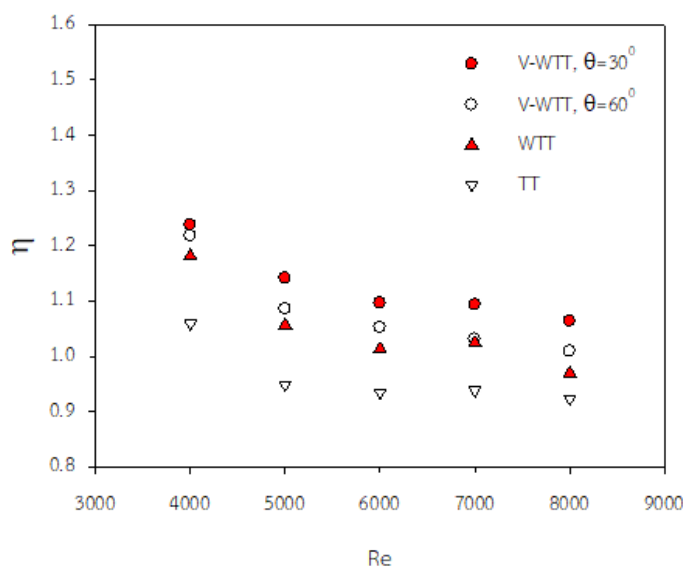


(ข) อัตราส่วนตัวประกอบความเสียหาย

รูปที่ 6 อิทธิพลของแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียหายกับเลขเรย์โนลด์ส์

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η)

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของการสอดใส่แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าสามารถช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นได้ ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียหายเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน หัวข้อนี้จึงได้พิจารณาถึงสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายใต้กำลังขับของไหลเดียวกันตามสมการที่ (9) พบว่า สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของกรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีทั้งจากกรณีมุม 30° และ 60° องศา มีค่าสูงกว่ากรณีแผ่นบิดแบบผิวคลื่นประมาณ 7.5 และ 2.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยิ่งสูงกว่ากรณีแผ่นบิดแบบปกติถึง 17.2 และ 12.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาภายใต้เงื่อนไขการทดลองทั้งหมดพบว่ากรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีมุม 30° มีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.24 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ (Re) เท่ากับ 4,000 ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อิทธิพลของแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มีผลต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์

บทสรุป

ผลของการปรับปรุงกลไกการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการสอดใส่แผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 30° และ 60° พบว่าก่อให้เกิดกระแสการไหลหมุนวนของของไหลในท่อที่มีทิศทางพุ่งชนเข้าหาผนังท่อและทำลายชั้นขีดยาวทางความร้อนให้บางลงส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่น แผ่นบิดแบบปกติ และจากกรณีท่อเปล่า โดยแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 30° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดโดยสูงกว่ากรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีที่มุม 60° แผ่นบิดพื้นผิวคลื่น แผ่นบิดแบบปกติ และกรณีท่อเปล่าประมาณ 6.7, 13.3, 29 และ 121 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลของการปรับปรุงกลไกการไหลดังกล่าวยังก่อให้เกิดค่าความเสียหายเพิ่มตามมาด้วย ซึ่งต้องพิจารณาความคุ้มค่าในเทอมของสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายใต้กำลังขับของไหลเดียวกันพบว่ากรณีแผ่นบิดพื้นผิวคลื่นรูปตัววีมุม 30° มีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 1.24 ที่เลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 4,000

เอกสารอ้างอิง

- Bhuiya M.M.K., Chowdhury M.S.U., Saha M. and Islam M.T. (2013). Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts. *International Communications Heat and Mass Transfer*. 46: 49-57.
- Blasius H.Z. (1908). *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik* (English: *Journal of Applied Mathematics and Physics*). 56: 1- 37.
- Chang S.W., Jan Y.J. and Liou J.S. (2007). Turbulent heat transfer and pressure drop in tube fitted with serrated twisted tape. *International Journal of Thermal Sciences*. 46: 506-518.
- Dittus F.W. and Boelter L.M.K. (1930). Heat transfer in automobile radiators of tabular type. *University of California*. 470(2): 459.
- Dhamane N.B., Nalawade D.B. and Dange M.M.P. (2014). Experimental Study of Heat Transfer for Wavy Twisted Tape Insert of Various Pitches Placed in a Circular Tube. *International Journal of Innovative Research & Development*. 142-146.
- Dagdevir T., Uyanik M. and Ozceyhan V. (2021). The experimental thermal and hydraulic performance analyses for the location of perforations and dimples on the twisted tapes in twisted tape inserted tube. *International Journal of Thermal Sciences*. 167: 107033.
- Eiamsa-ard S. and Promvong P. (2005). Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators. *Solar Energy*. 78: 483-494.
- Eiamsa-ard P., Thianpong C. and Eiamsa-ard S. (2011). Influences of Twisted-Tape with Parallel Rectangular-Wing on Thermal Performance of a Heat Exchanger. *International Conference and Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues & Prospects for Asia (ICUE)*. 28-30.
- Eiamsa-ard S., Yongsiri K., Nanan K. and Thianpong C. (2012). Heat transfer augmentation by helically twisted tapes as swirl and turbulence promoters. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 60: 42-48.
- Gnielinski V. (1976). New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. *Int. Chem.* 16: 359-367.
- Langeroudi H.G. and Javaherdeh K. (2018). Investigation friction factor and heat transfer characteristics of turbulent flow inside the corrugated tube inserted with typical and V-cut twisted tapes, *Heat and Mass Transfer*. 54: 1999-2008.
- Noothong W., Eiamsa-ard S. and Promvong P. (2006). Effect of twisted-tape inserts on heat transfer in a tube. *The 2nd Joint International conference on Sustainable Energy and Environment (SEE2006)*: 21-23.
- Nanan K., Yongsiri K., Wongcharee K., Thianpong C. and Eiamsa-ard S. (2013). Heat transfer enhancement by helically twisted tapes inducing co- and counter-swirl flows. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 46: 67-73.

Petukhov B.S. (1970). Heat transfer and friction in turbulent pipes flow with variable physical properties. In Advances in Heat Transfer. (6).

Sarada N., Raju S., Kalyani Radha A.V. and Shyam K. (2010). Enhancement of heat transfer using varying width twisted tape inserts. International Journal of Engineering, Science and Technology. 2(6): 17-18.

Received: August 4, 2022; Revised: September 22, 2022; Accepted: September 28, 2022

การออกแบบและการพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ Design and development of compressor ice cream maker machine

เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา¹ ชณัฐ วิพัทธะพร¹ รณพร เสนาสุธรรม¹ และสุพรรณ ยั่งยืน^{1*}
Cherdpong Chiewchanwattana¹, Chanat Vipattanaporn¹, Ranaporn Senasutham¹ and
Suphan Yangyuen^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

*Corresponding Author E-mail Address : suphan.y@msu.ac.th

บทคัดย่อ

ไอศกรีมเป็นของหวานที่ได้รับความนิยม การผลิตไอศกรีมให้ได้คุณภาพนั้นนอกจากรสชาติที่ดีแล้วจะต้องพิจารณาถึงเนื้อสัมผัสไอศกรีมที่เนียนนุ่มฟูน่ารับประทานด้วย แต่ด้วยข้อจำกัดของวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมที่มีความยุ่งยากและต้นทุนด้านเทคโนโลยีในท้องตลาดที่สูง จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ในการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิต ช่วยประหยัดต้นทุนทั้งในด้านวัตถุดิบและแรงงาน โดยมีปัจจัยการศึกษา ได้แก่ ความดันสารทำความเย็น 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนท่อแคปพิลารีที่วับ 2 ระดับ คือ 1 และ 2 ท่อ มีปัจจัยควบคุม ได้แก่ สารทำความเย็นชนิด R-404a ระยะเวลาการผลิตไอศกรีมเท่ากับ 60 นาทีต่อรอบการผลิต ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 140 รอบต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และความยาวแคปพิลารีที่วับเท่ากับ 3,352.8 มิลลิเมตร มีค่าชี้ผลการศึกษาได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอศกรีม และการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องฯ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการผลิตไอศกรีมที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนแคปพิลารีที่วับ 2 ท่อ สามารถลดอุณหภูมิสารละลายไอศกรีมจนเริ่มจับตัวกันเท่ากับ -20.35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 46 นาที สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำที่สุดเท่ากับ -23.45 องศาเซลเซียส โดยได้คุณภาพของเนื้อไอศกรีมเนียนนุ่มฟูตามความต้องการ และผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า มีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 639.8 ชั่วโมงต่อปี และมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องฯ ที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี

คำสำคัญ: ไอศกรีม เครื่องผลิตไอศกรีม ระบบคอมเพรสเซอร์ แคปพิลารีที่วับ

Abstract

Ice cream is a very popular dessert. High-quality ice cream production should consider deliciousness, texture, smoothness, and fluffiness. However, traditional production methods are complicated, and the ice cream making technology has remained expensive. Therefore, the objective of this study is to design and develop an ice cream maker with a compressor system to strengthen production capacity and reduce raw materials and labor costs. The independent variables were the refrigerant pressure levels (10, 15 and 20 psi), quantities of capillary tubes (1 and 2 tubes), controlled by a type R-404a refrigerant, while the ice cream production time was 60 minutes per cycle. The speed of the motor was 140 rpm, while the capillary tube had a diameter of 0.7 mm and length of 3,352.8 mm. From the studies of changes in the ice cream temperature and analysis of the engineering economics of the machines, the results have shown that, with ice cream production conditions at a refrigerant pressure of 20 psi, the condition of two capillary tubes reduced the temperature of the ice cream solution until coagulation took place at -20.35°C after operating for 46 mins. The temperature could be as low as -23.45°C and still achieve good quality ice cream. From the engineering economics perspective, the findings of this study revealed that soft and fluffy ice cream on demand has a breakeven point of 639.8 hours per year and a payback period of 0.9 years when the machine is operated for 2,400 hours per year.

Keywords: Ice cream, Ice cream maker machine, Compressor system, Capillary tube

บทนำ

ไอศกรีมเป็นของหวานที่ให้ความรู้สึกสดชื่นเหมาะกับประเทศไทยที่มีสภาพอากาศร้อนเป็นส่วนมากตลอดทั้งปี ส่งผลให้ความต้องการบริโภคไอศกรีมเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น โดยมูลค่าตลาดไอศกรีมในประเทศไทยมีมูลค่า 16,500 ล้านบาท เมื่อปี 2557 และเพิ่มเป็น 17,500 ล้านบาท ในปี 2558 (ปานทิพย์, 2560) อัตราการบริโภคไอศกรีมของประเทศไทย 2 ลิตร/คน/ปี มาเลเซีย 2.5 ลิตร/คน/ปี สิงคโปร์ 5-6 ลิตร/คน/ปี และสหรัฐอเมริกา 15 ลิตร/คน/ปี (มนตรี, 2559) และการบริโภคทั่วโลกคิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณของหวาน (วนิดา, 2559) ปัจจุบันกระบวนการการผลิตไอศกรีมมี 2 วิธี คือ การใช้ถังผลิตที่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ด และการผลิตที่ใช้ระบบคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกระบวนการการผลิตไอศกรีมมี 2 วิธีนี้ส่งผลให้ได้ผลผลิตของไอศกรีมที่แตกต่างกัน

กระบวนการการผลิตไอศกรีมแบบดั้งเดิมยังเป็นการใช้ถังผลิตที่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ดในปริมาณ 3 ต่อ 1 หน่วย ระยะเวลาในการผลิตขึ้นรูปประมาณ 20-30 นาที ซึ่งจะสามารถผลิตได้ครั้งละ 4 กิโลกรัม/ครั้ง จากการสำรวจเก็บข้อมูลพบว่าการใช้เครื่องผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ด มีข้อจำกัดเรื่องปริมาณความเย็นที่ไม่ต่อเนื่องในการผลิตไอศกรีมอีกทั้งขั้นตอนในการเตรียมเครื่องผลิตไอศกรีมมีความยุ่งยาก อาทิ การทูนน้ำแข็งให้ละเอียด การเปลี่ยนวัสดุทำความเย็นในแต่ละรอบการผลิต ฯลฯ เนื่องจากปริมาณความเย็นขึ้นอยู่กับการละลายของน้ำแข็ง ซึ่งการเติมเกล็ดเป็นการเร่งการละลายของน้ำแข็งที่มีฤทธิ์ในการกักความร้อนสูงทำให้อุปกรณ์เกิดสนิมและอาจมีการปนเปื้อนในไอศกรีมที่ผลิตได้ รวมถึงการส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของ วรุดติ และสันติสุข (2561) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมโดยใช้ระบบคอมเพรสเซอร์ เพื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม

สำหรับการผลิตไอศกรีมที่สามารถใช้งานได้จริงในระดับวิสาหกิจชุมชน แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพและการรักษาคุณภาพของการผลิตไอศกรีมไม่คงที่ อีกทั้งการใช้งานที่ยุ่ยากหลายขั้นตอน

จากประเด็นปัญหาและความสำคัญดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องฯ ที่สามารถใช้งานได้จริงในระดับวิสาหกิจชุมชน เพื่อช่วยลดต้นทุน พัฒนาระบบการผลิตในด้านการลดระยะเวลาในการผลิต เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ป้องกันการปนเปื้อนที่ส่งผลเสียต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเพิ่มฟังก์ชันในการควบคุมเพื่อความสะดวกและทันสมัยมากยิ่งขึ้นเพื่อให้วิสาหกิจชุมชนได้มีนวัตกรรมและองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ต่อยอดพัฒนาได้อย่างยั่งยืน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

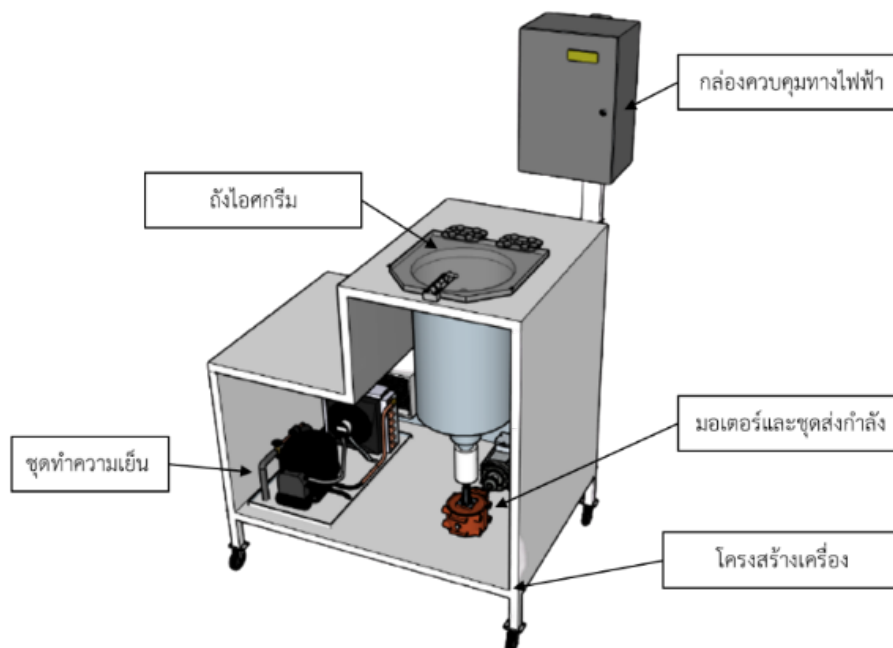
รายละเอียดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ในระดับวิสาหกิจชุมชนโดยมีเงื่อนไขในการออกแบบ และส่วนประกอบหลักในหัวข้อที่ 1 และ 2 ดังนี้

1. เงื่อนไขการออกแบบ

เครื่องผลิตไอศกรีมที่ไม่ใช้น้ำแข็งกับเกล็ดเม็ดในกระบวนการผลิต ทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ โดยมีกำลังผลิตไอศกรีมขนาด 4 ลิตรต่อรอบ

2. แบบร่างเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

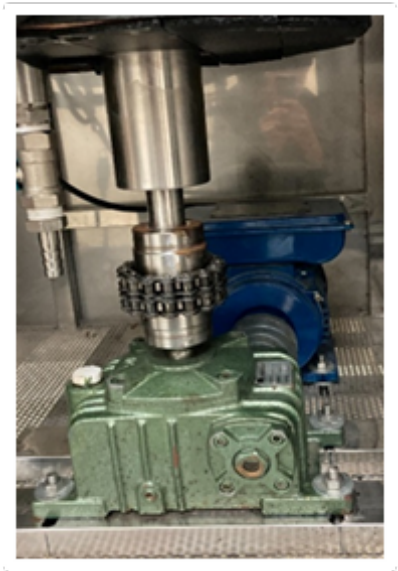
ในส่วนของแบบร่างจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ ที่ใช้สำหรับการสร้างและพัฒนา แบบร่างไอโซเมตริกเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ ดังรูปที่ 1 โดยมีส่วนประกอบหลักได้แก่ โครงสร้าง มอเตอร์ชุดส่งกำลัง ชุดระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ถึงทำความเย็นไอศกรีมพร้อมใบกวน และกล่องควบคุมทางไฟฟ้า รายละเอียดในการออกแบบมีดังนี้



รูปที่ 1 แบบร่างไอโซเมตริกเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

2.1 โครงสร้างผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 นำมาเชื่อมติดกันลักษณะคล้ายตัว L โดยมีขนาดกว้าง 610 มิลลิเมตร ยาว 880 มิลลิเมตร สูง 800 มิลลิเมตร ติดตั้งล้ออิสระ 4 ล้อ เพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย ในส่วนบนของโครงสร้าง ติดตั้งชุดกล่องควบคุมทางไฟฟ้า

2.2 มอเตอร์และชุดส่งกำลังประกอบไปด้วย มอเตอร์ที่ความเร็วรอบที่ 1,400 รอบต่อนาที ต่อเข้ากับชุดเกียร์บ็อกซ์ อัตราทด 1:10 ความเร็วรอบของเพลาใบกวนเท่ากับ 140 รอบต่อนาที ส่งกำลังไปยังใบกวนด้วยชุดคัปปลิงโซ่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มอเตอร์และระบบส่งกำลังโดยใช้เกียร์บ็อกซ์

2.3 ชุดทำความเย็นระบบอัดไอเป็นระบบทำความเย็นแบบอัดสารทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ โดยใช้สารทำความเย็นชนิด R404a ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ คอยล์เย็น คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชุดทำความเย็นด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

2.4 แคปิลารีทิวบ์ (Capillary tube) ที่ระดับปัจจัย 2 ระดับได้แก่ 1 และ 2 ท่อ กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และ 3,352.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีลักษณะการเสริมจำนวนท่อแคปิลารีทิวบ์จาก 1 เป็น 2 ท่อโดยการเชื่อมและมีลักษณะการติดตั้ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการเสริมจำนวนและการติดตั้งของแคปิลารีทิวบ์ (Capillary tube)

2.5 ถังทำความเย็นไอศกรีมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 250 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 264 มิลลิเมตร ความลึก 3950 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และหุ้มด้วยแผ่นฉนวนเพื่อกักเก็บความเย็น มีฝาปิดลักษณะใสสามารถมองเห็นได้ทำมาจากแผ่นอะคริลิกหนา 10 มิลลิเมตร ภายในถังทำความเย็นไอศกรีมมีชุดใบกวน 2 ใบ ต่อกับแกนหมุน โดยโครงทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม และใบกวนทำมาจากพลาสติกแข็งเกรดอาหาร ดังรูปที่ 5 (ก) และ (ข)



(ก) ถังไอศกรีมติดตั้งฉนวน



(ข) ภายในถังทำความเย็นและใบกวนไอศกรีม

รูปที่ 5 ลักษณะภายนอก-ภายในของถังทำความเย็นและใบกวนไอศกรีม

รูปที่ 6 แสดงเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น มีโครงสร้างที่แข็งแรง ปลอดภัย ได้มาตรฐาน มีระบบการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนสะดวกต่อการใช้งาน โดยมีรายละเอียดภาพรวมของเครื่องฯ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำความเย็นของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์โดยมีรายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

1.2 เทอร์โมคัปเปิล ใช้วัดอุณหภูมิเพื่อสารทำความเย็นที่หมุนรอบถังไอศกรีม

1.3 เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรด ใช้วัดอุณหภูมิภายในถังโดยการวัดบริเวณเนื้อไอศกรีม

1.4 มัลติมิเตอร์ สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และมอเตอร์

1.5 แคปิลลารีทิวบ์ (Capillary tube) ที่ระดับปัจจัย 2 ระดับได้แก่ 1 และ 2 ท่อ โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวแคปิลลารีทิวบ์เท่ากับ 0.7 มิลลิเมตร และ 3,352.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ

1.6 สารทำความเย็น ชนิด R404a ระดับปัจจัยความดัน 3 ระดับ ได้แก่ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 เตรียมเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

2.2 เตรียมสารละลายส่วนผสมของไอศกรีม โดยลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส และตวงให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 4 กิโลกรัม และนำเข้าสู่อ่างทำความเย็นเพื่อผลิตไอศกรีม

2.3 เริ่มเปิดเครื่องเพื่อทำการผลิตโดยทำการวัดอุณหภูมิและจดบันทึก ณ บริเวณรอบถัง และเนื้อไอศกรีม ทุก 2 นาที จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตโดยกำหนดไว้ที่ 60 นาที

การศึกษาวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1. การวิเคราะห์และประเมินต้นทุนโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินต้นทุนโดยรวม ด้านค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องโดยพิจารณาจาก เกษตรกรหรือผู้ประกอบการ วิสาหกิจชุมชนซื้อเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แทนการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วย ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคา (คือค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องเท่ากับ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิตไอศกรีม สำหรับวิเคราะห์จะไม่คิดในส่วนของคุณค่าภาษี ค่าประกันภัย ค่าจ้างขนย้ายเครื่องฯ และค่าโรงเรือน เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรซึ่งเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิตไอศกรีม ได้แก่ ค่าวัตถุดิบส่วนผสม ค่าจ้างแรงงานเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องฯ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม เป็นต้น (Hunt, 2008)

2. การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ว่าใช้ระยะเวลาเท่าไรเมื่อลงทุนในการซื้อหรือสร้างเครื่องฯ โดยจะพิจารณาการได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะเวลา 1 ปี คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$PBP = \left(\frac{P}{R} \right) \quad (1)$$

PBP = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

P = ราคาเครื่องจักร (บาท)

R = กำไรสุทธิ (บาทต่อปี)

3. การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (Break-even point)

เป็นการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการทำงานของเครื่องฯต่อปีโดยคิดเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตไอศกรีม ระหว่างแรงงานคนกับเครื่องที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาจากต้นทุนในการทำงานโดยใช้แรงงานคนเท่ากับต้นทุนในการทำงานโดยใช้เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$BEP = \left(\frac{F_c}{B - VC} \right) \quad (2)$$

BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมงต่อปี)

F_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

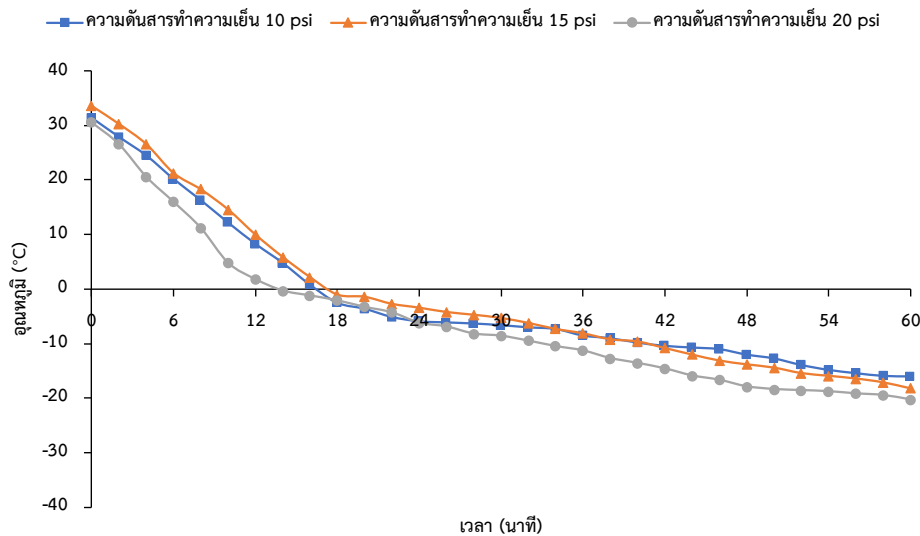
B = อัตราการรับจ้าง (บาทต่อชั่วโมง)

VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาทต่อชั่วโมง)

ผลการวิจัย

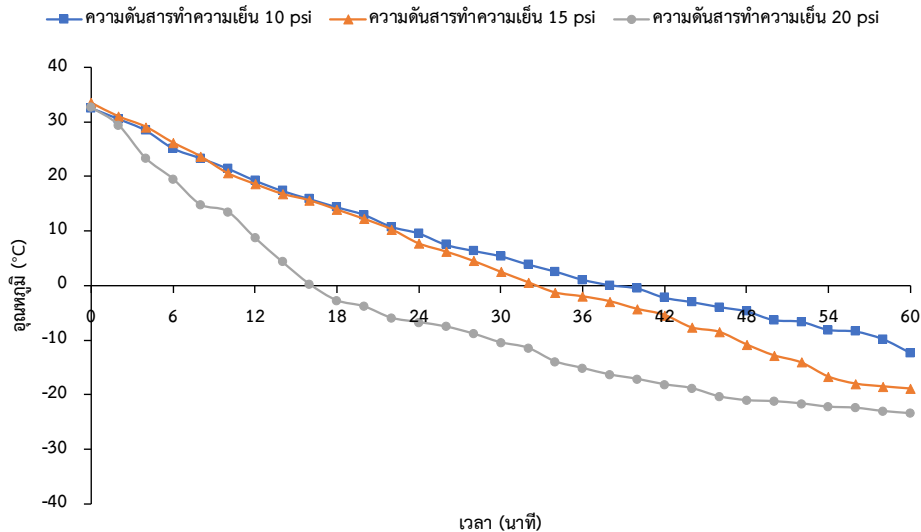
ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์

ผลการศึกษาการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องผลิตระบบคอมเพรสเซอร์ ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปัจจัยของจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 1 ท่อ จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพและข้อมูลค่าชี้ผล พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และลักษณะทางกายภาพของสารละลายไอศกรีมมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการทำงานของเครื่องฯ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบพบว่า ที่แต่ละระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นอุณหภูมิสุดท้ายของไอศกรีมมีค่าเท่ากับ -15.98 -18.18 และ -20.28 องศาเซลเซียส โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมจากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอศกรีมที่เปลี่ยนแปลงไปใน 60 นาที ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 10, 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระดับปัจจัยแคปพิลารีที่วับแบบ แบบ 1 ท่อ

ผลการทดสอบการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องผลิตระบบคอมเพรสเซอร์ แต่ละระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปัจจัยของจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 2 ท่อ จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพและข้อมูลค่าชี้ผล พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และลักษณะทางกายภาพของสารละลายไอศกรีมมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการทำงานของเครื่องฯ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบพบว่า ที่แต่ละระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นอุณหภูมิสุดท้ายของไอศกรีมมีค่าเท่ากับ -12.28 -18.88 และ -23.45 องศาเซลเซียส โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมจากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอศกรีมที่เปลี่ยนแปลงไปใน 60 นาที ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 10 15 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระดับปัจจัยแคปพิลารีที่วับแบบ 2 ท่อ

ผลข้อมูลลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ได้จากเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อเพิ่มระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด) ที่ระดับปัจจัยจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 1 ท่อ เมื่อระยะเวลาการผลิตเท่ากับ 56 นาที ระดับอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมเท่ากับ -19.18 องศาเซลเซียส และระดับปัจจัยจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 2 ท่อ เมื่อระยะเวลาการผลิตเท่ากับ 46 นาที ระดับอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมเท่ากับ -20.35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า ณ ระยะเวลาและอุณหภูมิของไอศกรีมในแต่ละระดับปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไอศกรีมเริ่มจับตัวกันบริเวณขอบถังเหนียวฟูมากขึ้นซึ่งมีลักษณะเนื้อสัมผัสไอศกรีมตามความต้องการของผู้ผลิตไอศกรีม ดังรูปที่ 9 ส่วนที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็นเท่ากับ 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปัจจัยจำนวนแคปพิลารีที่วับแบบ 1 และ 2 ท่อ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบพบว่าสารละลายไอศกรีมยังไม่จับตัวเป็นเนื้อไอศกรีมตามที่ต้องการ



รูปที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของเนื้อสัมผัสไอศกรีมที่ได้ตามความต้องการ

ผลการศึกษาวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผลการศึกษาเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 1 คน กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.63 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ความสามารถในการผลิตไอศกรีม 4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 50,000 บาท สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงาน ระยะเวลาคืนทุนและจุดคุ้มทุนของเครื่องฯ โดยผลการวิเคราะห์พบว่า มีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 639.8 ชั่วโมงต่อปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องฯ ที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องฯ 155.41 บาทต่อกิโลกรัม

การอภิปรายผล

จากการทดลองออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไอศกรีมระบบคอมพิวเตอร์ พบว่าลักษณะของกรรมวิธีการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องฯ ที่มีใบกวนหมุนเพื่อไม่ให้สารละลายไอศกรีมติดกับผนังของถัง โดยที่บริเวณผิวของผนังถังผลิตไอศกรีมมีการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระบบทำความเย็นแบบคอมพิวเตอร์ มีหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใบมีดขูดผิว (Scraped Surface Heat Exchanger; SSHE) และผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saraceno et al. (2011) และ Hernández-Parra (2018) ในการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องทดสอบแบบใบมีดขูดผิว ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิของสารละลายไอศกรีมให้ลดลงได้ และมีใบกวนทำหน้าที่กวนให้ไอศกรีมภายในชุดอุปกรณ์เพื่อไม่ให้ติดขอบขณะทำการผลิต และอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันของสารทำความเย็นและจำนวนท่อซึ่งเป็นการเพิ่มการอัตราแลกเปลี่ยนของอุณหภูมิระหว่างสารละลายไอศกรีมที่มีความหนืด โดยผลที่ได้จากการทดสอบนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ D'Addio et al. (2013) และ Shiryan et al. (2015) ในการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนและความเย็นด้วยชุดทดสอบ SSHE พบว่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนในของไหลที่มีลักษณะหนืดนั้นมีการแลกเปลี่ยนเพื่อลดอุณหภูมิได้ดี

บทสรุป

เครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบและสร้างประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ชุดควบคุมทางไฟฟ้า เพื่อความสะดวกและทันสมัยยิ่งขึ้น โครงสร้างของเครื่องผลิตไอศกรีมและชิ้นส่วนชุดอุปกรณ์ทุกชิ้นทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304) ถึงไอศกรีมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 250 มิลลิเมตร หุ้มรอบนอกด้วยแผ่นฉนวนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อน มีฝาปิดทำจากอะคริลิกใสที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร ภายในถังมีชุดใบกวนแบบ 2 ใบ ทำมาจากพลาสติกแข็งเกรดอาหาร ที่แกนเพล่าใบกวนส่งกำลังจากชุดขับเคลื่อนโดยใช้เฟืองสวมตัวที่ และชุดทำความเย็นขนาด 867 วัตต์ต่อชั่วโมง

ผลการผลิตไอศกรีมด้วยเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ปัจจัยจำนวนชุดแคปพิลารีที่วับแบบ 2 ท่อ ที่ระดับปัจจัยความดันสารทำความเย็น 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถลดความเย็นสารละลายไอศกรีมลงจนเริ่มมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายไอศกรีมที่อุณหภูมิประมาณ -20.35 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาเท่ากับ 46 นาที โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตที่ระดับปัจจัยดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิของไอศกรีมลงได้มากที่สุดเท่ากับ -23.45 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปได้ว่าการนำเครื่องผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไอศกรีมในระดับวิสาหกิจชุมชนที่ต้องการกำลังผลิต 4 กิโลกรัมต่อครั้ง ราคาไอศกรีม 1,000 บาท โดย 1 วัน ทำการผลิต 8 ครั้ง ทำการผลิต 300 วันต่อปี ใช้แรงงานคนปฏิบัติงานจำนวน 1 คน จากการวิเคราะห์พบว่า มีจุดคุ้มทุนในการทำงาน 639.8 ชั่วโมงต่อปี เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานของเครื่องฯ ที่ 2,400 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.9 ปี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยวิศวกรรมบริการ จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2564 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบคุณ นายกิตติศักดิ์ สิงห์ทอง และนายณพคุณ สืบุดตา นิสิตผู้ร่วมวิจัย คณาจารย์ และผู้เกี่ยวข้อง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกที่ทำให้การศึกษานี้สำเร็จได้

เอกสารอ้างอิง

- ปานทิพย์ เปี้ยนโมฬี. (2560). อุตสาหกรรมไอศกรีมมูลค่าตลาดหมื่นล้าน. วารสารอุตสาหกรรมสาร. 59: 5-7.
- มนตรี ทองโคตร, ชื่นจิตร อังกรวงศ์ และเปรมใจ สัจจะอารีวัฒน์. (2559). พฤติกรรมการบริโภคไอศกรีมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกร้านไอศกรีมของนักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 11(3): 233-241.
- วนิดา บุรีภักดิ์, เลิศศิริ พวงแก้ว และนรินทร์ภพ ช่วยการ. (2559). การศึกษาปริมาณใบชะมวงและกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมเชอร์เบทใบชะมวง. รายงานการวิจัย. สาขาเกษตรศาสตร์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา.
- วรุฒิ วันสา และสันติสุข คำวิสิทธิ์. (2561). การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมด้วยระบบคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- D'Addio L., Carotenuto C., Di Natale F. and Nigro R. (2013). Heating and cooling of hazelnut paste in alternate blades scraped surface heat exchangers. Journal of Food Engineering. 115(2): 182-189.
- Hernández-Parra O.D., Plana-Fattori A., Alvarez G., Ndoye F.T., Benkhelifa H. and Flick D. (2018). Modeling flow and heat transfer in a scraped surface heat exchanger during the production of sorbet. Journal of Food Engineering. 221: 54-69.
- Hunt D. (2008). Farm power and machinery management: 10th Edition. United States of America, Waveland Press.
- Saraceno L., Boccardi G., Celata G.P., Lazzarini R. and Trinchieri R. (2011). Development of two heat transfer correlations for a scraped surface heat exchanger in an ice-cream machine. Applied Thermal Engineering. 31(17): 4106-4112.
- Shiryan D.K., Fazilati M.A. and Hajatzadeh A. (2015). Surface scraped heat exchanger for cooling newtonian fluids and enhancing its heat transfer characteristics, a review and a numerical approach. Applied Thermal Engineering. 87: 56-65.

เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

The mobile solar water pump

ปรัชญา มุขดา^{1*} อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก¹ ขวัญชัย หนาแน่น¹ ภาคย์ พรหมณ์แก้ว¹อภิรัตน์ วงศ์ศุภชาติ¹ และช่วงชัย ชูปวา¹Prachya Mukda^{1*}, Alongkorn Chatmuangpak¹, Kwanchai Nanan¹, Bhark Pramkao¹,Apirat Wongsupachart¹ and Chuangchai Chupwa¹¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

*Corresponding author; E-mail: mukdaen@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่ากำลังของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 3 ขนาด คือ 360 วัตต์ 350 วัตต์ และ 350 วัตต์ จำนวน 2 แผง จากผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของแผง แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบที่ 3 (แผงพลังงานแสงอาทิตย์ 350 วัตต์ 2 แผง) มีค่าสูงที่สุดคือ 800 วัตต์ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงและความเข้มแสงที่แผงได้รับ อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้มาคำนวณเป็นประสิทธิภาพของปั๊ม แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 (แผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์) จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้น นำเครื่องสูบน้ำแบบที่ 1 นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำกับระดับท่อส่งน้ำที่ระยะความสูง 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร ผลปรากฏว่าความสูงที่ 1.5 เมตร จะให้ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำที่สูงสุดที่ 0.78 เปอร์เซ็นต์ โดยระยะคุ้มทุนของเครื่องสูบน้ำนี้จะอยู่ที่ 1 ปี 7 เดือน

คำสำคัญ: เครื่องสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่

Abstract

This research aims to find the power of three sizes solar panels for suitable of solar water pumps as 360 watts, 350 watts and 350 watts. From the results of comparing the power of the panel. Show that, the highest solar power is type three (350 watts, 2 solar panels) as 800 watts. Because the electric power depends on the receiving area and the light intensity received by the panel. However, when the power

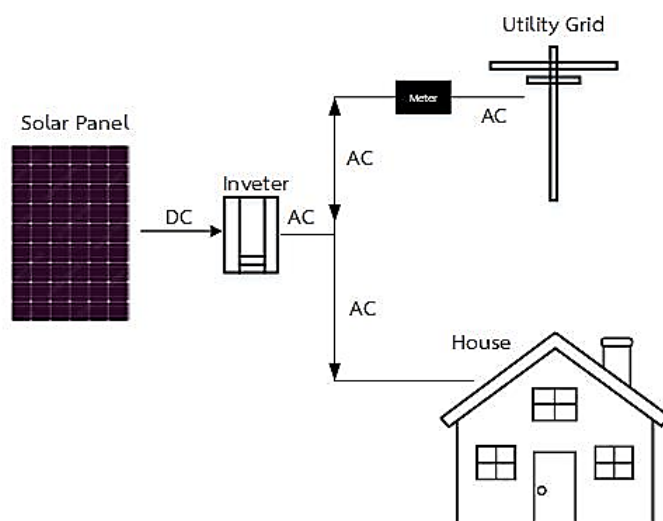
input with the power output is calculated as the efficiency of the pump. Show that, the pump efficiency of the solar pump type one (with a 360 watts solar panel) is maximum efficiency as 4.3 percent. After that, the pump type one is compared the total efficiency of the pipe level water between at heights of 1.0 m. and 1.5 m. The result showed that, a height of 1.5 m. is the maximum total efficiency of the pump as 0.78 percent. The break-even period of this pump is 1 year and 7 months.

Keyword: Water pump, Solar energy, Mobile

บทนำ

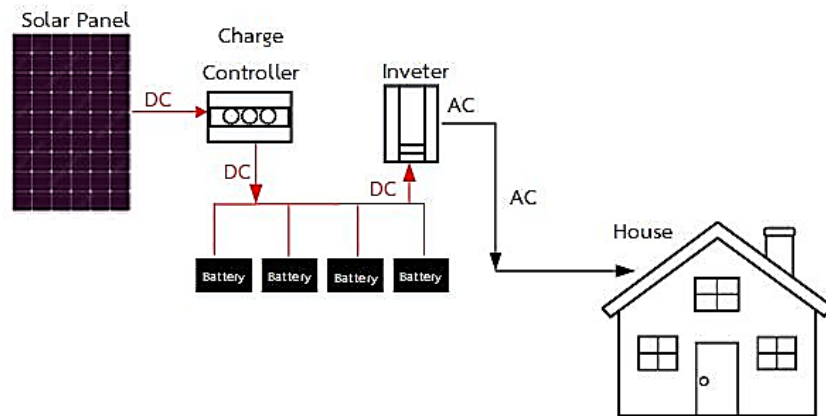
ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ

1) ระบบออนกริด (On grid system) เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar panels) ที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า จะใช้อุปกรณ์เพียง แผงโซลาร์เซลล์ และอินเวอร์เตอร์ออนกริด (On grid inverter) โดยหลักการคือแปลงไฟกระแสตรง (Direct Current: DC) ด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จากแผงโซลาร์เซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) เพื่อเชื่อมต่อเข้าระบบการไฟฟ้า เพื่อทำการขายไฟฟ้าคืนหรือลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าได้ (นครินทร์, 2558) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าแบบออนกริด (On grid system)

2) ระบบออฟกริด (Off grid system) คือระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ไม่ปฏิสัมพันธ์กับระบบสายส่งของการไฟฟ้า ระบบออฟกริดนี้จะแยกเดี่ยวออกมา โดยผู้ติดตั้งโซลาร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ได้เอง ซึ่งสามารถแยกหมวดย่อยลงไปได้อีกตามลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่จะใช้งานว่าเป็น ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยต้องเลือกโหลด (เครื่องใช้ไฟฟ้า) ให้เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ โดยมีวิธีการต่อระบบที่หลากหลาย ทั้งต่อโหลดกระแสตรงกับแผงโซลาร์เซลล์ (ซึ่งผลิตไฟฟ้ากระแสตรง) โดยตรง หรือนำไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงไปชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ด้วย Charge controller แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ด้วย Inverter สำหรับไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนซึ่งใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับอยู่แล้ว (นภทร, 2554) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยระบบโซลาร์เซลล์นี้จะมีข้อดีคือ สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้คงที่และเหมาะสม มากกว่านั้น ระบบนี้สามารถเก็บสำรองไฟฟ้าไปใช้ได้ในตอนกลางคืน



รูปที่ 2 ระบบไฟฟ้าแบบออฟกริด (Off grid system)

ระบบไฟฟ้าแบบออฟกริดนี้ จึงสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงาน โดยเฉพาะพื้นที่ทำการเกษตรที่กว้างขวาง และห่างไกลจากระบบสายส่ง ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงได้เป็นอย่างดี (วัฒนพงษ์ และคณะ, 2536) แต่อย่างไรก็ตาม ระบบกำเนิดไฟฟ้านี้เกษตรกรหรือประชาชนเข้าถึงได้ค่อนข้างลำบาก เพราะราคา การติดตั้งระบบ ทำให้ระยะคุ้มทุนที่สูง และปัญหายังมีอยู่อีกหลายอย่าง อาทิ ความไม่เหมาะสมระหว่างความต้องการของกำลังไฟฟ้า (Output) กับกำลังการผลิตไฟฟ้า (Input) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับปั๊มน้ำ ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานที่จำเป็นในงานเกษตรทั่วไป ทำให้ราคาการติดตั้งระบบนี้สูง อีกอย่างหนึ่งคือ เกิดจากการใช้ปริมาณของชุดอุปกรณ์ที่เกินความจำเป็น อาทิ จำนวนหรือขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ ที่มากหรือน้อยเกินไปกับปริมาณพลังงานของปั๊มน้ำที่ต้องการใช้ (สมชาย, 2537; เจษฎา, 2558)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา (ปรัชญา และคณะ, 2563) ได้มีการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดหลักการทำงานคือ นำกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปเก็บในแบตเตอรี่ (DC) เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อใช้กับปั๊มน้ำกระแสสลับน้ำขนาด 1,500 วัตต์ อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดของการใช้งานเนื่องจากมีขนาดใหญ่ ต้องใช้อุปกรณ์หลายอย่าง เคลื่อนย้ายลำบาก ไม่สามารถนำระบบไปใช้งานในพื้นที่ทุรกันดารได้

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ โดยเป็นระบบไฟฟ้าแบบออฟกริด เพื่อหาความเหมาะสมระหว่างขนาดแผงพลังงานแสงอาทิตย์กับปั๊มน้ำขนาด 350 วัตต์ ซึ่งเป็นปั๊มน้ำนิยมใช้ในบ้านหรือเพื่อการเกษตรขนาดเล็ก ออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายไปในพื้นที่การเกษตรได้อย่างสะดวก ต้นทุนต่ำ มากกว่านั้น ยังสามารถใช้ได้กับชุมชน วัด โรงเรียน และหมู่บ้านที่อยู่ในถิ่นทุรกันดารได้อีกด้วย (ดังรูปที่ 3)



(ก) ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่

(ข) การนำเครื่องไปใช้กับพื้นที่ทางการเกษตร

รูปที่ 3 เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่กับพื้นที่ในการทดสอบ ณ โรงเรียนโป่งสลอต จ.เพชรบุรี

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

หลักการและเงื่อนไขการทดสอบ

- 1) ใช้พื้นที่โรงเรียนโปรงสลอด อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี เป็นพื้นที่ในการทดสอบและประเมินผล
- 2) ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องทั้ง 3 ขนาด โดยทดสอบทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยแผงพลังงานแสงอาทิตย์มาวางในที่โล่งและแสงแดดมุดกระทบที่ 15 องศา
- 3) ใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทโพลีคริสตัลไลน์ ทั้งหมด 3 ขนาด คือ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 360 วัตต์ 1 แผง ขนาด 350 วัตต์ 1 แผง และขนาด 350 วัตต์ จำนวน 2 แผง โดยสมการคำนวณกำลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังแผง สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$P_{solar} = EA \quad (1)$$

P_{solar} คือ กำลังงานแสงอาทิตย์ (วัตต์)

E คือ ค่าความเข้มของแสง (วัตต์/ตารางเมตร)

A คือ พื้นที่ของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)

และกำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ (2)

$$P_{elec} = IV \quad (2)$$

P_{elec} คือ กำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (วัตต์)

I คือ กระแสไฟฟ้าออกจากแผง (แอมป์)

V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าออกจากแผง (โวลต์)

หลังจากนั้นนำกำลังที่ได้จากสมการ (1) และ (2) มาคำนวณประสิทธิภาพของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (η_{panel}) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (P_{elec}) ต่อกำลังงานแสงอาทิตย์ (P_{solar}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$\eta_{panel} = \frac{P_{elec}}{P_{solar}} \quad (3)$$

- 4) ใช้เครื่องสูบน้ำกระแสดตรง (DC) 24 โวลต์ ขนาด 350 วัตต์ คำนวณกำลังอัตราการไหลของน้ำ (P_{mech}) สามารถคำนวณโดยสมการ (4)

$$P_{mech} = \rho g Q h \quad (4)$$

P_{mech} คือ กำลังอัตราการไหลของน้ำ (วัตต์)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาทีกำลังสอง)

Q คือ ค่าอัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

h คือ ระยะส่งน้ำที่ความสูง 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร

หลังจากนั้นนำกำลังที่ได้จากสมการ (2) และ (4) มาคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (η_{pump}) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังอัตราการไหลของน้ำ (P_{mech}) ต่อกำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (P_{solar}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (5)

$$\eta_{pump} = \frac{P_{mech}}{P_{elec}} \quad (5)$$

วิธีการทดสอบกำลังและประสิทธิภาพแผง

- 1) นำแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่วางบนรถเข็นเคลื่อนที่วางในที่โล่งและทำมุมแสงแดดตกกระทบที่ 15 องศา ดังรูปที่ 4 (ก)
- 2) เครื่องวัดความเข้มแสงวางทำมุมฉากกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์แล้วอ่านค่าบันทึกผลทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. ซึ่งแสดงผลในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (วัตต์/ตารางเมตร) ดังรูปที่ 4 (ข)
- 3) ปรับมัลติมิเตอร์ไปยังฟังก์ชันวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยใช้สายมัลติมิเตอร์สีแดงสัมผัสที่ขั้วบวก (+) และสายมัลติมิเตอร์สีดำที่ขั้วลบ (-) ของสวิตช์เบรกเกอร์ หน้าจอจะแสดงค่าหน่วยเป็นโวลต์ (โวลต์) โดยจะอ่านค่าบันทึกผล ทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. ดังรูปที่ 4 (ค)
- 4) ปรับมัลติมิเตอร์ไปยังฟังก์ชันวัดกระแสไฟฟ้า นำขั้วบวกของแผงมาต่อกับขั้วลบ (Short circuit) และใช้มัลติมิเตอร์คีบที่สายขั้วบวก (+) หน้าจอจะแสดงค่าหน่วยเป็นแอมป์แอมป์ (A) โดยอ่านค่าบันทึกผลทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. ดังรูปที่ 4 (ง)



(ก) ทิศทางการวางแผงด้วยมุมตกกระทบที่ 15 องศา



(ข) การวัดความเข้มแสง



(ค) การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผง



(ง) การวัดกระแสไฟฟ้าจากแผง

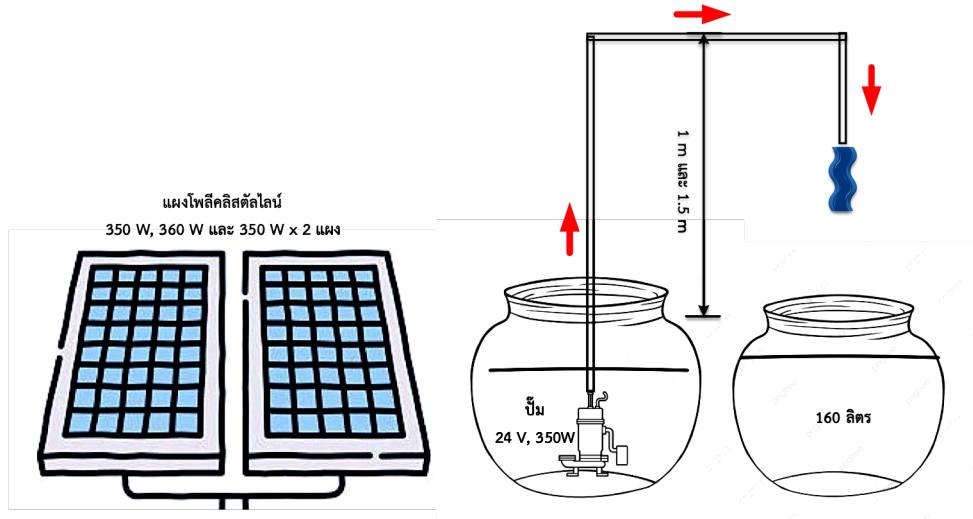
รูปที่ 4 การทดสอบเพื่อหาลำดับและประสิทธิภาพแผง

วิธีการทดสอบกำลังและประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ

แผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 360 วัตต์ 350 วัตต์ และ 350 วัตต์ 2 แผง (ขณะสูบน้ำ)

1) นำภาชนะบรรจุน้ำ (โอ่งที่ความจุ 160 ลิตร) ทั้งสองใบมาวางคู่กัน โดยเติมน้ำให้เต็มไว้หนึ่งใบต่อสายเครื่องสูบน้ำเข้ากับ เบรกเกอร์ และนำเครื่องสูบน้ำจุ่มลงในโอ่งที่มีน้ำอยู่ ดังรูปที่ 5 (ก)

2) นำท่อ PVC ขนาดความสูง 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร มาติดตั้งเข้ากับเครื่องสูบน้ำเปิดสวิตช์ แล้วจับเวลาจนน้ำเต็มโอ่งอีกใบ แล้ววัดค่าบันทึกผลทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 08.00 - 16.00 น. ดังรูปที่ 5 (ข) และรูปที่ 5 (ค)



(ก) ภาพไดอะแกรมเงื่อนไขการทดลอง



(ข) ส่วนโอ่งน้ำปั๊มดูด



(ค) ส่วนโอ่งน้ำปั๊มออก

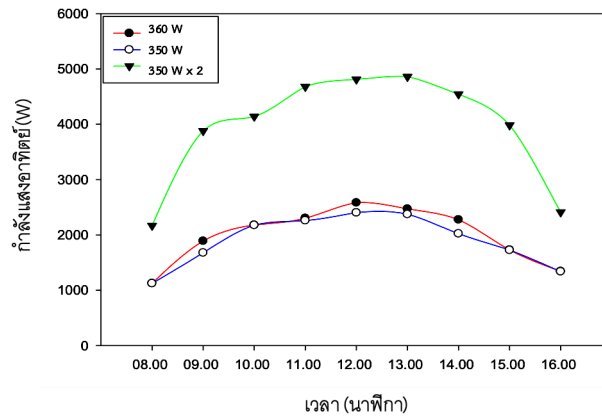
รูปที่ 5 การทดสอบกำลังและประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

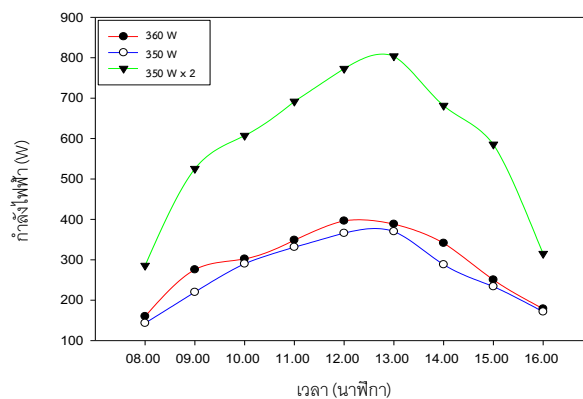
กำลังของแสงอาทิตย์ แผง และปั๊ม

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องสูบน้ำด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 ขนาด แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังแสงอาทิตย์ (P_{solar}) ของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 และ 2 (แผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์ และ 350 วัตต์) อยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างจากแบบที่ 3 (แผงพลังงานแสงอาทิตย์ 350 วัตต์ 2 แผง) มีค่ามากที่สุดคือ 4,860 วัตต์ ที่เวลา 13.00 น. ซึ่งสอดคล้องกันกับค่ากำลังไฟฟ้า (P_{ecle}) และค่ากำลังของปั๊ม (P_{mech}) ที่มีค่าสูงสุดที่ 800 วัตต์ และ 28 วัตต์

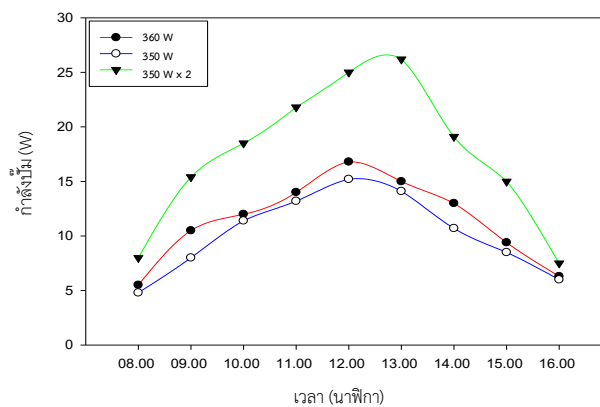
ตามลำดับ ที่เวลา 12.00 – 13.00 น. เนื่องจากกำลังจะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงและความเข้มแสงที่แผงได้รับ ดังนั้นกำลังที่แผงได้รับมีค่าที่สูง จึงทำให้กำลังไฟฟ้าของแผงสูงและปั๊มของเครื่องสูบน้ำแบบเคลื่อนที่แบบที่ 3 จึงมีกำลังสูงสุดเช่นเดียวกันตามรูปที่ 6, 7 และ 8



รูปที่ 6 กำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับแผง 360 วัตต์ 350 วัตต์ และ 350 วัตต์ x 2 แผง



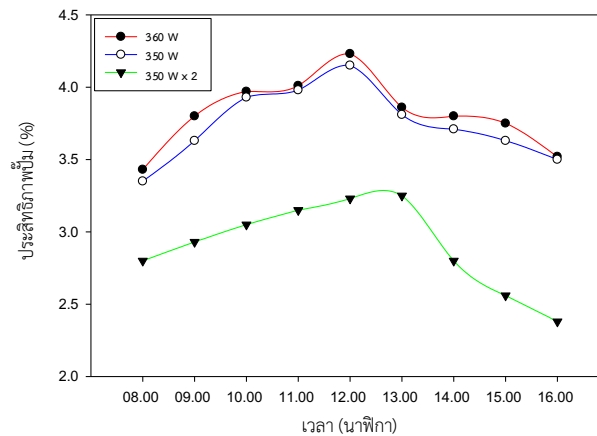
รูปที่ 7 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์ 350 วัตต์ และ 350 วัตต์ x 2 แผง



รูปที่ 8 กำลังปั๊มจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์ 350 วัตต์ และ 350 วัตต์ x 2 แผง

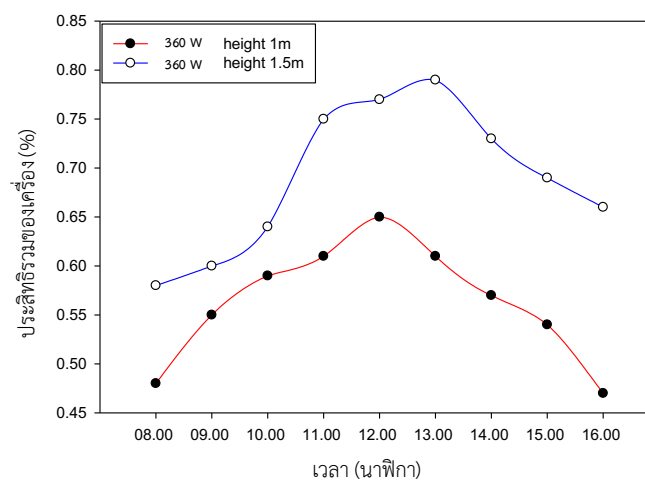
ประสิทธิภาพรวมของปั๊ม

ในขณะเดียวกัน เมื่อนำกำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ (P_{elec}) กับกำลังของปั๊ม (P_{mech}) นำมาคำนวณเป็นประสิทธิภาพของปั๊ม แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 (กับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์) จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด (ตามรูปที่ 7) โดยนำกำลังที่ได้ (P_{mech}) ส่วนด้วยกำลังที่ให้ (P_{elec}) ของปั๊มแบบที่ 1 จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด ที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น. ต่อมาเป็นปั๊มแบบที่ 2 ที่มีประสิทธิภาพลดลงแต่มีค่าใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพของปั๊มแบบที่ 3 มีค่าต่ำสุด (ตามรูปที่ 9)



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพปั๊มจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์ 350 วัตต์ และ 350 วัตต์ x 2 แผง

จากรูปที่ 9 นำปั๊มแบบที่ 1 กับแผง 360 วัตต์ ที่เป็นกรณีให้ประสิทธิภาพสูงสุด นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการเปลี่ยนแปลงความสูงของท่อระดับท่อน้ำระหว่าง 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าค่าความสูงที่ 1.5 เมตร จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด 0.78 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น. มากกว่าที่ความสูง 1.0 เมตร เนื่องจากเมื่อเพิ่มระดับความสูงเป็น 1.5 เมตร จะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำลดลงน้อยมาก (จากสมการ (4)) ดังนั้นที่ความสูง 1.5 เมตร ดังกล่าวจะมีความเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพรวมของเครื่องจากแผง 360 วัตต์ ที่ระยะความสูง 1 เมตร และ 1.5 เมตร

การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 1 งบลงทุน

รายการอุปกรณ์	จำนวนและราคา	
	จำนวน	ราคา (บาท)
- โครงสร้างรถเข็น	1	2,000
- แผงโพลีคริสตัลไลน์ 360 วัตต์	1	3,500
- ล้อพร้อมแกนล้อ	1	1,500
- เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม 350 วัตต์	1	1,300
- ชุดเบรกเกอร์และคอนเนคเตอร์	1	200
รวม		8,500 บาท

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อวัน

รายการ	จำนวนและหน่วย	
	จำนวน	หน่วย
- เครื่องสูบน้ำที่ใช้ที่บ้าน (AC)	350	วัตต์
- เวลาในการใช้ปั๊มต่อวัน	8	ชั่วโมง
- พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วย	1,000	วัตต์.ชั่วโมง
- พลังงานไฟฟ้าต่อวัน (350 × 8)/1,000	2.8	หน่วย/วัน
- ค่าพลังงานไฟฟ้า (เฉลี่ย)	5	บาท/หน่วย
- ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อวัน (2.8 × 5)	14.00	บาท/วัน

ดังนั้น

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{งบลงทุน}}{\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อวัน}} = \frac{8,500}{14 \text{ บาท/วัน}} = 607 \text{ วัน}$$

หรือ ระยะคืนทุนประมาณ 1 ปี 7 เดือน

บทสรุป

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 ขนาด แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังแสงอาทิตย์แบบที่ 3 (แผงพลังงานแสงอาทิตย์ 350 วัตต์ 2 แผง) มีค่าสูงสุดคือ 4,860 วัตต์ ที่เวลา 13.00 น. เนื่องจากกำลังจะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงและความเข้มแสงที่แผงได้รับ แต่เมื่อนำกำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ (P_{elec}) กับกำลังของปั๊ม (P_{mech}) นำมาคำนวณเป็นประสิทธิภาพของปั๊ม แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 (กับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ 360 วัตต์) จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด หลังจากนั้นนำเครื่องสูบน้ำแบบที่ 1 นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวม

ของเครื่องสูบน้ำกับระดับท่อส่งน้ำที่ระยะความสูง 1.0 เมตร และ 1.5 เมตร ผลปรากฏว่าความสูงที่ 1.5 เมตร จะให้ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำที่สูงกว่า โดยระยะคุ้มทุนของเครื่องสูบน้ำนี้จะอยู่ที่ 1 ปี 7 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัย จากทุนอุดหนุนวิจัยประเภทกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564 ตลอดจนโรงเรียนบ้านโป่งสลอด ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการเก็บข้อมูลและประเมินผลของโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- เจษฎา วรรณศรี, วัชรพันธ์ อินทมาศ และสุรภูมิ ยะนิล (2558). เครื่องสูบน้ำแผงโซล่าเซลล์. ใน การประชุมวิชาการครุศาสตร์
อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
นภัทร วัจนเทพินทร์ (2554). การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตัวเอง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ สกายบุ๊ก ปทุมธานี.
นครินทร์ รินพล (2558). คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 14. สำนักพิมพ์ Znakaran.
กรุงเทพฯ.
- ปรัชญา มุขดา และขวัญ หนาแน่น (2562). เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์. ใน การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33. อุตรธานี.
- ปรัชญา มุขดา, กฤษณ์ ไชยวงศ์, ทัดทอง พรหมณี และขวัญชัย หนาแน่น. (2563). ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับป่าน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 1(2): 123-132.
- วัฒนพงษ์ รัชชีวีเชียร, สมชาย สุรราชวรรณ, สว่าง พึ่งพิศ, สุขฤดี นาถกรรมกุล และนิพนธ์ ประทุมศิริ (2536). พลังงานไฟฟ้า
ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จากสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บ้านเด่นไม้ซุง จังหวัดตาก. รายงานการวิจัย.
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- สมชาย สุรราชวรรณ (2537). การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและเศรษฐกิจของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเพื่อ
การเกษตร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

A screw press machine for ginger juice extraction

เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา¹ รณพร เสนาสุธรรม¹ ชณัฐ วิพัตนะพร¹ และสุพรรณ ยั่งยืน^{1*}Cherdpong Chiewchanwattana¹, Ranaporn Senasutham¹, Chanat Vipattanaporn¹
and Suphan Yangyuen^{1*}^{1*}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

*Corresponding Author E-mail Address: suphan.y@msu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวสกรู การพัฒนามีขั้นตอนประกอบด้วยการหาคุณสมบัติทางกายภาพของขิง การออกแบบและสร้างเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวสกรู ทดสอบสมรรถนะการทำงานโดยใช้แบบพลูเพลคทอเรียลด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สำหรับเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวที่พัฒนาขึ้น มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ชุดส่งกำลัง ชุดคายกาก และชุดเกลียวอัด จากผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดแบบใช้เกลียว โดยที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 3 ระดับ คือ 32 52 และ 72 รอบต่อนาที กำหนดระยะของช่องคายกาก 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 มิลลิเมตร แบบเกลียว 2 ลักษณะ คือ แบบเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ และแบบเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ พบว่าที่ความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที ขนาดช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร และเกลียวแบบเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ สามารถบีบสกัดน้ำขิงได้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบีบสกัดน้ำขิง ได้เฉลี่ยเท่ากับ 89.52 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นของกากเฉลี่ย 70.60 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า จุดคุ้มทุนในการผลิตอยู่ที่ 789.14 ลิตรต่อปี และมีระยะเวลาการคืนทุนภายใน 5 เดือน

คำสำคัญ: ขิง เกลียวอัด การสกัดน้ำขิง

Abstract

This research aims to design and develop a screw press machine for ginger juice extraction. The development steps were to study the physical properties of ginger, design and construct a screw press machine, perform the performance test by Full factorial in Completely Randomized Design (CRD), and carry out the economic analysis. The developed screw press machine consisted of a power transmission unit,

pomace discharge port, and screw press unit. The performance tests of screw press machine were performed at the rotation speed of 32, 52 and 72 rpm, the clearance between a die diameter and casing were 1, 2 and 3 mm, and 2 different screw press sets which were increased root diameter with decreased pitch set and increased root diameter with fixed pitch set. Results showed that at the shaft rotation speed of 32 rpm, clearance between the die diameter and casing of 1 mm and increased root diameter with decreased pitch, the average maximum yield was 89.52% with the moisture in the pressed cake of 70.60% wet base. The break-even point of the compressing machine was 789.14 liters-per-year with the payback period for 5 months.

Keywords: Ginger, Screw press, Ginger juice extraction.

บทนำ

ขั้นตอนการผลิตซิงของหมู่บ้านเกษตรกร แบ่งออกเป็นเตรียมน้ำซิง การทำผง และการลดความชื้น โดยขั้นตอนการเตรียมน้ำซิงถือว่าเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลานาน และยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยเริ่มด้วยการนำซิงแก่คุณภาพดีมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก แล้วผสมน้ำปั่นด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ทั่วไป จากนั้นนำมาเทในผ้ากรองเพื่อบีบคั้นแยกกากเส้นใยของซิงออกแล้วจึงนำน้ำซิงไปผสมกับน้ำตาลทรายเคี้ยวในกระโถนจนกระทั่งตกผลึก สุดท้ายนำไปลดความชื้นด้วยการตากด้วยแสงแดด บรรจุถุงเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป จากการสอบถามและสำรวจความต้องการของกลุ่มหมู่บ้านพบว่า ขั้นตอนการเตรียมน้ำซิงค่อนข้างทำได้ล่าช้า เสียเวลา โดยเฉพาะขั้นตอนการบีบคั้นน้ำซิงด้วยผ้ากรองนั้นต้องออกแรงบีบคั้นเพื่อแยกน้ำซิงให้ได้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ (ลดการสูญเสีย น้ำซิงไปกับกาก) การเติมน้ำผสมในขั้นตอนการปั่นเป็นเพียงการช่วยให้การปั่นได้ละเอียดและง่ายขึ้นหากเติมน้ำมากเกินไปจะทำให้ขั้นตอนการเคี้ยวทำผงใช้เวลานานตามมาด้วย จะเห็นว่ากลุ่มหมู่บ้านยังขาดแคลนเครื่องจักรทุ่นแรงและยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก ถึงแม้จะมีการนำเครื่องปั่นมาใช้แต่ก็เป็นเพียงเครื่องปั่นขนาดเล็ก (เครื่องปั่นเอนกประสงค์ทั่วไป) ที่ยังทำงานได้ไม่เหมาะสม การผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันพบอุปสรรคทั้งด้านเวลา ปริมาณน้ำซิงที่ได้ และมีความเมื่อยล้า โดยเฉพาะในช่วงที่จำเป็นต้องเร่งผลิตซิงให้ทันกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวของซิงที่มีผลผลิตจำนวนมาก การใช้เครื่องจักรทุ่นแรงที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลผลิตซิงที่มีคุณภาพดีขึ้น และที่สำคัญคือช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านวัตถุดิบลงด้วย ซึ่งหากมีเครื่องจักรช่วยทุ่นแรงในการผลิตนับตั้งแต่การหั่นย่อย การบีบคั้น และกรองแยกกากแล้ว คาดว่าจะช่วยให้กลุ่มหมู่บ้านผลิตได้ในปริมาณมากขึ้น ทนเวลา สะดวก และลดความเมื่อยล้าลงได้ ซึ่งผลที่ตามมาคือการผลิตที่รวดเร็ว ได้ผลผลิตซิงที่มีคุณภาพและรสชาติที่ดี

ในการสกัดสารหรือน้ำมันจากพืช มีขั้นตอนและวิธีในการสกัดอยู่หลายวิธี ปัจจุบันกรรมวิธีในการสกัดสารจากพืชที่ใช้กันในทางอุตสาหกรรม มีอยู่ 3 วิธีหลัก ซึ่งประกอบด้วย การสกัดด้วยสารทำละลาย (Solvent extraction) การสกัดด้วยเครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) และการสกัดด้วยเครื่องบีบอัดแบบใช้เกลียว (Screw press) การสกัดสารจากพืชโดยใช้สารทำละลายนี้เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้ในโรงงานสกัดเมล็ดพืชน้ำมัน มีการลงทุนด้านเครื่องจักรและขบวนการผลิตในราคาสูง กลไกในการผลิตมีความยุ่งยากซับซ้อน และไม่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนการสกัดสารจากพืชด้วยเครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก เป็นการใช้แรงกดให้เมล็ดแตกแล้วบีบสารแยกออกมา (ดารณี, 2554) ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียคือ มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากที่สูง อีกทั้งยังมีการบ้อนวัตถุดิบที่ไม่ต่อเนื่อง และต้องใช้ต้นทุนกำลังมากทำให้ต้นทุนของเครื่องมีราคาสูงขึ้น การสกัดแยกสารหรือน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดแบบใช้เกลียว สามารถบ้อนวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่อง กลไกในการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อนคุ้มทุนในระยะยาว สะดวกในการใช้งาน และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (อาชัย และคณะ, 2546) จะเห็นได้ว่า ซิงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำซิง ดังนั้น งานวิจัยนี้

มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียว และทดสอบการทำงานของเครื่องเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบีบสกัดน้ำขิง ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรในเกษตรกรรมของไทยต่อไป

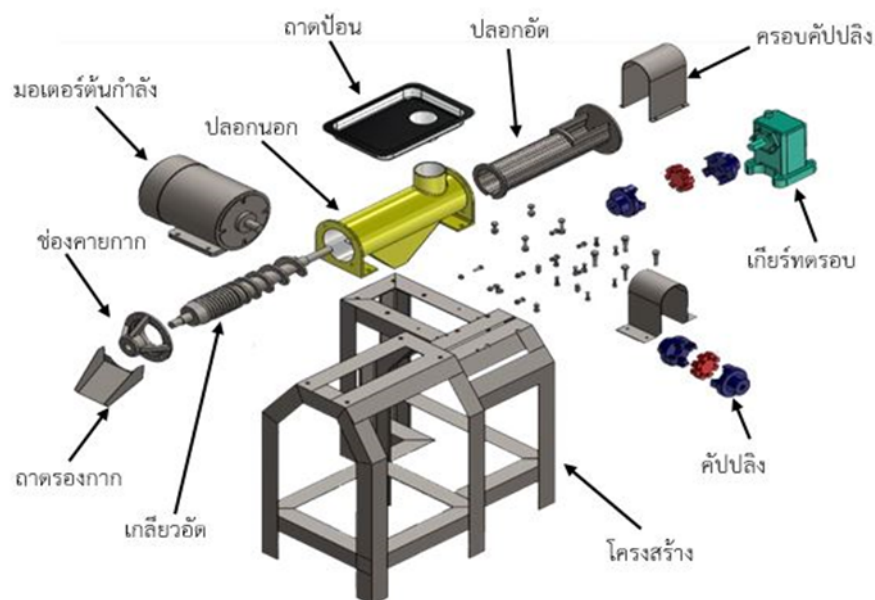
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของขิง

หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านผู้ผลิตขิงผง ในเขตพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบเครื่อง เพื่อการศึกษาสมบัติทางกายภาพของขิงที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องบีบสกัด ได้แก่ ขนาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Tarighi et al., 2011) และค่าแรงต้านทานของขิง ในการศึกษาใช้ขิงแก่ที่มีจำหน่ายในพื้นที่และเป็นขิงฤดูกาลเดียวกันตลอดการศึกษา จัดเตรียมขิงโดยการล้างทำความสะอาดซึ่งจำเป็นต้องทำการตัดแต่งขิงให้ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดขิงแบบเกลียวอัด

การกำหนดรายละเอียดในการออกแบบเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวโดยแสดงดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงเครื่องที่ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมดโดยต้องมีความแข็งแรงและสามารถรองรับน้ำหนักและแรงกระทำต่าง ๆ ได้ดี มอเตอร์ต้นกำลังที่คำนวณได้จากการทดสอบความแข็งแรงของขิง ชุดเกียร์ทดรอบ ถาดป้อนเกลียวอัดที่ออกแบบไว้สองรูปแบบ (รูปที่ 3) กระบอกลูกสูบ และตัวปรับระยะคายกาก

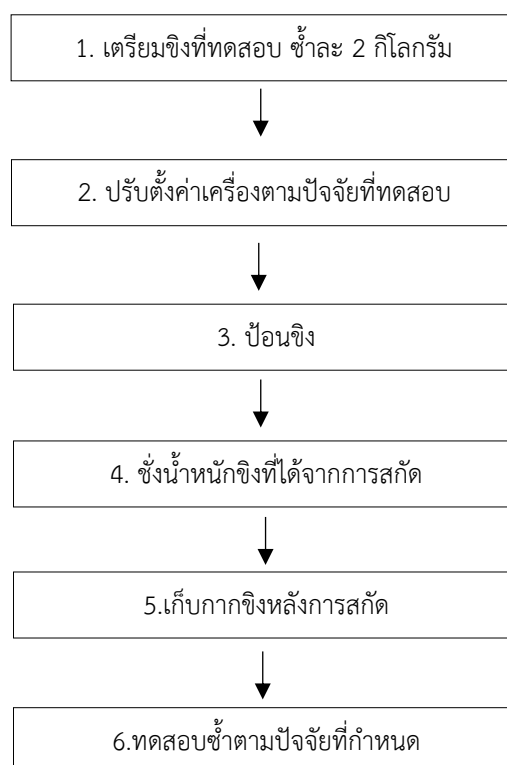


รูปที่ 1 ภาพร่างเครื่องสกัดขิงแบบเกลียวอัดที่ทำการออกแบบ

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดขิงแบบเกลียวอัด

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด ได้กำหนดปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวน 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบของเพลากลียวอัดที่ 32 52 และ 72 รอบ/นาที รูปแบบเกลียว 2 รูปแบบคือ แบบเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางลดระยะพิตซ์ และแบบเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางระยะพิตซ์คงที่ และปัจจัยที่สามคือ ขนาดของช่องคายกากที่ 1 2 และ 3 มิลลิเมตร โดยใช้ขิงในการทดสอบครั้งละ 2 กิโลกรัม

ในการทดสอบสกัดน้ำขิงแสดงดังรูปที่ 2 คือเริ่มจากการเตรียมขิงโดยการหั่นขิงให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร จำนวน 2 กิโลกรัม แล้วปรับตั้งชุดอุปกรณ์ตามเงื่อนไขของปัจจัยที่ต้องการศึกษา รอให้เครื่องทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนที่จะเริ่มป้อนขิงที่ได้จัดเตรียมไว้จับเวลาเริ่มต้น เมื่อเครื่องบีบสกัดน้ำขิงหมด 2 กิโลกรัม แล้วนำน้ำที่ได้หลังการบีบสกัดไปชั่งน้ำหนักจำนวนตัวอย่างละ 3 ช้อน เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่บีบสกัดได้ และหาความสามารถในการบีบสกัดน้ำ จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของกากหลังการบีบสกัด จำนวนตัวอย่างละ 3 ช้อน ๆ ละ 10 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นของกากหลังการสกัด จากนั้นทำการปรับตั้งค่าแบบเกลียว ความเร็วรอบ และระยะช่องคายกาก เพื่อดำเนินการทดสอบจนครบทุกปัจจัย โดยใช้การทดสอบแบบ 3x3x2 Full Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ช้อน โดยใช้วิธีการทดสอบและคำนวณของ Karaj and Muller (2011) และ Samuel and Alabi (2012) โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทดสอบเครื่องบีบสกัดขิงแบบเกลียวอัด

ทั้งนี้ในการคำนวณหาผลที่ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่บีบสกัดได้ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาก และความสามารถในการบีบสกัดน้ำ โดยหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Juice\%} = \left[\frac{M_1}{M} \right] \times 100 \quad (1)$$

Juice = เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่บีบสกัดได้

M1 = น้ำหนักของน้ำที่บีบสกัดได้ (กรัม)

M = น้ำหนักของซิงก่อนบีบสกัด (กรัม)

$$\text{MC(\%w.b)} = \left[\frac{w-d}{w} \right] \times 100 \quad (2)$$

MC = ความชื้นในวัสดุ (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)

W = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุก่อน (กรัม)

d = น้ำหนักแห้งของวัสดุหลัง (กรัม)

$$\frac{\text{ความสามารถในการบีบสกัดน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง)}}{\text{ปริมาณน้ำซิงที่บีบสกัดได้ (ลิตร)}} = \frac{\text{เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง)}}{\text{(ลิตร/ชั่วโมง)}} \quad (3)$$

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุนในการลงทุนเครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียวใช้หลักการของ (Donnell Hunt, 1976) โดยคิดต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาแบบวิธีเส้นตรง (Straight-line method) เท่ากับ 5 ปี และค่าเสียโอกาสของเงินทุนที่อัตราดอกเบี้ย 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับต้นทุนแปรผัน (Variable cost) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของการสกัดน้ำซิงได้แก่ ค่าแรงงาน ค่าวัตถุดิบ ค่าบำรุงรักษา ค่าไฟ ค่าซ่อมแซม เป็นต้น โดยการคำนวณหาต้นทุนการใช้เครื่อง จุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุนเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้การลงทุนซื้อเครื่องของเกษตรกร และการรับจ้างหรือเพื่อการแนะนำส่งเสริมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยจะคิดเฉพาะราคาค่าจัดซื้อและสร้าง ไม่รวมรวมราคาที่ดินโรงเรือนและอื่น ๆ โดยสามารถหาระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) และหาจุดคุ้มทุน (Break-even point) ได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$PBP = \left(\frac{P}{R} \right) \quad (4)$$

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

P = ราคาเครื่องจักร (บาท)

R = กำไรสุทธิ (บาทต่อปี)

$$BEP = \left(\frac{F_c}{B - VC} \right) \quad (5)$$

BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมงต่อปี)

F_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

B = อัตราการรับจ้าง (บาทต่อชั่วโมง)

VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาทต่อชั่วโมง)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของขิง

คุณสมบัติทางกายภาพของขิงหลังการตัดแต่ง มีค่าเฉลี่ยดังนี้ กว้าง 4.30 มิลลิเมตร ยาว 6.80 มิลลิเมตร หนา 2.90 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเรขาคณิต 4.40 มิลลิเมตร ค่ามุมของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตเท่ากับ 0.6 ที่มุม 33.9 องศา ซึ่งนำไปใช้ในการออกแบบมุมการไหลของชุดถาดป้อนของขิงเพื่อให้หัวขิงไหลลงได้อย่างต่อเนื่อง และค่าความแข็งด้านกว้างของขิง 37 นิวตัน เมื่อทดสอบเบี่ยงต้นด้วยเครื่องบีบอัดขิงแบบไฮดรอลิก โดยขิงที่นำมาบีบอัดมีปริมาณน้ำขิงเฉลี่ย 91.86 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก พบว่ามีประสิทธิภาพการบีบสกัดน้ำขิงได้สูงสุด ประมาณ 62.47 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีความชื้นของกากเฉลี่ย 82.48 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

ผลการออกแบบเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียว

การกำหนดรายละเอียดในการออกแบบเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียว (รูปที่ 5) โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงเครื่อง มอเตอร์ต้นกำลัง ชุดเกียร์ทดรอบ ถาดป้อน เกลียวอัด กระบอกอัด ป्लอกครอบกระบอกอัด และตัวปรับระยะคายกาก โดยมีรายละเอียดของการออกแบบดังนี้

1. โครงเครื่อง ออกแบบโครงเครื่องด้วยเหล็กฉากขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 510 x 790 x 845 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบโครงเครื่องด้วยการเชื่อมไฟฟ้า
2. ต้นกำลัง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส (2 แรงม้า) หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ขึ้นไปเป็นต้นกำลัง โดยใช้เครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter) และชุดเฟืองทดรอบในการปรับค่าความเร็วรอบ เพื่อสะดวกในการแปรค่าความเร็วรอบต่าง ๆ
3. เกียร์ทดรอบ ใช้อัตราทด 1:20
4. ถาดป้อน จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของขิงทำให้สามารถออกแบบถาดป้อนคือ โครงสร้างเป็นแบบรูปทรงถาด ทำด้วยแผ่นสแตนเลสที่มีสัมประสิทธิ์มุมเสียดทานสถิตยของขิงบนพื้นผิวของวัสดุ เท่ากับ 33.9 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ทำให้หัวขิงไหลลงได้อย่างต่อเนื่อง และขนาดของถาด (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 215, 315 และ 37 มิลลิเมตร
5. เกลียวอัด ทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุเข้าในกระบอกอัดและทำหน้าที่บีบสกัดเพื่อให้ น้ำขิงออกจากขิงแบ่งเป็น 2 แบบ ดังรูปที่ 3 แบบที่ 1 คือ เกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลาง และลดระยะพิตช์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดเท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความยาวของเกลียวอัดเท่ากับ 400.76 มิลลิเมตร ความห่างของระยะเกลียวอัด (ระยะพิตช์) จากช่วงป้อนถึงช่วงอัด เท่ากับ 7, 6, 5, 4, 3, 2 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ เกลียวอัดแบบที่ 2 คือ เกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลาง และระยะพิตช์คงที่ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดเท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความยาวของเกลียวอัดเท่ากับ 400.76 มิลลิเมตร ความห่างของระยะเกลียวอัด (ระยะพิตช์) จากช่วงป้อนถึงช่วงอัด เท่ากับ 7 มิลลิเมตร ซึ่งอุปกรณ์บีบสกัดแบบเกลียวอัดออกแบบให้สามารถถอดแยกได้เพื่อสะดวกในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา



(ก) เกลียวอัดแบบที่ 1



(ข) เกลียวอัดแบบที่ 2

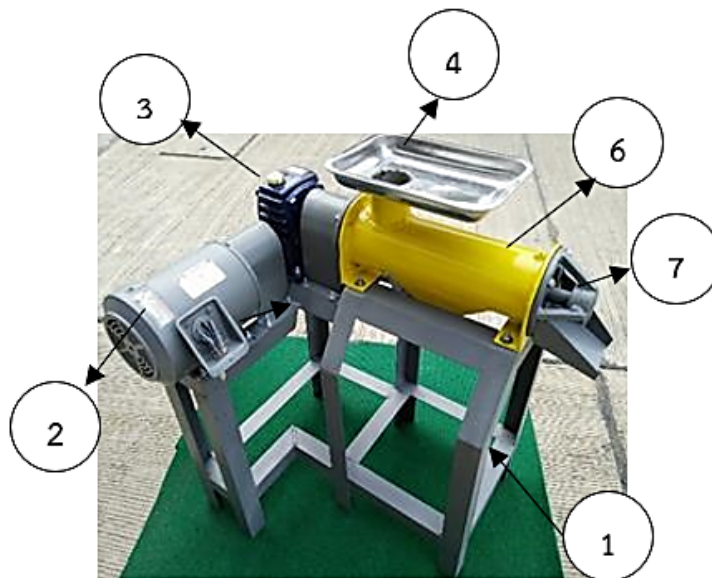
รูปที่ 3 รูปแบบของเกลียวอัดที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัดขิง

6. กระบอกอัด ลักษณะของกระบอกอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ด้านนอกเท่ากับ 106.10 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเท่ากับ 76.20 มิลลิเมตร มีความหนาของกระบอกอัดเท่ากับ 9 มิลลิเมตร และมีความยาวเท่ากับ 344.65 มิลลิเมตร กระบอกอัดเจาะรูขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กระบอกอัดของเครื่องสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

7. ตัวปรับระยะช่องคายกาก ทำหน้าที่ปรับระยะช่องคายกาก



รูปที่ 5 เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวอัด

1. ผลการทดสอบหาความสามารถในการบีบสกัดของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด ที่ปัจจัยแตกต่างกันได้แก่ เกลียวอัด 2 แบบ คือ เกลียวแบบที่ 1 เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตซ์ และเกลียวแบบที่ 2 เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตซ์คงที่ โดยเปรียบเทียบกับความเร็วที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 32, 52 และ 72 รอบต่อนาที และที่ขนาดของช่องคายกาก 3 ขนาดคือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ปัจจัยความเร็วรอบ ปัจจัยรูปแบบเกลียวอัด และปัจจัยระยะของช่องคายกากที่ระดับของปัจจัยแตกต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น

99 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction effects) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความเร็วรอบและรูปแบบเกลียว และระหว่างปัจจัยระยะของช่องคายกากและรูปแบบเกลียวมีผลต่อความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน อีกทั้งอิทธิพลร่วมของปัจจัยความเร็วรอบ รูปแบบเกลียวและระยะของช่องคายกากมีผลต่อความสามารถในการทำงานร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปัจจัยความเร็วรอบและระยะของช่องคายกากไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่อง

Source of variation	df	Mean Square (MS)
Speed (S)	2	78.521**
Type of screw press (T)	1	653.057**
Clearance (C)	2	90.289**
Interaction		
SxT	2	16.666**
SxC	4	2.165 ^{ns}
CxT	2	11.981**
SxTxC	4	10.283**

หมายเหตุ: ** Highly Significant ($p < 0.01$), ns Non-Significant

จากการทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัดพบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดแบบที่ 1 มีความสามารถในการทำงานที่สูงกว่าเกลียวอัดแบบที่ 2 ในทุกระดับของปัจจัยความเร็วรอบและปัจจัยของช่องคายกาก อีกทั้งปัจจัยความเร็วรอบที่สูงขึ้นที่ 72 รอบต่อนาทีทำให้ความสามารถในการทำงานสูงกว่า 32 และ 52 รอบต่อนาที ที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและระยะช่องคายกาก และสำหรับปัจจัยของระยะช่องคายกากที่ 1 มิลลิเมตร มีความสามารถในการทำงานที่สูงกว่า 2 และ 3 มิลลิเมตร ที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและความเร็วรอบ ซึ่งที่ระดับปัจจัยของความเร็ว 72 รอบต่อนาที ขนาดของช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร และเกลียวอัดแบบที่ 1 คือเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ มีความสามารถในการทำงานที่มากที่สุดคือ 26.09 ± 0.99 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้ลำเลียงวัตถุดิบได้เร็วทำให้มีความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้จากการทดสอบยังพบว่า รูปแบบของเกลียวอัดแบบที่ 1 คือ เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์มีความสามารถในการทำงานมากกว่าเกลียวอัดแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียวที่พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการสกัดน้ำมันสบู่แบบเกลียวอัดของเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นมากขึ้น (ธรรมศักดิ์ และธัญญรัตน์, 2551)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาความสามารถในการบีบอัดของเครื่องบีบอัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด (ลิตร/ชั่วโมง)

Type of screw press	Rotation speed (rpm)	Clearance between a die diameter and casing		
		1 mm.	2 mm.	3 mm.
Type 1	32	16.75 ^{CD} ±1.95	14.06 ^{EFG} ±1.71	12.76 ^{FGH} ±0.72
	52	19.51 ^B ±0.63	14.68 ^{DEF} ±0.87	16.33 ^{DE} ±0.70
	72	26.09 ^A ±0.99	18.95 ^{BC} ±2.29	16.67 ^{CD} ±0.60
Type 2	32	11.50 ^H ±1.70	8.53 ^U ±1.05	7.89 ^J ±1.14
	52	11.73 ^{GH} ±2.36	10.74 ^{HI} ±2.83	8.15 ^I ±0.86
	72	12.64 ^{FGH} ±0.97	10.94 ^H ±0.62	11.06 ^H ±0.47

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในตารางแสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี LSD

2. ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบอัดได้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบอัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยของความเร็รรอบความ บีบอัดของรูปแบบเกลียวอัด และปัจจัยของระยะของช่องคายกากที่ระดับของปัจจัยแตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบอัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction effects) พบว่าผลกระทบของปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบอัดได้

Source of variation	df	Mean Square (MS)
Speed (S)	2	55.474**
Type of screw press (T)	1	206.624**
Clearance (C)	2	21.523**
Interaction		
SxT	2	0.407 ^{ns}
SxC	4	0.897 ^{ns}
CxT	2	0.245 ^{ns}
SxTxC	4	1.283 ^{ns}

หมายเหตุ: ** Highly Significant ($p < 0.01$), ^{ns} Non-Significant

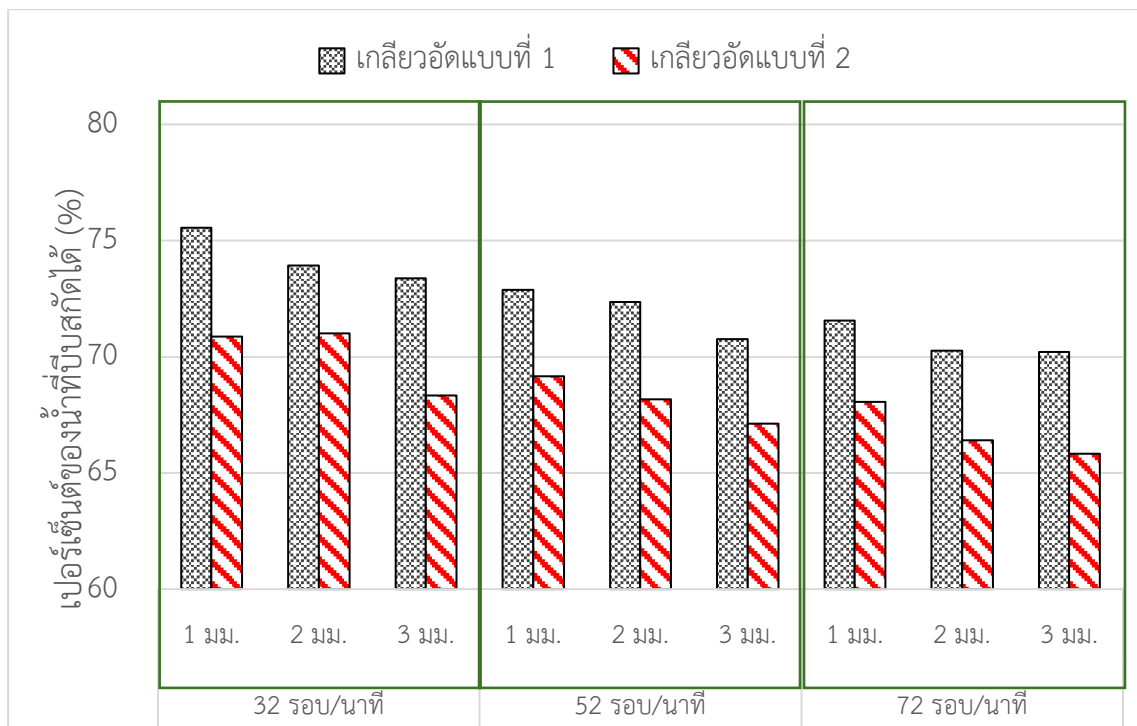
จากการทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ของเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบอัดได้พบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดแบบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์น้ำขิงสูงกว่าเกลียวอัดแบบที่ 2 ในทุกระดับของปัจจัยความเร็วรอบและปัจจัยของช่องคายกาก อีกทั้งปัจจัยความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงสูงขึ้นที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและปัจจัยระยะช่องคายกาก จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลทำให้ค่าของเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบอัดได้มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่เกลียวอัดแบบที่ 1 คือเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตซ์ ที่ความเร็วรอบ

32 รอบต่อนาที ขนาดของช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำขิงที่บีบสกัดได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นคือ 75.54 ± 1.08 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3 และเมื่อความเร็วเพิ่มมากขึ้นและขนาดของช่องคายกากมีขนาดเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้มีค่าลดลงเนื่องจากขนาดของช่องคายกากที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำขิงถูกบีบออกจากกากได้น้อยลง อีกทั้งความเร็วที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้มีค่าลดลง (รูปที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธรรมศักดิ์ และธัญญรัตน์ (2551) และ Said et al. (2017) ที่ได้ทำการสกัดน้ำมันสบูดำโดยใช้เครื่องเกลียวอัดที่ความเร็วรอบที่ต่ำและปรับให้สูงขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่าเมื่อความเร็วของเครื่องที่ทดสอบเพิ่มสูงขึ้นทำให้น้ำมันสบูดำลดลง เนื่องจากมีปริมาตรและเวลาในการบีบสกัดน้อยลง ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำที่น้อยลงด้วย

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้ของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด (เปอร์เซ็นต์)

Type of screw press	Rotation speed (rpm)	Clearance between a die diameter and casing		
		1 mm.	2 mm.	3 mm.
Type 1	32	$75.54^A \pm 1.08$	$73.94^B \pm 0.93$	$73.39^{BC} \pm 0.52$
	52	$72.87^{BCD} \pm 0.27$	$72.37^{CDE} \pm 2.04$	$70.06^{GH} \pm 0.42$
	72	$71.56^{DEF} \pm 0.45$	$70.26^{FGH} \pm 1.31$	$70.21^{FGH} \pm 0.18$
Type 2	32	$70.88^{FG} \pm 1.26$	$71.01^{EFG} \pm 0.71$	$68.34^J \pm 1.04$
	52	$69.15^{HI} \pm 0.40$	$68.18^J \pm 0.47$	$67.13^{JK} \pm 0.33$
	72	$68.07^J \pm 0.26$	$66.4^K \pm 0.32$	$65.83^K \pm 0.90$

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในตารางแสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD



รูปที่ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้ โดยเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ ขนาดของช่องคายกาก และรูปแบบของเกลียวอัด

3. ผลความชื้นเฉลี่ยในกาก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากหลังการบีบสกัดดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดและปัจจัยของระยะของช่องคายกากที่ระดับของปัจจัยแตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ แต่ปัจจัยของความเร็วรอบที่ระดับปัจจัยแตกต่างกันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาก และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction effects) พบว่าผลกระทบของปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาก

Source of variation	df	Mean Square (MS)
Speed (S)	2	45.838 ^{ns}
Type of screw press (T)	1	586.082**
Clearance (C)	2	117.592**
Interaction		
SxT	2	4.777 ^{ns}
SxC	4	3.624 ^{ns}
CxT	2	0.202 ^{ns}
SxTxC	4	3.911 ^{ns}

หมายเหตุ: ** Highly Significant ($p < 0.01$), ^{ns} Non-Significant

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัดที่ปัจจัยต่าง ๆ เพื่อหาผลความชื้นเฉลี่ยกากตามมาตรฐาน (ASAE, 1993) พบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดแบบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นกากต่ำกว่าเกลียวอัดแบบที่ 2 ในทุกระดับของปัจจัยความเร็วรอบและปัจจัยของช่องคายกาก อีกทั้งปัจจัยความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นกากสูงขึ้นที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและปัจจัยระยะช่องคายกาก จากตารางที่ 6 พบว่า เกลียวแบบที่ 2 คือ เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตซ์คงที่ ขนาดช่องคายกาก 3 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 72 รอบต่อนาที มีความชื้นของกากมากที่สุด คือ $86.40 \pm 2.00\%$ wb และเปอร์เซ็นต์ของความชื้นเฉลี่ยในกากหลังการบีบสกัดที่น้อยที่สุดคือเกลียวแบบที่ 1 คือ เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตซ์ที่ความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที และระยะช่องคายกาก 1 และ 2 มิลลิเมตรคือ $70.60 \pm 1.14\%$ wb และ $72.06 \pm 1.54\%$ wb ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 52 รอบต่อนาที เปอร์เซนต์ของความชื้นกากเท่ากับ $70.86 \pm 0.80\%$ wb ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งเห็นได้ว่าเกลียวอัดแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตซ์มีผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นกากหลังการบีบสกัดน้อยกว่าเกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตซ์คงที่ เนื่องจากเกลียวอัดแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตซ์มีอัตราการเพิ่มแรงดันในการอัดมากกว่าเพราะระยะพิตซ์ที่ลดลงสามารถหมุนในเวลาที่น้อยกว่าเกลียวแบบระยะพิตซ์คงที่ที่ทำให้เพิ่มแรงดันได้ดีกว่า (Tekad, 2010) และเกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางยังมีอายุการใช้งานที่มากกว่าเกลียวแบบอื่น ๆ ถึงสองเท่า ทำให้ลดต้นทุนในการบำรุงรักษาได้อีกด้วย (Muhammad, 2017) ทั้งนี้ข้อสังเกตในระหว่างการทำงานจริงพบว่า ในช่วงของการคายกากมีโอกาสน้ำขิงผสมกับกากได้ จึงทำให้การสุ่มเก็บตัวอย่างความชื้นของกากมีความแปรปรวนได้ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีความแตกต่างกันไม่มาก และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากในบางการทดลอง

ตารางที่ 6 ผลของเปอร์เซ็นต์ของความชื้นเฉลี่ยในกากหลังการบีบสกัดของเครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบเกลียวอัด

Type of screw press	Rotation speed (rpm)	Clearance between a die diameter and casing		
		1 mm.	2 mm.	3 mm.
Type 1	32	70.60 ^E ±1.14	72.06 ^E ±1.54	76.19 ^{BCDE} ±1.93
	52	70.86 ^E ±0.80	73.01 ^{DE} ±3.52	76.59 ^{BCDE} ±1.48
	72	74.94 ^{CDE} ±2.58	75.19 ^{CDE} ±0.51	78.78 ^{BCD} ±6.67
Type 2	32	76.79 ^{BCDE} ±6.35	78.77 ^{BCD} ±1.25	81.83 ^{AB} ±0.28
	52	79.35 ^{BCD} ±6.35	81.90 ^{AB} ±5.70	82.49 ^{AB} ±5.98
	72	79.98 ^{ABC} ±5.65	80.01 ^{ABC} ±4.01	86.40 ^A ±2.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในตารางแสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผลจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยกำหนดให้ราคาเครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียวแบบสแตนเลส ประมาณ 68,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี โดยมีความสามารถในการบีบสกัดน้ำซิง 26.09 ลิตรต่อชั่วโมง ทำงานวันละ 6 ชั่วโมง และ 96 วันต่อปี จำนวนผู้ปฏิบัติงาน 1 คน พบว่า เครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียวอัดมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 789.14 ลิตรต่อปี ส่วนระยะเวลาการคืนทุน พบว่า เครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียวสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 0.43 ปี

บทสรุป

ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียว พบว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบที่ 72 รอบต่อนาที มีสามารถในการบีบน้ำซิงเทียบกับเวลาได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วรอบอื่นคือเฉลี่ย 26.09 ลิตรต่อชั่วโมง และพบที่ความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที ขนาดของช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร และเกลียวอัดแบบที่ 1 คือ เกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์มีเปอร์เซ็นต์ในการบีบสกัดน้ำซิงที่มากที่สุดคือเฉลี่ย 75.54 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นของกากน้อยที่สุดคือ 70.60% wb

ผลจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 789.14 ลิตรต่อปี และระยะเวลาการคืนทุนพบว่า เครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียวสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 0.43 ปี

ทั้งนี้เครื่องบีบสกัดน้ำซิงแบบใช้เกลียวอัดได้ถูกนำไปใช้งานจริงกับกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโนน ตำบลคันธารราษฎร์ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เพื่อใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพรซิงผง ตราโนนไพร ตามรูปที่ 7 ซึ่งพบว่า กลุ่มแม่บ้านผู้ใช้เครื่องมีความพึงพอใจกับการใช้งานเป็นอย่างมากเนื่องจากใช้งานง่าย ได้กำลังการผลิตตามที่ต้องการ และช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน



รูปที่ 7 การใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวอัดโดยกลุ่มแม่บ้านฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนงบประมาณ สถานที่เครื่องมือสำหรับศึกษาวิจัย ขอขอบคุณนายเกียรติกุล ผ่านเมือง และนายสุเทพ ดาวไสย นักวิจัยหน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโนน ตำบลคันธารราษฎร์ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ที่คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือทำให้การศึกษานี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- ดารณี เจริญสุข. (2554). น้ำมันเมล็ดยางพารากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง 5(3): 1-25.
- ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และธัญญรัตน์ เชื้อสะอาด. (2551). การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว. รายงานการวิจัย. สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ.แพร่.
- อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพย์วงศ์ และวสันต์ จอมภักดี. (2546). การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. Naresuan University Journal. 11(3): 1-9.
- ASAE. (1993). Standards engineering practices data 40th edition. American society of agricultural engineering. USA.
- Firdaus M., Salleh S.M., Nawi I., Ngali Z., Siswanto W.A. and Yusup E.M. (2017). Preliminary design on screw press model of palm oil extraction machine. Materials Science and Engineering 165: 1-7.
- Hunt D. (2008). Farm power and machinery management. 10th Edition. Waveland Press, Inc. USA.
- Karaj S. and Mller J. (2011). Optimizing mechanical oil extraction of *Jatropha curcas* L. seeds to press capacity oil recovery and energy efficiency. Industrial Crops and Products. 34: 1010–1016.

- Said M.A.I., Abed K.A., Gad M.S. and Hassan A.H. (2017). Optimum oil yield from Egyptian Jatropha seeds using screw press. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS. 17(1): 46-56.
- Samuel O.D. and Alabi A.G.F. (2012). Problems and solutions involve in oil processing from kernel seeds. Pacific Journal of Science and Technology. 13(1): 372-383.
- Tarighi J., Mahmoudi A., and Rad M.K. (2011). Moisture-dependent engineering properties of sunflower (var Armaviriski). Australian Journal of Agricultural Engineering. 2(2): 40-44.
- Tekad S. (2010). Analisa umur pemakaian screw press pada mesin pengekstraksi minyak mentah kelapa sawit. Jurnal Dinamis. 1(7): 1-9.

การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเศษไม้เทพทาโรในเชิงอุตสาหกรรม
และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
Industrial distillation of essential oils from Taptaro wood chips
and chemical composition analysis

นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์^{1*} สันหวังจน์ ทองแดง¹ อมร ดอนเมือง¹ รัชฎาวรรณ อรรคนิมาตย์²
และ สุรเชษฐ์ สีขำนานู¹
Namphon Pipatpaiboon^{1*}, Sanhawat Thongdaeng¹, Amorn Donmuang¹,
Ratchadawan Aukkanimart¹ and Surachet Srichamnan¹

¹คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร

²คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร

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

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเศษไม้เทพทาโร โดยใช้เครื่องกลั่นขนาด 500 L ซึ่งเป็นเครื่องกลั่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันหอมระเหยทั่วไปนำมาใช้ในการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ จากการศึกษาพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเศษไม้เทพทาโรที่กลั่นได้นั้นมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหย คือ 2.55% v_{oil}/w_{dry} และ 2.80% w_{oil}/w_{dry} ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นแซฟรอล (Safrole) ในปริมาณมากที่สุดสูงถึง 95.92% และสารเคมีอื่น ๆ คือ Methyleugenol 0.7%, Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl) 0.30% และ Eucalyptol 0.08% ตามลำดับ มีความหนาแน่น 1.100 g/cm^3 ซึ่งผลการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลสำคัญนำไปประยุกต์หรือปรับปรุงเทคนิคการกลั่นน้ำมันหอมระเหยและการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการกลั่นจากไม้เทพทาโรในอนาคตได้ และเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจการผลิตน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรเชิงพาณิชย์ในอนาคตต่อไปได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: น้ำมันหอมระเหย เทพทาโร การกลั่น องค์ประกอบทางเคมี

Abstract

This study presents the experimental data on the distillation of essential oils Taptaro wood chips (*Cinnamomum porrectum* (Roxb.) Kosterm.). It is an industrial distillation of essential oils by using a

500-liter distillation machine, which is a distillation machine used in the essential oil distillation industry in general, to be used in this study and research. The results shown that essential oils. The distilled from Taptaro wood chips has essential oil percentages of 2.55% v_{oil}/w_{dry} and 2.80% w_{oil}/w_{dry} , consistent with previously research. The distilled essential oil was analyzed for chemical composition. It was found that the main chemical composition is safrole, the largest amount is up to 95.92% and other chemicals are methyleugenol 0.7%, benzene-1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl) 0.30% and eucalyptol 0.08%, respectively and a density of 1.100 g/cm³. The results of this study will be important information for applying or improving essential oil distillation techniques and preparation of raw materials for distillation from Taptaro wood chips in the future and it is useful information for those who are interested in the production of commercial Taptaro wood chips essential oil in the future as well.

Keywords: Essentials oil, Taptaro, Distillation, Composition analysis

บทนำ

ปัจจุบันกระแสการผลิตและการใช้น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ในรูปแบบต่าง ๆ กำลังได้รับความนิยมจากบุคคลทั่วไปมากยิ่งขึ้น และมีการนำน้ำมันหอมระเหยไปใช้งานในหลากหลายรูปแบบตามสถานการณ์โลกที่เปลี่ยนไป ยกตัวอย่างเช่น ในอดีตน้ำมันหอมระเหยจะถูกใช้งานในลักษณะการผสมกับผลิตภัณฑ์ เช่น ยาต้ม น้ำมันนวด สบู่ โลชั่น ยาสระผม เป็นต้น แต่ปัจจุบันกลับพบว่า น้ำมันหอมระเหยถูกนำไปใช้ในการผสมแอลกอฮอล์สเปรย์หรือเจลแอลกอฮอล์ ผสมในสติกเกอร์สำหรับปิดจุกป้องกันเชื้อโควิดเป็นส่วนผสมในน้ำหอมราคาแพง หรือการศึกษาน้ำมันหอมระเหยต่าง ๆ สำหรับยั้งยั้งเชื้อโควิด-19 (Ju-Zhao et al., 2022 และ Ramya et al., 2022) เป็นต้น ซึ่งเป็นรูปแบบการประยุกต์ใช้งานในสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจึงเป็นที่น่าสนใจว่าแนวโน้มความต้องการของน้ำมันหอมระเหยจะได้รับความนิยมในการศึกษา วิจัย และการนำไปใช้งานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่มาของน้ำมันหอมระเหยนั้นสามารถผลิตได้จากเทคนิคการสกัดต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นที่จะสกัดหรือแยกเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาใช้งาน ซึ่งน้ำมันหอมระเหยเป็นสารกลุ่มที่ไม่มีสี คือไม่สามารถละลายในน้ำได้ จึงสมควรเลือกวิธีการสกัดที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยมาใช้งานที่นิยมกันมากที่สุดในเชิงอุตสาหกรรมคือการกลั่น (Essential oil distillation) โดยสามารถแยกวิธีการกลั่นน้ำมันหอมระเหยออกไปได้อีก 3 วิธี คือการกลั่นด้วยน้ำ (Water distillation) เป็นวิธีการกลั่นด้วยวิธีการนำวัตถุดิบลงไปต้มในน้ำโดยตรง การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) ลักษณะการกลั่นเป็นการนำวัตถุดิบโดยที่วัตถุดิบไม่ได้แช่อยู่ในน้ำร้อนขณะทำการกลั่น และวิธีสุดท้ายคือ การกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) ซึ่งเป็นการกลั่นที่คล้ายกับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำแต่แตกต่างกันตรงที่หม้อกลั่นแยกออกมาจากชุดหม้อต้มไอน้ำทำให้การกลั่นไอน้ำวิธีนี้มีต้นทุนในการกลั่นเพิ่มสูงขึ้น สำหรับการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโรที่นิยมใช้กันจะเป็นการกลั่นด้วยน้ำ และการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (สุจินดา, 2550; พิษุฑดา, 2552) ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการกลั่นน้ำมันหอมระเหยในรูปแบบการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำเช่นกัน

ไม้เทพทาโรเป็นไม้มงคลพระราชทานประจำจังหวัดพังงาไม้เทพทาโรเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่สูง 10-30 m จัดอยู่ในวงศ์ Lauraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cinnamomum porrectum* (Roxb.) Kosterm. ชื่อพ้อง *Cinnamomum glanduliferum* C. Nees, *Cinnamomum parthenoxylon* (Jack.) C. Nees และ *Cinnamomum sumatranum* (Miq.) Meissner ชื่อภาษาอังกฤษคือ Safrol laurel พบทั่วไปทุกภาคของประเทศไทยภาคกลาง และภาคตะวันออกเรียก เทพทาโร ภาคใต้เรียก จวง หรือ จวงหอม ภาษาอาวเรียก มือแดกะมาจิง ภาคเหนือเรียก จะไคตัน จะไคหอม หรือพลูต้นขาว ภาคตะวันออกเรียกเหนื่อเรียก การบูร น้ำมันหอมระเหยเทพทาโรจากการกลั่นเนื้อไม้ ราก หรือเมล็ด มีองค์ประกอบใกล้เคียงน้ำมันแซฟราฟรัส (มีแซฟฟรอล 80-95%) เป็นที่ต้องการในตลาดต่างประเทศ ประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น อิตาลี และ

สหรัฐอเมริกา ขึ้นกับปริมาณแซฟรอลที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยมีประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ จีน เวียดนามอินโดนีเซีย มาเลเซีย และกัมพูชา แซฟรอลเป็นองค์ประกอบสำคัญออกฤทธิ์ต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ดี ทำให้น้ำมันเทพทาโรชนิดที่มีแซฟรอลเป็นองค์ประกอบหลักมีศักยภาพที่จะนำมาเตรียมเป็นยาทาถูขนาดแก้ปวดข้อ แก้ข้ออักเสบ ปวดข้ออักเสบ รูมาตอยด์ และยารักษาโรคที่เกิดจากเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดได้ (สมเกียรติ และคณะ, 2552) ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโรจะมีกลิ่นหอมเมื่อนำมาสูดดมจะสามารถกระตุ้นให้เกิดผลต่อระบบประสาทอัตโนมัติและสภาวะทางอารมณ์ได้ (นิดา และคณะ, 2562) และยังมีการนำน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโรไปเป็นส่วนผสมในน้ำมันนวดสปา (จิตตานันท์ และ บงกชรัตน์, 2553) งานวิจัยในนี้จึงสนใจที่จะนำเศษไม้เทพทาโรที่เหลือจากการแกะสลัก จากกลุ่มผลิตภัณฑ์ไม้เทพทาโรถ้าเล อำเภอยะยง จังหวัดตรัง มากั้นแยกเอาน้ำมันหอมระเหยเพื่อเพิ่มมูลค่า และลดปัญหาการจัดเก็บเศษไม้เทพทาโรที่เหลือจากการแกะสลักและแปรรูป ที่โรงงานกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ซึ่งเป็นโรงงานต้นแบบในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ ที่ดำเนินการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรต่าง ๆ เพื่อศึกษาข้อมูลทางวิชาการและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะได้นำเสนอข้อมูลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเศษซากไม้เทพทาโรในลักษณะการกลั่นเชิงอุตสาหกรรมโดยละเอียดต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ไม้เทพทาโร ที่ใช้ในการทดลองเป็นเศษไม้เทพทาโรที่เหลือจากการแกะสลักงานฝีมือต่าง ๆ จากพื้นที่จังหวัดตรัง รวบรวมมาเพื่อใช้ในการทดลองกลั่นแยกน้ำมันหอมระเหย มีขนาดลักษณะเป็นเศษไม้ชิ้นเล็กใหญ่แตกต่างกันไป มีสีน้ำตาล ความหนาของชิ้นไม้จะอยู่ในช่วง 5-10 mm ซึ่งเป็นลักษณะจากการใช้ของมีคมฉีกหรือฉีกเนื้อไม้ออกมา เศษไม้ที่ได้มามีกลิ่นหอมเฉพาะตัว มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งอยู่ที่ 88.79% ดังแสดงในรูปที่ 1. ที่แสดงถึงลักษณะของเศษไม้เทพทาโรที่เหลือจากการแกะสลักและนำมาใช้ในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้



รูปที่ 1 เศษไม้เทพทาโรที่เหลือจากการแกะสลัก

อุปกรณ์การทดลองสำหรับการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโรในครั้งนี้ ใช้เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย ขนาดความจุถึง 500 L ใช้อุณหภูมิในการกลั่น 100°C และใช้น้ำในการควบแน่น 10°C เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) เครื่องกลั่นทำจากเหล็กปลอดสนิม หรือสแตนเลส 304 หนา 3 mm ชุดหม้อต้มเป็นผนังสองชั้นระหว่างชั้นบุด้วยฉนวนกันความร้อนเซรามิคไฟเบอร์ หนา 50 mm เพื่อช่วยให้รักษาความร้อนในหม้อกลั่นและป้องกันอันตรายจากการสัมผัสความร้อนขณะใช้งาน ให้ความร้อนด้วยหัวแก๊สแอลพีจี kb10 อัตราการป้อนแก๊สแอลพีจี 0.22 kg/min ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องกลั่นที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation)

วิธีการทดลอง เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบเศษไม้เทพทาโร ใช้จำนวน 60 kg ต่อการกลั่นหนึ่งครั้ง 6 hr. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 รอบ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นเพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดย นำเศษไม้เทพทาโรล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำเศษไม้ทั้งหมดลงแช่ในน้ำเปล่าที่เตรียมไว้จำนวน 100 L ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 hr. เพื่อให้บางส่วนซึมเข้าไปในเนื้อไม้เมื่อทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยการเคลื่อนตัวของความชื้นออกจากเนื้อไม้จะได้พาน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นเมื่อแช่เศษไม้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 hr. ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) แล้วทำการแยกเนื้อไม้ออกจากน้ำ นำน้ำที่เหลือจากการแช่ทั้งหมดเติมลงในหม้อกลั่นเพื่อใช้เป็นน้ำต้มกลั่นและเติมน้ำสะอาดเพิ่มเติมลงไปในหม้อกลั่นให้ได้ปริมาณจำนวน 100 L แล้วนำเศษไม้เทพทาโรใส่ในตะแกรงสแตนเลสและยกลงภายในหม้อกลั่นในลักษณะที่ตะแกรงวัตถุดิบทั้งหมดอยู่ในตะแกรงวางลอยอยู่เหนือน้ำภายในหม้อกลั่น ซึ่งเป็นลักษณะของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ จากนั้นทำการจุดแก๊สให้ความร้อนเพื่อเริ่มทำการต้มกลั่นน้ำมันหอมระเหย เมื่อภายในหม้อกลั่นร้อนเกิดการเดือดขึ้น ไอน้ำภายในหม้อกลั่นจะไหลผ่านชั้นวัตถุดิบภายในตะแกรงและพาน้ำมันหอมระเหยเทพทาโรออกไปยังชุดควบแน่นที่ทำการหล่อเย็นด้วยระบบน้ำวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 10°C ทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ โดยของเหลวที่ได้จะประกอบไปด้วยน้ำกลั่นและน้ำมันหอมระเหย โดยทั่วไปจากข้อมูลงานวิจัยจะพบน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรจะมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.098 -1.100 g/cm³ (พิชญดา, 2552) ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ดังนั้นเวลากลั่นแยกแล้วต้องสังเกตน้ำมันหอมระเหยที่ได้จะตกอยู่ด้านล่างของกรวยแยก ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) จากนั้นแยกเฉพาะส่วนของน้ำมันหอมระเหยไปทำการชั่งบันทึกน้ำหนัก และปริมาตรน้ำมันหอมระเหยของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้เพื่อทำการคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลองในลำดับต่อไป



(ก) การเตรียมไม้เทพทาโรสำหรับการกลั่น



(ข) น้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร

รูปที่ 3 การเตรียมไม้เทพทาโรสำหรับการกลั่น และน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร

วิธีการคำนวณปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโร โดยเริ่มจากการคำนวณหาน้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโรที่ได้มา ซึ่งจะยังไม่แห้งสนิทและมีความชื้นปนบางส่วนโดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) และ (2)

$$\%dry = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

$$W_{dry} = \frac{\%dry \times W_{wet}}{100} \quad (2)$$

เมื่อ	%dry	คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งไม้เทพทาโร (%)
	W_1	คือ น้ำหนักตัวอย่างไม้เทพทาโรก่อนอบ (g)
	W_2	คือ น้ำหนักตัวอย่างไม้เทพทาโรหลังอบ (g)
	W_{dry}	คือ น้ำหนักแห้งไม้เทพทาโรที่ใช้กลั่น (kg)
	W_{wet}	คือ น้ำหนักไม้เทพทาโรที่ใช้การกลั่น (kg)

โดยสมการ (1) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหา %dry หรือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโร โดยการนำตัวอย่างไม้เทพทาโรที่จะใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยไปทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 hr. เมื่อได้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโรแล้ว นำมาใช้เป็นค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโร และใช้ข้อมูลน้ำหนักแห้งจากการคำนวณที่ได้จากสมการที่ (2) ไปใช้ในการคำนวณร้อยละของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร โดยนำเสนอในสองรูปแบบโดยแบบแรกคือ $\%v_{oil}/W_{dry}$ คือร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้เมื่อพิจารณาปริมาตรน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ต่อน้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโรทั้งหมดที่ใช้ในการกลั่นแต่ละครั้ง และ $\%w_{oil}/W_{dry}$ คือร้อยละน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้เมื่อ

พิจารณาน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ต่อน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบไม้เทพทาโรที่ใช้กลั่น (น้ำหนัก และคณะ, 2563) ดังแสดงวิธีการคำนวณตามสมการที่ (3) และ (4)

$$\%V_{oil/wdry} = \frac{V_{oil}}{W_{dry}} \times 100 \quad (3)$$

$$\%W_{oil/wdry} = \frac{W_{oil}}{W_{dry}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ	$\%V_{oil/wdry}$	คือ ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร (ปริมาตรน้ำมันหอมระเหยต่อน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ)
	V_{oil}	คือ ปริมาตรน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร (ml)
	$\%W_{oil/wdry}$	คือ ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร (น้ำหนักน้ำมันหอมระเหยต่อน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ)
	W_{oil}	คือ น้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร (kg)

โดยการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ทำการอบแห้งหาน้ำหนักแห้งไม้เทพทาโรจำนวน 5 ตัวอย่าง แล้วนำข้อมูลน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณตามสมการที่ (1) และ (2) เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโร เพื่อใช้ในการคำนวณตามสมการ (3) และ (4) ต่อไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปตรวจวิเคราะห์ผลด้วยวิธี GC-MS (GCMS-QP2020, Japan) โดยเตรียมน้ำมันหอมระเหยเทพทาโร เจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 1, 10 ppm (v/v) กรองผ่าน filter 0.2 μ m และเตรียมใส่ vial ให้ได้ปริมาตร 1 ml สภาวะ GC ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย คอลัมน์ชนิด TR-5MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m) โหมดการฉีดแบบ Splitless มี Split ratio 5:1 ปริมาตรที่ฉีด 1.33 mL/min แก๊สตัวพา คือ Helium 99.99% อัตราการไหล 5 mL/min อุณหภูมิของส่วนฉีดสาร 250°C โปรแกรมอุณหภูมิเริ่มต้น 100-250°C ดังตารางที่ 1 สภาวะของ MS ที่ใช้ทดสอบเป็น Electron ionization อุณหภูมิ Ion source 250°C ช่วงมวลในการวิเคราะห์ 35-500 amu

ผลการวิจัย

จากสมการที่ (1) และ (2) ได้นำตัวอย่างไม้เทพทาโร จำนวน 5 ตัวอย่าง มาทำการอบแห้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโรที่ใช้ในการทดลอง จากการทดลองพบว่าไม้เทพทาโรที่นำมาใช้ในการทดลองมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ 88.79% ซึ่งจะได้ใช้ข้อมูลนี้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหยดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโร จำนวน 3 การทดลอง แต่ละการทดลองใช้ไม้เทพทาโรจำนวน 60 kg คำนวณเป็นน้ำหนักแห้งสำหรับการทดลองแต่ละรอบ 53.27 kg เมื่อนำมากลั่นแยกเอาน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรจะได้น้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรเฉลี่ย 1.49 kg หรือ 1356.66 kg ต่อรอบการกลั่น 6 hr. เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ในสองรูปแบบ คือ ค่า $\% V_{oil/wdry}$ คือ ร้อยละของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ เมื่อพิจารณาปริมาตรน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ต่อน้ำหนักแห้งของไม้เทพทาโรทั้งหมดที่ใช้ในการกลั่นแต่ละครั้ง และ $\% W_{oil/wdry}$ คือ ร้อยละน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้เมื่อพิจารณาน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ต่อน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบไม้เทพทาโรที่ใช้กลั่น พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการทดลอง 2.55% $V_{oil/wdry}$ และ 2.80% $W_{oil/wdry}$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยอื่น ๆ พบว่า น้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรจะมี

ปริมาณ 3.85% v_{oil}/w_{dry} (ทรศนีย์ และณัฐินี, 2554) และ 3.86-4.45% w_{oil}/w_{dry} (พิชญดา, 2552) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหยจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้จะได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าที่ได้ต่ำกว่าเล็กน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาความแตกต่างแล้วน่าจะเป็นผลมาจากการวิจัยในอดีตที่ผ่านมาเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการขนาดเล็กในเครื่องกลั่นขนาดเล็กที่สามารถควบคุมสภาวะการกลั่นได้ค่อนข้างดี ในทางตรงกันข้ามเมื่อทำการกลั่นเชิงอุตสาหกรรมแล้วรูปแบบการกลั่นจะเปลี่ยนไปเนื่องจากขนาดเครื่องกลั่นและสภาวะการกลั่นแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเมื่อคำนวณและเปรียบเทียบแล้วมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์น้ำหนักแห้งไม้เทพทาโร

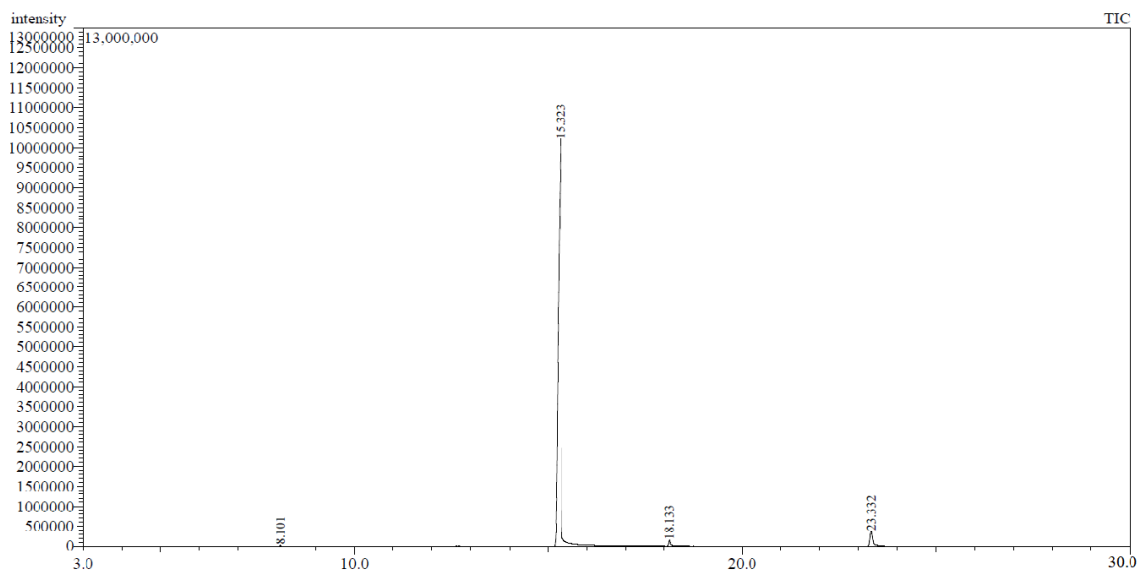
น้ำหนักไม้เทพทาโร (กรัม)		%dry
ก่อนอบ (w_1)	หลังอบ (w_2)	
27.3	23.77	87.07
26.4	23.46	88.86
26.82	24.09	89.82
27.09	24.2	89.33
26.14	23.23	88.87
		88.79

ตารางที่ 2 ข้อมูลการกลั่นน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร

การทดลอง	ไม้เทพทาโร (กิโลกรัม)		น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้					ร้อยละ			
	W_{wet}	W_{dry}	W_{oil} (กรัม)	W_{oil} (กิโลกรัม)	เฉลี่ย (กิโลกรัม)	V_{oil} (มิลลิลิตร)	เฉลี่ย (มิลลิลิตร)	% v_{oil}/w_{dry}	เฉลี่ย	% w_{oil}/w_{dry}	เฉลี่ย
1	60	53.27	1419	1.42		1290		2.42		2.64	
2	60	53.27	1562	1.56	1.49	1420	1356.66	2.67	2.55	2.93	2.80
3	60	53.27	1496	1.49		1360		2.55		2.81	

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรที่ได้ โดยการสุ่มตัวอย่างน้ำมันจากการทดลองทั้งหมดส่งตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยเทพทาโรโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรสโคปี (Gas chromatography-mass spectroscopy, GC-MS) ยี่ห้อ Shimadzu QP2020 NX, Japan โดยสภาวะการวิเคราะห์ผลได้อธิบายไว้ในหัวข้อ วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ โดยละเอียดแล้วนั้น ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรได้โครมาโตแกรม ดังรูปที่ 4 และตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาข้อมูลแล้ว พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่ได้มีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นแซฟรอล (Safrole) 95.92% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโร เมื่อนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยจะมีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นแซฟรอลสูงเช่นกัน เช่นพบสารแซฟรอลในน้ำมันหอมระเหยเทพทาโรจากส่วน ไม้ 97.17% ใบ 92.87% ผล 96.02% (ทรศนีย์ และณัฐินี, 2554) ไม้ 98.97% (พิชญดา และคณะ, 2552) เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่า องค์ประกอบหลักทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรจะมีสารเคมีคือ แซฟรอล เป็นองค์ประกอบหลักเสมอ และเมื่อน้ำมันหอมระเหยจากการทดลองไปวัดค่าความหนาแน่นเพิ่มเติมวัดค่าได้

1.100 g/cm³ ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา (พิชญดา, 2552) และลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้คือ ส่วนของน้ำมันเทพทาโรจะอยู่ด้านล่างของกรวยแยกและส่วนของน้ำกลั่นจะลอยอยู่ด้านบนเสมอ



รูปที่ 4 แสดง GC Chromatogram น้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโร

No.	องค์ประกอบทางเคมี	สูตร	Rt	%Area
1	Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	8.101	0.08
2	Safrole	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	15.323	95.92
3	Methyleugenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	18.133	0.70
4	Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl)-	C ₁₂ H ₁₆ O ₃	23.332	0.30

บทสรุป

จากการดำเนินการศึกษาและวิจัยการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโรเชิงอุตสาหกรรมและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนั้น พบว่า การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากไม้เทพทาโรในปริมาณมากหรือเชิงอุตสาหกรรมนั้นจะได้น้ำมันหอมระเหยในปริมาณหอมระเหยจากไม้เทพทาโร 2.55% v_{oil}/w_{dry} และ 2.80% w_{oil}/w_{dry} ซึ่งค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าการกลั่นมาตรฐานที่ได้จากการงานวิจัยที่ทำการทดลองการกลั่นในห้องวิจัยโดยใช้เครื่องกลั่นขนาดเล็กในห้องวิจัยทั่วไป ในส่วนของการวิเคราะห์ผลองค์ประกอบทางเคมีพบว่าน้ำมันหอมระเหยไม้เทพทาโรที่กลั่นได้ มีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็น Safrole 95.92% และสารเคมีชนิดอื่นที่พบรองลงมาคือ Methyleugenol 0.7%, Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl) 0.30% และ Eucalyptol 0.08% และมีความหนาแน่น 1.100 g/cm³ ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เครื่องกลั่นในระดับอุตสาหกรรมทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยได้คุณภาพเช่นเดียวกับการกลั่นในห้องทดลอง และสามารถนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งจะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ด้วย และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานหรืออ้างอิงได้สำหรับผู้สนใจการกลั่นน้ำมันหอมระเหยในปริมาณมากหรือเชิงอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงงานกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการทดลอง ตลอดจนการดำเนินงานวิจัยจนแล้วเสร็จ และ ห้างหุ้นส่วน เจ.เอส.ดี. แมชชีนเนอร์รี่ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนชุดอุปกรณ์การทดลองเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- จิตตานันท์ สรวายเอี่ยม และบงกชรัตน์ ปิตียนต์. (2553). การใช้ประโยชน์น้ำมันหอมระเหยจากเสขราคมะเทศในการผลิตน้ำมันนวดสำหรับสปา. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ. 140-147.
- ทรรศนีย์ พัฒนเสรี และณัฐินี อนันตโชค. (2554). องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยจากเสขราคมะเทศจากจังหวัดพังงาและสงขลา. ใน การประชุมวิชาการด้านป่าไม้ “เทคโนโลยีด้านป่าไม้เพื่อประชาชน”. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- นิตา น้อยเด่น, วินัย สยอวรรณ, วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์, อีเวเลตตี เกรบิจิโอรส โฟโต, ชนิตา พลานูเวช และนิจศิริ เรืองรังษี. (2562). ผลของการคมน้ำมันระเหยจากเสขราคมะเทศที่มีต่อระบบประสาทอัตโนมัติและสภาวะอารมณ์ของมนุษย์. วารสารพยาบาลทหารบก. 20(2): 83-92.
- นำพน พิพัฒน์ไพบุลย์, สุริยา โชคเพิ่มพูน, ศรายุทธ พลสีลา, มงคล มีแสง และสันติวัฒน์ ทองแดง. (2563). การศึกษาปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในระดับอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการกลั่นซ้ำ. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 7(1): 113-120.
- พิชญดา ฉายแสง, บงกชรัตน์ ปิตียนต์ และนุจारी ประสิทธิ์พันธ์. (2552). การผลิตน้ำมันหอมระเหยจากเสขราคมะเทศ (*Cinnamomum porrectum* (Roxb) Kosterm.). วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 40(3)(พิเศษ): 329-332.
- สมเกียรติ กลั่นกลิ่น, ชูจิตร์ อนันตโชค, ทรรศนีย์ พัฒนเสรี, มโนชญ์ มาตรพลากร, สมบูรณ์ บุญยืน, คงศักดิ์ มีแก้ว และพรเทพ เหมือนพงษ์. (2552). เสขราคมะเทศ *Cinnamomum porrectum* (Roxb.) Kosterm. รายงานการวิจัย แผนงานวิจัยและพัฒนาไม้หอมเพื่อเศรษฐกิจสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้: กรุงเทพฯ.
- สุจินดา กรรณสูตร. (2550). สมุนไพรไทยวัตถุบิณฑิผลิตน้ำมันหอมระเหยสู่การแพทย์ทางเลือก. เทคโนโลยีชาวบ้าน. 19(3): 32-38.
- Ju-Zhao L., Hong-Chang L., Yu-Jie F. and Qi C. (2022). Amomum tsao-ko essential oil, a novel anti-COVID-19 Omicron spike protein natural products: A computational study. Arabian Journal of Chemistry. 15(1): 103-109.
- Ramya R., Ritin M., Akshay V., Roop K. S., Ramandeep K., Ankit K., Naveen H., Aishwarya A., Swati S., Vikas S., Kapil G., Arnab G., Ashish B., Nanda G., Amrit P.S. and Amol N.P. (2022). Essential oil nebulization in mild COVID-19 (EONCO): Early phase exploratory clinical trial. Journal of Ayurveda and Integrative Medicine. 13(1): 100-109.

การเพาะพันธุ์ปลาลูกหวาย

Breeding of Striped flying barb (*Esomus metallicus*)กษมา ด่านวันดี¹ กฤติมา กษมาวุฒิ^{1*} และสำเนาวิ เสาวกุล¹Kasama Danwandee¹, Krittima Kasamawut^{1*} and Samnao Saowakoon¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address: krittima.sa@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาอัตราส่วนเพศในการเพาะพันธุ์ปลาลูกหวาย โดยการฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการวางไข่ที่ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact 15 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแม่พันธุ์ปลา 1 กิโลกรัม และความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact 7.5 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักพ่อพันธุ์ปลา 1 กิโลกรัม แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1, 2:1 และ 3:1 พบว่า อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียที่เหมาะสม เท่ากับ 1:1 แม่พันธุ์ปลาวางไข่เฉลี่ย $1,688 \pm 114.71$ ฟอง และมีอัตราการฟักสูงสุดเท่ากับ 88.51 ± 1.22 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) การศึกษาความเข้มข้นของฮอร์โมนที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์ปลาลูกหวาย แบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยการฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการวางไข่ของแม่พันธุ์ปลาที่ระดับความเข้มข้นของ Suprefact ต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแม่พันธุ์ปลา 1 กิโลกรัม และใช้ความเข้มข้นของ Suprefact ครึ่งหนึ่งของแม่พันธุ์ คือ 2.5, 5, 7.5 และ 10 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักพ่อพันธุ์ปลา 1 กิโลกรัม ส่วนกลุ่มควบคุมไม่มีการฉีดฮอร์โมน พบว่า การใช้ฮอร์โมน Suprefact 20 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของแม่พันธุ์ปลา และ Suprefact 10 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของพ่อพันธุ์ปลา ทำให้แม่พันธุ์ปลาวางไข่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $1,938 \pm 211.56$ ฟอง ($p < 0.05$) และพบว่า ความเข้มข้นของฮอร์โมนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่ออัตราการฟักไข่ และอัตราการรอดของลูกปลาที่ 24 ชั่วโมง ($p > 0.05$) และไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้วจะพัฒนาตัวจนกระทั่งฟักเป็นตัวใช้ระยะเวลา 14 ชั่วโมง

คำสำคัญ: ปลาลูกหวาย การเพาะพันธุ์ อัตราส่วนเพศ คัพภะ

Abstract

Studies on sex ratio in breeding of Striped flying barb (*Esomus metallicus*) using hormone injection. These were undertaken through hormone injections including female broodstock with suprefact at 15 $\mu\text{g/kg}$ plus motilium at 10 mg/kg as well as male broodstock with suprefact at 7.5 $\mu\text{g/kg}$ plus motilium at 10

mg/kg. The studies were divided into 3 treatments with 3 replications. The treatments were male to female ratios of 1:1, 2:1 and 3:1 respectively. Experimental results showed that the 1:1 ratio was considered the appropriate condition because the female broodstock could lay high number of eggs (i.e. $1,688 \pm 114.71$ eggs) and obtained the highest hatching rate, hence $88.51 \pm 1.22\%$ ($p < 0.05$). For studies on hormone concentration in breeding, experiments were conducted with 5 treatments with 3 replications. The different levels of Suprefact hormone concentrations were 5, 10, 15, 20 $\mu\text{g/kg}$ and control group (non-injection) in female broodstock. Whereas the male broodstock used half to the Suprefact hormone concentrations in females broodstocks including 2.5, 5, 7.5, 10 $\mu\text{g/kg}$ respectively and control group (non-injection). It was found that female broodstocks injected with Suprefact at 20 $\mu\text{g/kg}$ and motilium at 10 mg/kg as well as male broodstocks injected with Suprefact at 10 $\mu\text{g/kg}$ and motilium at 10 mg/kg. that considered the most appropriate condition because the female broodstocks could lay the highest number of eggs (i.e. $1,938 \pm 211$ eggs), while different hormone concentrations did not affect hatching rate, fertilization rate and survival rate 24 hour after hatching ($p > 0.05$). The egg after fertilization was developed and hatched out within 14 hours.

Keywords: Striped flying barb (*Esomus metallicus*), Breeding, Sex ratio, Embryo

บทนำ

ปลาชีวหนวดยาว (Striped flying barb) ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Esomus metallicus* เป็นปลาในวงศ์ย่อย Esominae ที่อยู่ในวงศ์ Danionidae ปลาชีวหนวดยาวเป็นปลาน้ำจืดขนาดเล็กที่พบชุกชุมและรู้จักกันทั่วไป สามารถพบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติเกือบทุกภาคของประเทศไทย ชอบว่ายวน้ำรวมกันเป็นฝูง และหลบซ่อนตามพรรณไม้น้ำ ลักษณะเด่นของปลาชีวหนวดยาว คือ มีหนวด 2 คู่ โดยหนวดคู่ล่างจะยาวกว่าหนวดคู่บน โดยปลาเพศผู้หนวดจะยาวไปจนถึงฐานของครีบกัน ส่วนหนวดของปลาเพศเมียความยาวจะไม่เกินฐานครีบท้อง ปลาชีวหนวดยาวมีครีบอกที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงใช้สำหรับทรงตัวและกระโดดขึ้นเหนือผิวน้ำ มีลายพาดกลางลำตัวตั้งแต่หลังตาจนถึงโคนหางอย่างเห็นได้ชัด (Smith, 1945)

ปลาชีวหนวดยาวมีความสำคัญในแง่เป็นอาหารของคนในท้องถิ่น และมีคุณค่าสำคัญในแง่ห่วงโซ่อาหารตามธรรมชาติ (Ukkatawewat, 2004) เป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์โดยจัดเป็นปลากินพืชร้อยละ 70 และกินสัตว์ร้อยละ 30 (เจริญ, 2505) ซึ่งปลาชีวหนวดยาวส่วนใหญ่จัดเป็นปลาขนาดเล็กที่เป็นผลพลอยได้จากการทำการประมง ถึงแม้ว่าจะเป็นปลาที่มีขนาดเล็กแต่ก็เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของชาวไทยในชนบท รวมถึงเป็นปลาที่สามารถบริโภคได้ทั้งตัวซึ่งจะได้รับแคลเซียมที่สูง นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ โดยเป็นผู้บริโภคอันดับต้น และเป็นอาหารสำหรับสัตว์ชนิดอื่น ๆ อีกด้วย

การเพาะพันธุ์ปลาชีวหนวดยาวให้มีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องพึ่งธรรมชาติ จะช่วยลดปัญหาการทำประมงเกินกำลังผลิต ส่วนหนึ่งเพื่อเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรให้เหมาะสมที่อาจทำให้ปลาชีวหนวดยาวสูญพันธุ์ได้ในอนาคต โดยการศึกษารูปแบบการเพาะพันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อทราบอัตราส่วนเพศ และระดับฮอร์โมนที่เหมาะสม รวมถึงพัฒนาการและระยะเวลาในการพัฒนาคุณภาพปลาชีวหนวดยาวเพื่อเป็นองค์ความรู้ให้แก่ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตลอดจนเป็นการช่วยกำหนดตารางการให้อาหารในระยะเวลาที่เหมาะสมแก่ลูกปลาชีวหนวดยาววัยอ่อน อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเพิ่มมูลค่าทางการตลาดของปลาชีวหนวดยาว และสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรทำการเพาะเลี้ยงปลาชีวชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแหล่งความมั่นคงทางอาหารสำหรับประชากรในประเทศ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมพ่อแม่พันธุ์ปลา และวิธีการเพาะพันธุ์

รวบรวมปลาชีวหนวดยาวจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ทำการคัดแยกปลาที่สมบูรณ์เพศ นำมาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาว เพื่อนำมาใช้ในการเพาะพันธุ์ ใช้น้ำที่ผ่านการพักใส่ในถังพลาสติกขนาด 40 x 30 ตารางเซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 10 ลิตร และใส่พรรณไม้ในถังเพาะพันธุ์เพื่อให้ปลาหลบซ่อน

การเพาะพันธุ์ปลาชีวหนวดยาว โดยการฉีดฮอร์โมนที่บริเวณช่องท้องของพ่อแม่พันธุ์ปลาจำนวน 1 ครั้ง หลังจากนั้นปล่อยให้พ่อแม่พันธุ์ปลาผสมพันธุ์กันเองด้วยวิธีเลียนแบบธรรมชาติ หลังจากปลาวางไข่ทำการนับจำนวนไข่ดีและไข่เสีย เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การผสมติด นับจำนวนลูกปลาเพื่อหาอัตราการฟักและอัตราการรอดที่ 24 ชั่วโมง หลังจากฟักเป็นตัว ในระหว่างการทดลองทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำประกอบด้วย ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) และอุณหภูมิ

วางแผนการศึกษาแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) วิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple rang test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การศึกษาอัตราส่วนเพศในการเพาะพันธุ์

ฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการวางไข่ปลาเพศเมียโดยใช้ความเข้มข้นฮอร์โมน Suprefact 15 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ส่วนปลาเพศผู้ใช้ความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact 7.5 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

- กลุ่มการทดลองที่ 1 ใช้ปลาชีวหนวดยาวเพศผู้ 1 ตัวผสมกับปลาชีวหนวดยาวเพศเมีย 1 ตัว
- กลุ่มการทดลองที่ 2 ใช้ปลาชีวหนวดยาวเพศผู้ 2 ตัวผสมกับปลาชีวหนวดยาวเพศเมีย 1 ตัว
- กลุ่มการทดลองที่ 3 ใช้ปลาชีวหนวดยาวเพศผู้ 3 ตัวผสมกับปลาชีวหนวดยาวเพศเมีย 1 ตัว

การศึกษาระดับความเข้มข้นของฮอร์โมนในการเพาะพันธุ์

การเพาะพันธุ์จะใช้อัตราส่วนของพ่อแม่พันธุ์ปลาเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1 ต่อ 1 การศึกษานี้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ใช้ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact ต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ที่แตกต่างกันในการเพาะพันธุ์ ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ดังนี้

- กลุ่มการทดลองที่ 1 (ควบคุม) ไม่ฉีดฮอร์โมน
- กลุ่มการทดลองที่ 2 ความเข้มข้น Suprefact 5 ไมโครกรัม ในปลาเพศเมีย
ความเข้มข้น Suprefact 2.5 ไมโครกรัม ในปลาเพศผู้
- กลุ่มการทดลองที่ 3 ความเข้มข้น Suprefact 10 ไมโครกรัม ในปลาเพศเมีย
ความเข้มข้น Suprefact 5 ไมโครกรัม ในปลาเพศผู้
- กลุ่มการทดลองที่ 4 ความเข้มข้น Suprefact 15 ไมโครกรัม ในปลาเพศเมีย
ความเข้มข้น Suprefact 7.5 ไมโครกรัม ในปลาเพศผู้
- กลุ่มการทดลองที่ 5 ความเข้มข้น Suprefact 20 ไมโครกรัม ในปลาเพศเมีย
ความเข้มข้น Suprefact 10 ไมโครกรัม ในปลาเพศผู้

การศึกษาพัฒนาการของคัพพะ

ศึกษาพัฒนาการคัพพะของปลาช่อนขาว โดยสุ่มไข่ที่ได้รับการผสมแล้ว นำมาศึกษาพัฒนาการด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10-40 เท่า และถ่ายภาพของพัฒนาการคัพพะในระยะต่าง ๆ บันทึกระยะเวลาของการพัฒนาการของคัพพะ จนกระทั่งฟักออกเป็นตัว

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

อัตราส่วนเพศในการเพาะพันธุ์

คัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ปลาช่อนขาวที่มีความสมบูรณ์เพศ น้ำหนักเฉลี่ย 2.82 ± 0.28 กรัม ความยาวเฉลี่ย 6.77 ± 0.66 เซนติเมตร และแม่พันธุ์น้ำหนักเฉลี่ย 3.58 ± 0.39 กรัม ความยาวเฉลี่ย 7.05 ± 0.18 เซนติเมตร ฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการวางไข่ โดยการฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการวางไข่ที่ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact 15 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแม่ปลา 1 กิโลกรัม และความเข้มข้นของฮอร์โมน Suprefact 7.5 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักพ่อพันธุ์ปลา 1 กิโลกรัม และปล่อยปลาในอัตราส่วนพ่อพันธุ์ต่อแม่พันธุ์เท่ากับ 1:1 (T1), 2:1 (T2) และ 3:1 (T3) หลังจากนั้นให้ปลาผสมพันธุ์กันเองโดยวิธีเลียนแบบธรรมชาติ พบว่า แม่พันธุ์ปลาช่อนขาวทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง วางไข่จำนวนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ $1,688 \pm 114.71$, $1,703 \pm 62.85$ และ $1,663 \pm 115.81$ ฟอง ตามลำดับ อัตราการฟัก พบว่า การใช้พ่อแม่พันธุ์ปลาในอัตราส่วน 1:1 (T1) มีอัตราการฟักเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 88.51 ± 1.22 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการรอดของลูกปลาที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการใช้พ่อแม่พันธุ์ปลาในอัตราส่วน 2:1 (T2) และ 3:1 (T3) โดยมีอัตราการฟักเฉลี่ยเท่ากับ 79.02 ± 2.20 และ 74.69 ± 3.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง) อัตราการผสมติด (%) อัตราการฟัก (%) และอัตราการรอดที่ 24 ชั่วโมงหลังฟัก (%) ของปลาช่อนขาวในการเพาะพันธุ์ที่อัตราส่วนเพศแตกต่างกัน

กลุ่มการทดลอง	จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)	อัตราการผสมติด (%)	อัตราการฟัก (%)	อัตราการรอดที่ 24 ชั่วโมงหลังฟัก (%)
T1	$1,688 \pm 114.71^a$	88.51 ± 1.22^a	100	100
T2	$1,703 \pm 62.85^a$	79.02 ± 2.20^b	100	100
T3	$1,663 \pm 115.81^a$	74.69 ± 3.18^b	100	100

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษร a b ที่กำกับอยู่ในตั้งเดียวกัน ถ้าอักษรแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมนในการเพาะพันธุ์

เพาะพันธุ์ปลาช่อนขาวโดยนำพ่อแม่พันธุ์ปลาช่อนขาวน้ำหนักเฉลี่ย 2.93 ± 0.36 กรัม ความยาวเฉลี่ย 6.68 ± 0.34 เซนติเมตร และแม่พันธุ์ปลามีน้ำหนักเฉลี่ย 3.58 ± 0.57 กรัม ความยาวเฉลี่ย 7.09 ± 0.26 เซนติเมตร ทำการฉีดฮอร์โมนกระตุ้นการวางไข่และปล่อยให้พ่อแม่พันธุ์ผสมพันธุ์กันเองด้วยวิธีเลียนแบบธรรมชาติ ใช้อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1 พบว่า

กลุ่มการทดลองที่ 5 แม่พันธุ์ปลาช่อนยาววางไข่จำนวนเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ $1,938 \pm 211.56$ ฟอง รองลงมาเป็นกลุ่มการทดลองที่ 4 และ 3 แม่ปลาวางไข่จำนวนเฉลี่ยเท่ากับ $1,477 \pm 290.71$ ฟอง และ $1,122 \pm 207.77$ ฟอง ($p < 0.05$) ส่วนกลุ่มการทดลองที่ 2 แม่ปลาวางไข่จำนวนเฉลี่ยน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 328 ± 121.46 ฟอง ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มการทดลองที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ในขณะเดียวกันอัตราการฟักของกลุ่มการทดลองที่ 1-4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีอัตราการรอดของลูกปลาที่ 24 ชั่วโมงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง) อัตราการผสมติด (%) อัตราการฟัก (%) และอัตราการรอดที่ 24 ชั่วโมงหลังฟัก (%) ของปลาช่อนยาวในการเพาะพันธุ์ที่ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมนแตกต่างกัน

กลุ่มการทดลอง	จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)	อัตราการผสมติด (%)	อัตราการฟัก (%)	อัตราการรอดที่ 24 ชั่วโมง หลังฟัก (%)
T1	0 ± 0.00^d	0 ± 0.00^b	-	-
T2	328 ± 121.46^d	84.07 ± 2.86^a	100	100
T3	$1,122 \pm 207.77^c$	87.37 ± 3.56^a	100	100
T4	$1,477 \pm 290.71^b$	86.94 ± 2.67^a	100	100
T5	$1,938 \pm 211.56^a$	88.14 ± 1.77^a	100	100

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษร a b c d ที่กำกับอยู่ในตารางเดียวกัน ถ้าอักษรแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปลาช่อนยาวเป็นปลาธรรมชาติที่ชอบว่ายน้ำรวมกันเป็นฝูงในพื้นที่กว้าง การนำปลามาแยกเพศจับคู่เพาะพันธุ์ในพื้นที่ที่จำกัด จึงทำให้ปลาตื่นตกใจ เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของปลาช่อนยาวในธรรมชาติ ที่ชอบหลบซ่อนตามพรรณไม้น้ำ Ramshort (1978) การใช้พรรณไม้น้ำในการเพาะพันธุ์จึงเป็นประโยชน์ในการยึดเกาะของไข่ เนื่องจากไข่ปลาช่อนยาวเป็นไข่ประเภทกึ่งจมกึ่งลอย นอกจากนี้อาจช่วยให้ปลาหลบซ่อนเพื่อลดการตกใจกลัว สอดคล้องกับ สุชาติ และ อำไพพรรณ (2551) รายงานการเพาะพันธุ์ปลาช่อนหางเล็ก (*Trigonostigma espei*) โดยใช้วัสดุวางไข่ที่ต่างกัน พบว่าการใช้พรรณไม้น้ำเป็นวัสดุวางไข่ทำให้แม่พันธุ์ปลามีการวางไข่ดีที่สุด

การใช้ปลาเพศผู้ต่อเพศเมียในอัตราส่วน 1:1 เพาะพันธุ์ปลาช่อนยาวทำให้แม่ปลาวางไข่สูงที่สุด และทำให้อัตราการฟักสูงที่สุด เนื่องจากปลาเพศผู้ไม่มีคู่แข่งในการไล่ผสมพันธุ์ปลาเพศเมีย จึงอาจทำให้ไข่และน้ำเชื้อผสมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ สุชาติ และอำไพพรรณ (2551) รายงานพฤติกรรมการผสมพันธุ์วางไข่ของปลาช่อนหางเล็ก ที่ปลาเพศผู้จะมีพฤติกรรมการต่อสู้กันและตัวที่ชนะได้ผสมพันธุ์กับเพศเมีย แตกต่างกับกับ ณัฐพงษ์ (2559) ที่รายงานผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์ปลาช่อนหางเล็ก (*Microdevario kubotai*) ว่าจำนวนเพศผู้ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อการวางไข่ อัตราการปฏิสนธิ อัตราการรอดตาย และจำนวนลูกปลา แต่ส่งผลกระทบต่อจำนวนไข่ที่ได้มีจำนวนลดลงเนื่องจากปลาช่อนหางเล็ก มีพฤติกรรมการกินไข่และลูกของตัวเอง นอกจากนี้ Pete (2016) รายงานอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์ปลาช่อนหางเล็ก Danios และ Devarios คือ 1:1 หรือ 2:1 ตัว เช่นเดียวกับ จิรวรรณ (2550) และณัฐพงษ์ (2559) รายงานการเพาะพันธุ์ปลาช่อนหางเล็กและปลาช่อนหางกรรไกร (*Rasbora trilineata*) อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์คือเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:1

จากการศึกษาการเพาะพันธุ์ปลาชิวหนวดยาวโดยการฉีดฮอร์โมนที่มีความเข้มข้นต่างกัน พบว่า อัตราการฟักไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับ นฤพล (2537) ศึกษาการเพาะพันธุ์ปลาตะเพียน รายงานว่า การฉีดฮอร์โมนสังเคราะห์ Buserelin ร่วมกับ ยาเสริมฤทธิ์ Domperidone ในความเข้มข้นต่างกันเป็น 10 เท่า ไม่ส่งผลต่ออัตราการปฏิสนธิและอัตราการฟัก นอกจากนี้ การศึกษาการเพาะพันธุ์ในสกุลปลาชิวที่ใช้ความเข้มข้นฮอร์โมนสังเคราะห์ Buserelin อัตราความเข้มข้น 10 และ 15 ไมโครกรัม ต่อกิโลกรัม ร่วมกับยาเสริมฤทธิ์ Domperidone 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในการเพาะพันธุ์ ปลาชิวทอง (*Rasbora einthovenii*) ให้ผลอัตราการฟักเฉลี่ย 80.77 และ 81.50 เปอร์เซ็นต์ (ณัฐพงษ์, 2564) และปลาชิวหางดอก (*Rasbora caudimaculata*) พบจำนวนไข่ต่อแม่เฉลี่ย อัตราปฏิสนธิ และอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ (อำไพพรรณ และ คณะ, 2559) การเพาะพันธุ์ปลาชิวหางกรรไกรการฉีดฮอร์โมน Suprefact กระตุ้นการวางไข่แม่พันธุ์ปลาในความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และ Motilium มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะสามารถทำให้แม่พันธุ์ปลาชิวหางกรรไกรวางไข่ได้สูงที่สุด (สำเนาวิ และคณะ, 2551) การเพาะพันธุ์ปลาชิวควายแถบดำ (*Rasbora paviei*) โดยการฉีด Buserelin 15 ไมโครกรัม ร่วมกับยา Domperidone 5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม ใช้อัตราส่วนการผสมพันธุ์เพศผู้และเพศเมียเท่ากับ 1:1 จะวางไข่หลังได้รับสารสังเคราะห์เฉลี่ย 8.20 ± 0.25 ชั่วโมง และระยะเวลาพัฒนาของไข่จนฟักเป็นตัวใช้เวลา 17.15 ± 1.65 ชั่วโมง อัตราการฟักร้อยละ 80 และความสมบูรณ์ปลาเพศเมียมีปริมาณไข่ 500-1500 ฟอง (สุริยะ, 2554)

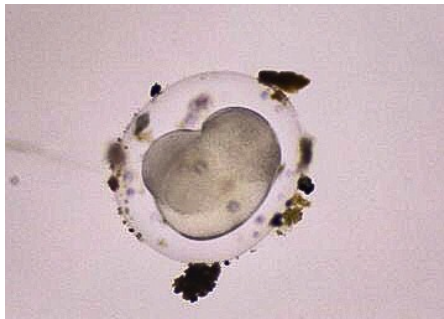
การศึกษาพัฒนาการของคัพพะ

นำไข่ที่ได้รับการผสมแล้วมาศึกษาโดยการถ่ายภาพพัฒนาการของคัพพะในระยะต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10-40 เท่า พบว่า ไข่ปลาชิวหนวดยาว เป็นไข่ประเภทจมติดวัตถุ (Adhesive eggs) มีรูปร่างกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.05 ± 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิจะมีสีขาวใส ส่วนไข่ที่ไม่ได้รับการปฏิสนธิ (ไข่เสีย) จะมีลักษณะสีขาวขุ่น ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิจะเริ่มพัฒนาคัพพะเข้าสู่ระยะ Cleavage ในเวลา 15 นาที ระยะ Morula ในเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ระยะ Blastula ในเวลา 3 ชั่วโมง 15 นาที ระยะ Gastrula ในเวลา 5 ชั่วโมง 20 นาที ระยะ Head bud and tail bud ในเวลา 6 ชั่วโมง 40 นาที ระยะ Somite ในเวลา 7 ชั่วโมง ระยะ Optic bud ในเวลา 8 ชั่วโมง 20 นาที ระยะ Caudal vesicle ในเวลา 9 ชั่วโมง ระยะ Heart formation ในเวลา 10 ชั่วโมง 30 นาที และฟักออกเป็นตัวในเวลา 14 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ น้ำ 26.0-28.5 องศาเซลเซียส

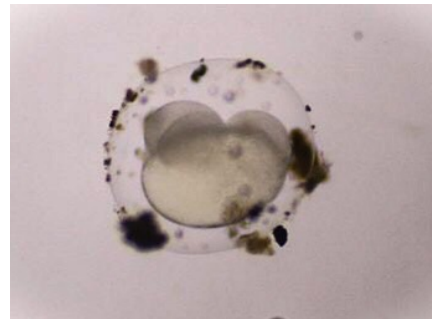
ตารางที่ 3 พัฒนาการของคัพพะปลาชิวหนวดยาว

ระยะพัฒนาการ	ระยะเวลาหลังปฏิสนธิ	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	รูปที่
Cleavage	15 นาที	ไข่ปลาหลังจากได้รับการผสม พบเซลล์ด้าน Animal pole เริ่มแบ่งเซลล์ Blastomere เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจนได้ 64 เซลล์ และชั้นเซลล์มีความหนามากขึ้น	1-4
Morula	2 ชม. 30 นาที	เซลล์ Blastomere แบ่งเป็นเซลล์ขนาดเล็ก จำนวนมาก	5
Blastula	3 ชม. 15 นาที	Blastomere เริ่มมีการเคลื่อนตัวลงมาคลุม Nucleus	6-8
Gastrula	5 ชม. 20 นาที	การแบ่งเซลล์และจัดเรียงตัวเป็นเนื้อเยื่อ Ectoderm, Mesoderm และ Endoderm ซึ่งจะมีการพัฒนาไปเป็นอวัยวะส่วนต่างๆ	9
Head bud and Tail bud	6 ชม. 40 นาที	กลุ่มเซลล์เคลื่อนลงคลุม Yolk เตรียมสร้าง Head bud และ Tail bud	10
Somite	7 ชม.	เนื้อเยื่อชั้น Ectoderm, Mesoderm และ Endoderm เกิด เป็นตัว Embryo มีลักษณะเป็น Germ ring	11

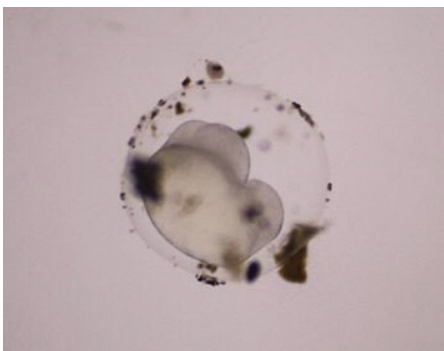
ระยะพัฒนาการ	ระยะเวลาหลังปฏิสนธิ	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	รูปที่
Optic bud	8 ชม. 20 นาที	พบส่วนของ Optic bud มีลักษณะเป็นวงบริเวณ Head bud ซึ่งจะพัฒนาเป็นลูกตา	12
Caudal vesicle	9 ชม.	เกิด Caudal vesicle เห็น Optic bud ชัดเจนขึ้น ส่วนหางมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น	13
Heart formation	10 ชม. 30 นาที	หัวใจและกล้ามเนื้อเริ่มทำงาน ส่วนหางมีความยาวเพิ่มขึ้น ตัวอ่อนมีการเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย	14
Hatch	13 ชม. 45 นาที	หางมีการพัฒนายาวขึ้น ลูกปลามีการเคลื่อนไหวมากขึ้น พร้อมที่จะฟักเป็นตัว	15
Hatch out	14 ชม.	ลูกปลาฟักออกเป็นตัว โดยใช้ส่วนหางเคลื่อนไหวทำให้ผนังไข่แตก	16



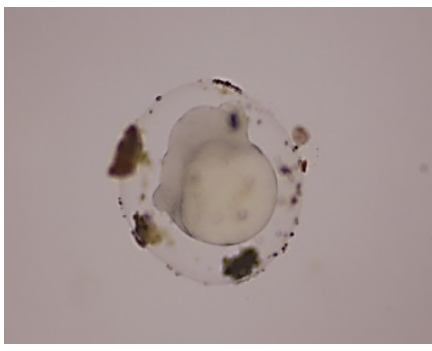
รูปที่ 1 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 20 นาที
(Cleavage stage)



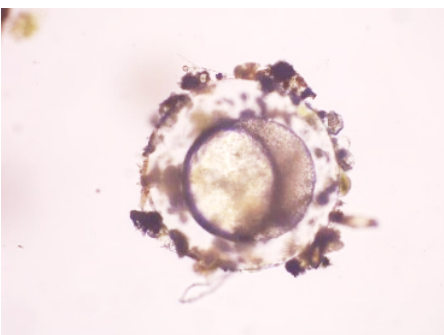
รูปที่ 2 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 30 นาที
(Cleavage stage)



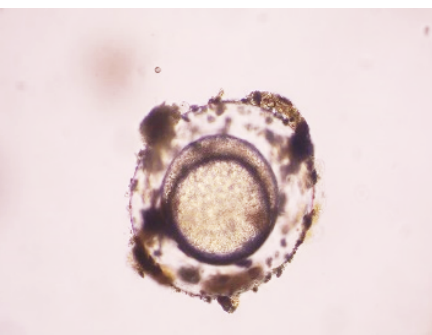
รูปที่ 3 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 45 นาที
(Cleavage stage)



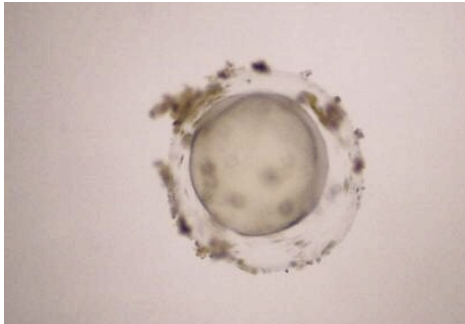
รูปที่ 4 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 2 ชั่วโมง
(Cleavage stage)



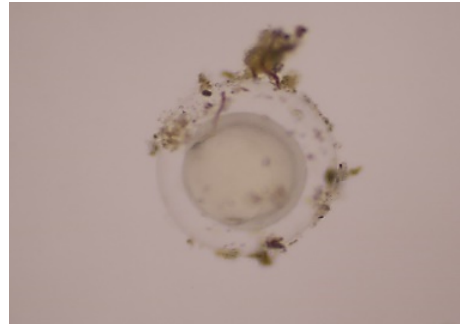
รูปที่ 5 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 2 ชั่วโมง 30 นาที
(Morula stage)



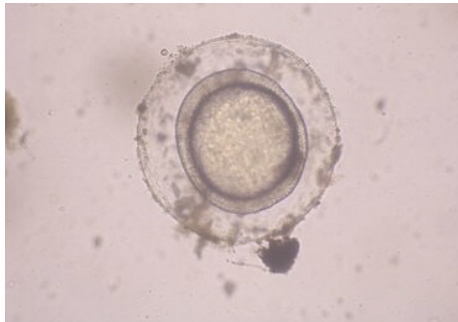
รูปที่ 6 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 3 ชั่วโมง 15 นาที
(Blastula stage)



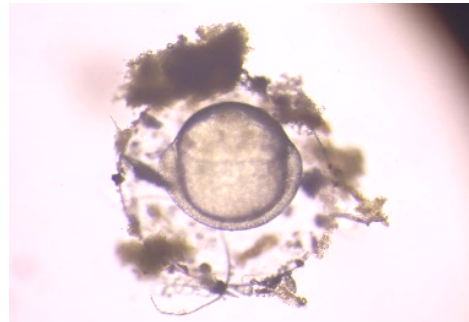
รูปที่ 7 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 4 ชั่วโมง
(Blastula stage)



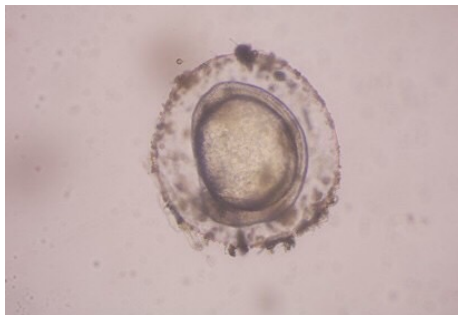
รูปที่ 8 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 5 ชั่วโมง
(Blastula stage)



รูปที่ 9 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 5 ชั่วโมง 30 นาที
(Gastrula stage)



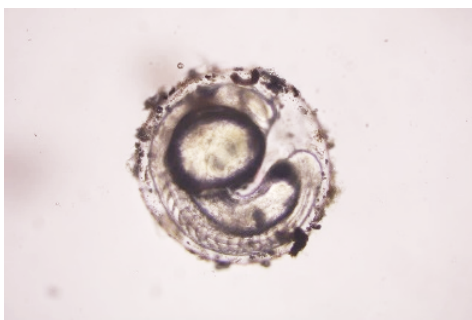
รูปที่ 10 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 6 ชั่วโมง 40 นาที
(Head bud and Tail bud stage)



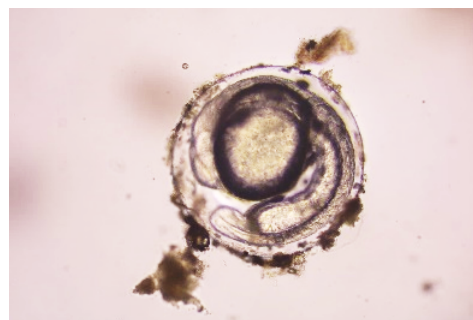
รูปที่ 11 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 7 ชั่วโมง
(Somite stage)



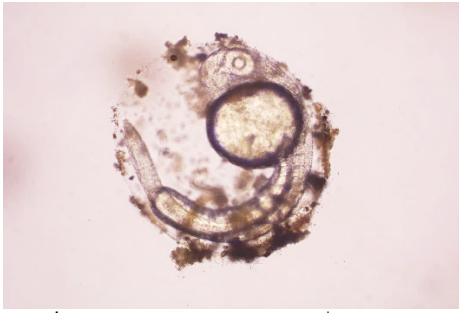
รูปที่ 12 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 8 ชั่วโมง 20 นาที
(Optic bud stage)



รูปที่ 13 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 9 ชั่วโมง
(Caudal vesicle stage)



รูปที่ 14 คัพภะหลังการปฏิสนธิ 10 ชั่วโมง 30 นาที
(Heart formation stage)



รูปที่ 15 คัพพะหลังการปฏิสนธิ 13 ชั่วโมง 45 นาที
(Hatch stage)



รูปที่ 16 ลูกปลาฟักเป็นตัวหลังการปฏิสนธิ 14 ชั่วโมง
(Hatch-out stage)

ปลาชีวหนวดยาวหลังจากที่ฉีดฮอร์โมนในการเพาะพันธุ์ 6 ชั่วโมง ปลาจะเริ่มวางไข่ จะสังเกตเห็นไข่สีขาวเกาะกับพื้นถึงเพาะ และบางส่วนเกาะติดกับพรรณไม้น้ำ ซึ่งไข่ประเภทนี้มีสารเหนียวที่เปลือกไข่ทำให้ไข่เหนียวติดกับวัตถุ (วีรพงศ์, 2536) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ เจริญ (2505) ศึกษาพัฒนาการของคัพพะจากการเพาะพันธุ์ชีวหนวดยาว พบว่าไข่ปลาเป็นแบบชนิดจมนกึ่งติด (Semi-adhesive eggs) ลักษณะของไข่เป็นเม็ดกลมสีเหลืองอ่อน มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.0 มิลลิเมตร เปลือกไข่หนาใส ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วจะเริ่มพัฒนาเข้าสู่ระยะ Cleavage, Morula และ Blastula ในเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ และเข้าสู่ระยะ Gastrula ในเวลา 4-6 ชั่วโมง ระยะ Somite ในเวลา 7-10 ชั่วโมง ลูกปลาฟักเป็นตัวภายใน 12 ชั่วโมง

Lambert (2001) รายงานปลาในวงศ์ย่อย Danioninae ซึ่งเป็นปลาในวงศ์เดียวกันกับปลาชีวหนวดยาว พบว่าหลังจากไข่ปฏิสนธิแล้วจะมีพัฒนาการคัพพะ ระยะ Cleavage ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 5 นาที ระยะ Blastula ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 45 นาที ระยะ Gastrula ใช้เวลา 3 ชั่วโมง 55 นาที ระยะ Somite ใช้เวลา 5 ชั่วโมง 15 นาที และเริ่มฟักออกเป็นตัว 20 ชั่วโมง 9 นาที ที่อุณหภูมิ 25.0-28.0 องศาเซลเซียส ส่วนการศึกษาคัพพะในกลุ่มปลาชีว มีรายงานว่า ปลาชีวทอง (*Rasbora einthovenii*) ไข่ปลาชีวทองเป็นประเภทไข่จมนกึ่งติด มีรูปร่างกลม สีเหลืองอ่อน เปลือกไข่บางและโปร่งใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.21 ± 0.01 มิลลิเมตร พัฒนาการของคัพพะเริ่มฟักออกเป็นตัวใช้เวลา 16 ชั่วโมง 22 นาที ที่อุณหภูมิ 28.0-29.5 องศาเซลเซียส (ณัฐพงษ์, 2564) ปลาชีวพม่า (*Rasbora daniconius*) ไข่ปลาเป็นแบบชนิดจมนกึ่งติด (Semi-adhesive eggs) ลักษณะของไข่เป็นทรงกลมสีเหลืองอ่อน มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.8-1.0 มิลลิเมตร $\times$ 0.96 มิลลิเมตร เริ่มพัฒนาคัพพะหลังจากไข่ได้รับการปฏิสนธิแล้ว 20 นาที และเข้าสู่ระยะ Gastrula ในเวลา 7 ชั่วโมง หลังจากนั้นมีการพัฒนาส่วนของอวัยวะต่าง ๆ ในเวลา 10 ชั่วโมง 30 นาที และฟักเป็นตัวในเวลา 32 ชั่วโมง (Paul and Sarmah, 2019) ปลาชีวข้างขวานเล็ก (สุชาติ และอำไพพรรณ, 2551) และปลาชีวตาเขียว (ณัฐพงษ์, 2559) ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้วจะมีพัฒนาการคัพพะและเริ่มฟักออกเป็นตัวใช้เวลา 16 ชั่วโมง 22 นาที ที่อุณหภูมิ 28.0-29.5 องศาเซลเซียส นอกจากนี้คุณภาพน้ำและอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาของคัพพะ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ไข่ฟักเป็นตัวเร็วขึ้น (อุทัยรัตน์, 2538) โดยคุณภาพน้ำระหว่างการเพาะพันธุ์ พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.5-8.0 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 4.5-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเค็มอยู่ระหว่าง 100-115 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 และอุณหภูมิ 28.5-29.5 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528) โดยไม่เป็นอันตรายต่อพัฒนาการของคัพพะปลาชีวหนวดยาว

บทสรุป

การเพาะพันธุ์ปลาช่อนในอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียที่ 1:1 ฉีดฮอร์โมน Suprefact ปลาช่อนเพศเมียด้วยความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแม่ปลา 1 กิโลกรัม ส่วนปลาช่อนเพศผู้ฉีดฮอร์โมน Suprefact ด้วยความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม ร่วมกับ Motilium 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักพ่อพันธุ์ปลา 1 กิโลกรัม และปล่อยให้ปลาผสมพันธุ์กันด้วยวิธีเลียนแบบธรรมชาติ จะทำให้แม่พันธุ์ปลาช่อนวางไข่และมีอัตราการฟักสูง ส่วนไข่ของปลาช่อนที่ได้รับการปฏิสนธิแล้วจะใช้ระยะเวลา 14 ชั่วโมง ในการฟักเป็นตัว

เอกสารอ้างอิง

- เจริญ วัฒน. (2505). ชีววิทยาของปลาช่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐพงษ์ เพชรฤทธิ์. (2559). การเพาะพันธุ์ปลาช่อนโดยใช้อัตราส่วนเพศที่ต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 21/2559. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสตูล กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง.
- ณัฐพงษ์ เพชรฤทธิ์. (2564). การเพาะพันธุ์และอนุบาลปลาช่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2564. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสตูล กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง.
- นฤพล สุขุมานัน. (2537). ผลของเข้มข้นที่สูงมาก ๆ ของ Buserelin ต่อการวางไข่ของปลาตะเพียนขาว. วารสารการประมง 47(5): 415-419.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจางวรรณ สมศิริ. (2528). คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับนักวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง.
- สำเนา เสาวกุล, หทัยรัตน์ เสาวกุล, สัมพันธ์ จันทร์ดำ, อธิยา อรรอินทร์ และกัลย์กนิต พิสมมรัมย์. (2551). การศึกษา ชีววิทยา การเพาะพันธุ์ การอนุบาล และการเลี้ยงปลาช่อนหางกรไกรเพื่อการค้า. รายงานการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์.
- สุชาติ ไกรสุรสิทธิ์ และอำไพพรรณ ไกรสุรสิทธิ์. (2551). การเพาะพันธุ์ปลาช่อนหางกรไกรโดยใช้วัสดุวางไข่ที่ต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 35/2551. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสตูล กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง.
- สุริยะ จันทร์แก้ว. (2554). ชีววิทยาการเพาะขยายพันธุ์ปลาช่อนหางกรไกร. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช. 30(1): 145-152.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. (2538). การเพาะขยายพันธุ์ปลา. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- อำไพพรรณ ไกรสุรสิทธิ์, ณัฐพงษ์ เพชรฤทธิ์, ชไมพร แก้วสีทอง และสุชาติ ไกรสุรสิทธิ์. (2559). การเพาะและอนุบาลปลาช่อนหางกรไกร. วารสารการประมง. 69(5): 450-466.
- Lambert D. (2001). A practical guide to breeding your freshwater fish. Interpret Publishing: England.
- Pete C. (2016). Breeding Danios and Devarios. Accessed 12 Sep. 2022. <http://www.danios.info/articles/breeding.aspx>.
- Paul S. and Sarmah S.K. (2019). Study of embryonic and larval development of *Rasbora daniconius*. Biological Forum–An International. 11(2): 72-76.
- Ramshort J.D. Van. (1978). The complete Aquarium Encyclopedia of Tropical Freshwater Fish. Elsevier Phaidan and Imprint of Phaidan Press Ltd: Oxford.
- Ukkatawewat S. (2004). Knowledge of Thai freshwater fishes. Kdurusapa Ladprao. Printing Press: Bangkok.

Received: September 9, 2022; Revised: October 15, 2022; Accepted: October 31, 2022

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่

Study of the optimal ratios and properties of Charcoal briquettes from Bamboo

จุฑาพล จำปาแถม¹ ลำพูน เหลาราช¹ ภิตินันท์ อารยางกูร² และสุรสิงห์ อารยางกูร^{3*}
Jutapol Jumpatam¹, Lumpoon Laorach¹, Pitinan Arayangkun² and Surasing Arayangkun^{3*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

²โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์

³คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address: p.sing1968@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ โดยการนำผงถ่านจากไม้ไผ่กับตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง:น้ำ) มาผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 5 อัตราส่วน (ผงถ่าน:แป้งมัน:น้ำ) ได้แก่ 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 และ 10.0:3.0:5.5 กิโลกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แล้วนำไปอัดให้เป็นแท่งโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบเกลียว เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง นำถ่านอัดแท่งมาทดสอบหาสมบัติของถ่านอัดแท่ง และนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. 238/2547 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0 และ 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 สามารถขึ้นรูปได้ ผลการทดสอบสมบัติของถ่านอัดแท่ง พบว่า เมื่อสัดส่วนของตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าความร้อน และปริมาณคาร์บอนคงตัว มีแนวโน้มลดลง ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด คือ 32.263 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ และผลการเปรียบเทียบกับ มาตรฐาน มผช. 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งทั้ง 4 อัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 โดยอัตราส่วนของผงถ่านจากไม้ไผ่ต่อตัวประสานที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ สมบัติของถ่านอัดแท่ง

Abstract

The objective of this research was to study the optimal ratio and properties of charcoal briquettes from bamboo. The bamboo charcoal powders were mixed with the binder in 5 different ratios, namely 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 and 10.0:3.0:5.5 kg per liter, respectively. Then, the mixed samples were compressed into a bar using a screw charcoal press. After the drying process, the charcoal briquette samples were employed to test the properties of charcoal briquettes and compared with the Thai Community Standard Product (TCSP) 238/2547 and to determine the optimal ratio in the produced bamboo charcoal briquettes. The research results found that the charcoal briquette ratios of 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0 and 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 can be molded. For testing the properties of charcoal briquettes, the results showed that density, moisture content, volatile matter content combustible volume and ash content tend to increase with increasing the binder contents. While, the heat and stable carbon content tend to decrease. The most efficient use of 32.263 percent for the charcoal briquette of 10.0:1.0:3.5 ratio was obtained. The smokes and flakes were not observed for the charcoal briquette in the ratio of 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 and 10.0:2.5:5.0. Comparing with the standard TCSP. 238/2547, the results found that all 4 charcoal briquettes passed the standard TCSP. 238/2547. The optimal ratio of the bamboo charcoal powder with binder to the was the ratio of 10.0:1.0:3.5.

Keyword: Charcoal briquettes from bamboo, Properties of charcoal briquettes

บทนำ

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง ที่หลายประเทศให้การยอมรับ และใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย มีปริมาณกักเก็บต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล และใช้แล้วไม่หมดไป ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น โดยมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทน (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) ซึ่งให้ความสำคัญกับพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะพลังงานจากชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย และมีจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ให้อยู่ในรูปของพลังงานชีวมวลได้ เช่น ไม้พืน แกลบ กากอ้อย มูลสัตว์ ฟางข้าว วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เป็นต้น ในอดีตชีวมวลส่วนใหญ่จะถูกทิ้งซากให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ภายในพื้นที่การเพาะปลูก หรือบางครั้งเกษตรกรกำจัดโดยการเผาทำลาย ซึ่งเป็นการสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม ทั้งที่ความจริงแล้วชีวมวลเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี และให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงทำให้มีการเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพ และปริมาณที่มากพอ (ชุดิมาภรณ์ และคณะ, 2561)

ถ่านอัดแท่ง (Charcoal Briquette) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ช้างข้าวโพด มาเผาจนเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ด แล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แกลบ ชี้อ้อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ แล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ถ่านอัดแท่งเป็นสินค้า OTOP ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศ มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) เพื่อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ราคาของถ่านอัดแท่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตถ่านอัดแท่ง

ราคาทั่วไปประมาณกิโลกรัมละ 15-20 บาท ซึ่งอาจจะดูแพงกว่าถ่านไม้ทั่วไป ราคา กิโลกรัมละไม่เกิน 10 บาท แต่ถ้าเปรียบเทียบกับคุณภาพ และระยะเวลาการเผาไหม้ ถือว่าถ่านอัดแท่งมีประสิทธิภาพคุ้มค่าง่าถ่านไม้

จากศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน บ้านจิกแตก ตำบลจิกแตก อำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์ ได้ส่งเสริมการปลูกไม้ไผ่เพิ่มรายได้ในชุมชนจะมีไผ่ที่นิยมปลูกในพื้นที่นี้ ประกอบไปด้วย ไผ่เลี้ยง ไผ่เก้าดาว ไผ่ขางหม่น ไผ่ดำ ไผ่บงใหญ่ ไผ่ข้าวหลามกาบแดง และไผ่กิมซุง ซึ่งทางศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน จะรับซื้อไม้ไผ่จากชาวบ้านเพื่อนำมาเผาเป็นถ่านไม้ไผ่ แล้วนำมาทำเป็นถ่านอัดแท่งเพิ่มมูลค่าของถ่านมากขึ้น แต่ส่วนผสมของถ่านอัดแท่งยังไม่มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่แน่ชัด โดยมีอัตราส่วนผสมถ่านต่อแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ คือ 10:1.0:4.0 ซึ่งทางผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานและมีประสิทธิภาพสูง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจากศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เพื่อประโยชน์ของชุมชนที่อยู่ในพื้นที่การเพาะปลูกไม้ไผ่ จะได้นำไปเป็นแบบอย่าง ส่งเสริม และสนับสนุนให้มีการผลิตถ่านอัดแท่งใช้เองภายในครัวเรือน หรือจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้เสริมแก่ชุมชนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการผลิตต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษานี้ใช้เครื่องบดผสมย่อย เครื่องอัดถ่านอัดแท่งถ่าน และไม้ไผ่ ที่ได้จากการเผาถ่านจากศูนย์เทคโนโลยีและธุรกิจไผ่ชุมชน บ้านจิกแตก ตำบลจิกแตก อำเภอพนมดงรัก จังหวัดสุรินทร์ โดยมีรายละเอียดและวิธีการ ดังนี้



รูปที่ 1 เครื่องบดถ่านและผสม



รูปที่ 2 เครื่องอัดถ่านอัดแท่งถ่านแบบสกรูอัด

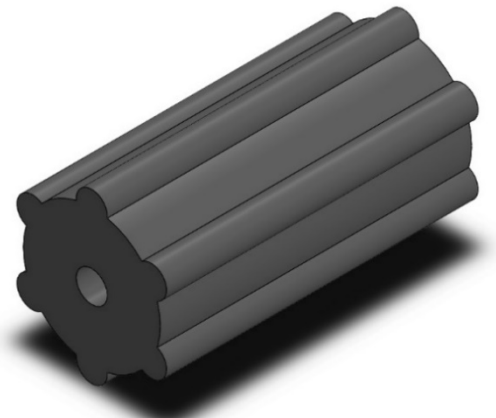
1. อัตราส่วน และขนาดของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ (ถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการอัดแท่งใช้เศษไม้ไผ่ทุกสายพันธุ์ที่ปลูก)

1.1 อัตราส่วน ผงถ่านต่อแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ ทั้งหมด 5 อัตราส่วน มีดังนี้ 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10:2.5:5.0 และ 10:3.0:5.5 ผลวิเคราะห์ได้จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากอัตราส่วนละ 3 แท่ง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่

สูตรที่	อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่		
	ถ่าน (กิโลกรัม)	แป้งมัน (กิโลกรัม)	น้ำ (ลิตร)
1	10	1.0	3.5
2	10	1.5	4.0
3	10	2.0	4.5
4	10	2.5	5.0
5	10	3.0	5.5

1.2 ขนาดถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ยาว 10 เซนติเมตร และความกว้าง 5 เซนติเมตร



รูปที่ 3 ถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ขนาด ยาว 10 เซนติเมตร และความกว้าง 5 เซนติเมตร

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังนี้

2.1 กระบวนการทำแท่ง โดยวิธีการผึ่งในที่ร่มอุณหภูมิห้อง ชั่งมวลทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนกว่ามวลของถ่านอัดแท่งจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง

2.2 ความหนาแน่น (Density) เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของถ่านอัดแท่ง โดยทำการแทนที่ทรายออกตาวา

2.3 ดัชนีการแตกร่วน (Friability index) ทำการทดสอบโดยวิธีที่ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D440-86

2.4 ค่าความร้อน (Heating value) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3286

2.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173

2.6 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3175

2.7 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5373

2.8 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173

2.9 ปริมาณเถ้า (Ash content) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3174

2.10 ประสิทธิภาพการใช้งาน (Application efficiency) ทำการทดสอบ โดยการนำถ่านอัดแท่งมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้ม น้ำ

- 2.11 การเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน (Smoke and Fire flakes) ทำการทดสอบ โดยการจุดตัวอย่างแล้วตรวจพินิจ
3. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์แบบเป็นกลุ่มโดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's multiple range test)
4. ทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547)

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ และทำการทดสอบเพื่อวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่ง ด้วยการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง จำนวน 5 อัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน ได้ผลการขึ้นรูป ดังนี้

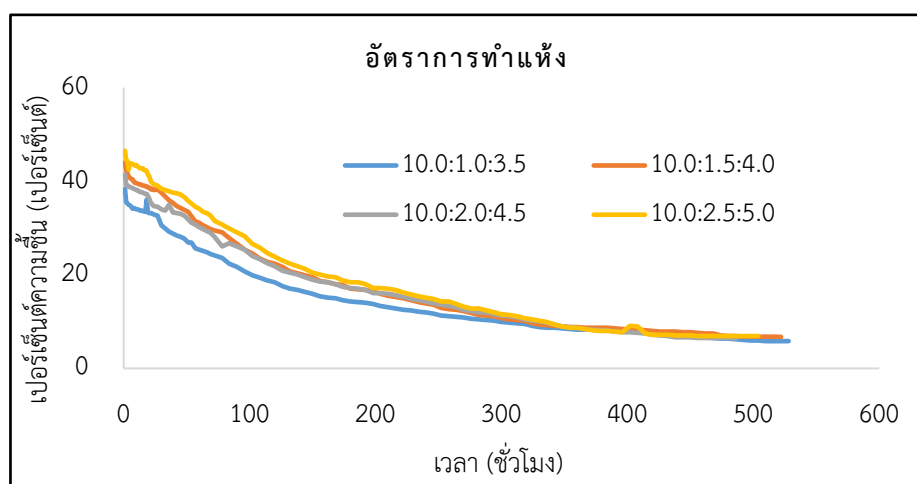
ตารางที่ 2 ผลการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	ผลการขึ้นรูป
10.0:1.0:3.5	สามารถขึ้นรูปได้
10.0:1.5:4.0	สามารถขึ้นรูปได้
10.0:2.0:4.5	สามารถขึ้นรูปได้
10.0:2.5:5.0	สามารถขึ้นรูปได้
10.0:3.0:5.5	ไม่สามารถขึ้นรูปได้

จากตารางที่ 2 พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:3.0:5.5 ขึ้นรูปไม่ได้เนื่องจากมีอัตราส่วนของน้ำมากทำให้มีลักษณะเหลว ขึ้นรูปไม่ได้ตามแบบพิมพ์ และถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5, 10.0:2.5:5.0 สามารถขึ้นรูปได้ตามแบบพิมพ์จึงนำไปศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่งต่อไป

การศึกษากระบวนการทำแห้งของถ่านอัดแท่ง

จากการศึกษาอัตราการทำแห้งของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัดแท่งนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปผึ่งในที่ร่ม ซึ่งมีผลทุก ๆ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิแวดล้อมปกติ (ไม่มีฝน) จนกว่ามวลของถ่านอัดแท่งคงที่ เพื่อทราบปริมาณความชื้น และระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง พบว่าเวลาเป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการทำแห้ง

การศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง

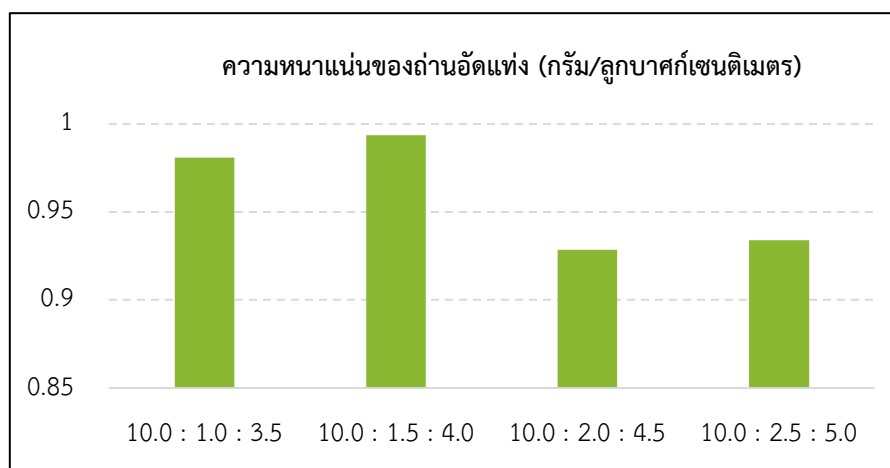
ความหนาแน่น

การศึกษาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง โดยการวัดมวลจากการชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล หาปริมาตรของถ่านโดยการแทนที่ทรายออกดิวา และคำนวณหาความหนาแน่น ได้ผลการทดสอบความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนผสม

อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
10.0:1.0:3.5	0.98093±0.000272 ^c
10.0:1.5:4.0	0.99362±0.000214 ^d
10.0:2.0:4.5	0.92860±0.000036 ^a
10.0:2.5:5.0	0.93387±0.000067 ^b

หมายเหตุ: ^{a b c d} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 5 ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งของแต่ละอัตราส่วนผสม

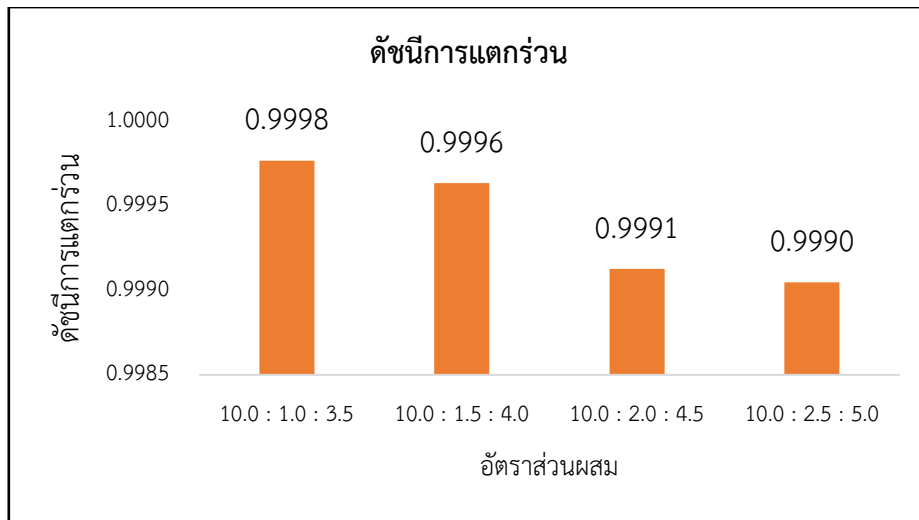
ดัชนีการแตกร่วน

การศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งเพื่อหาความคงทนของถ่านอัดแท่งซึ่งเป็นวิธี ทดสอบดัดแปลงจาก ASTM D440-86 โดยการเปรียบเทียบมวลของถ่านก่อนกระแทกกับมวลของ ถ่านที่สามารถคงรูปได้หลังกระแทก จากนั้นหาค่าดัชนีการแตกร่วน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	ดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง
10.0:1.0:3.5	0.9998±0.00006 ^b
10.0:1.5:4.0	0.9996±0.00005 ^b
10.0:2.0:4.5	0.9991±0.00008 ^a
10.0:2.5:5.0	0.9990±0.00027 ^a

หมายเหตุ: ^{a b c d} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 6 ดัชนีการแทรก่วนของถ่านอัดแท่ง

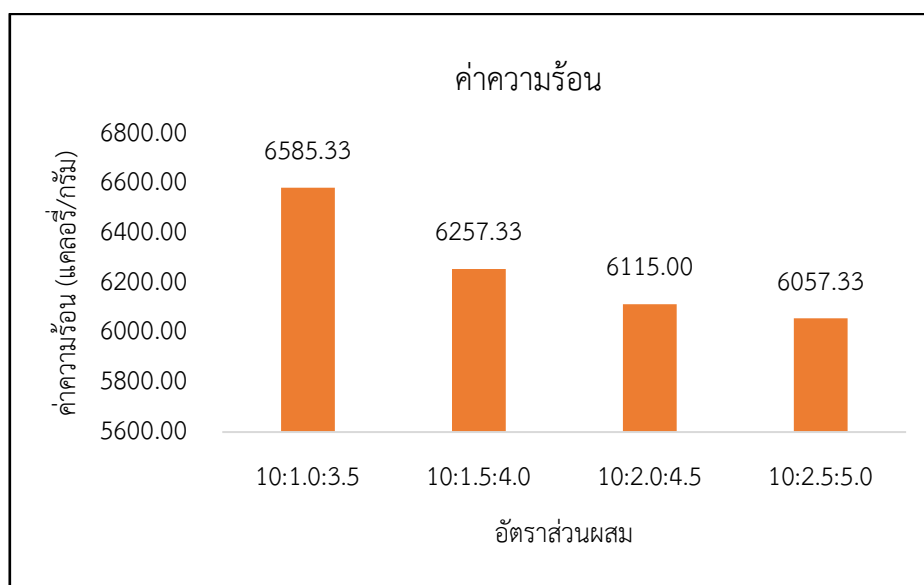
ค่าความร้อน

การศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง ตามมาตรฐาน ASTM D3286 โดยนำถ่านอัดแท่งทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และวิเคราะห์หาค่าความร้อน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5 และรูปที่ 7

ตารางที่ 5 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
10.0:1.0:3.5	6585.33±8.386 ^d
10.0:1.5:4.0	6257.33±8.327 ^c
10.0:2.0:4.5	6115.00±2.646 ^b
10.0:2.5:5.0	6057.33±9.504 ^a

หมายเหตุ: ^{a b c d} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับความแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



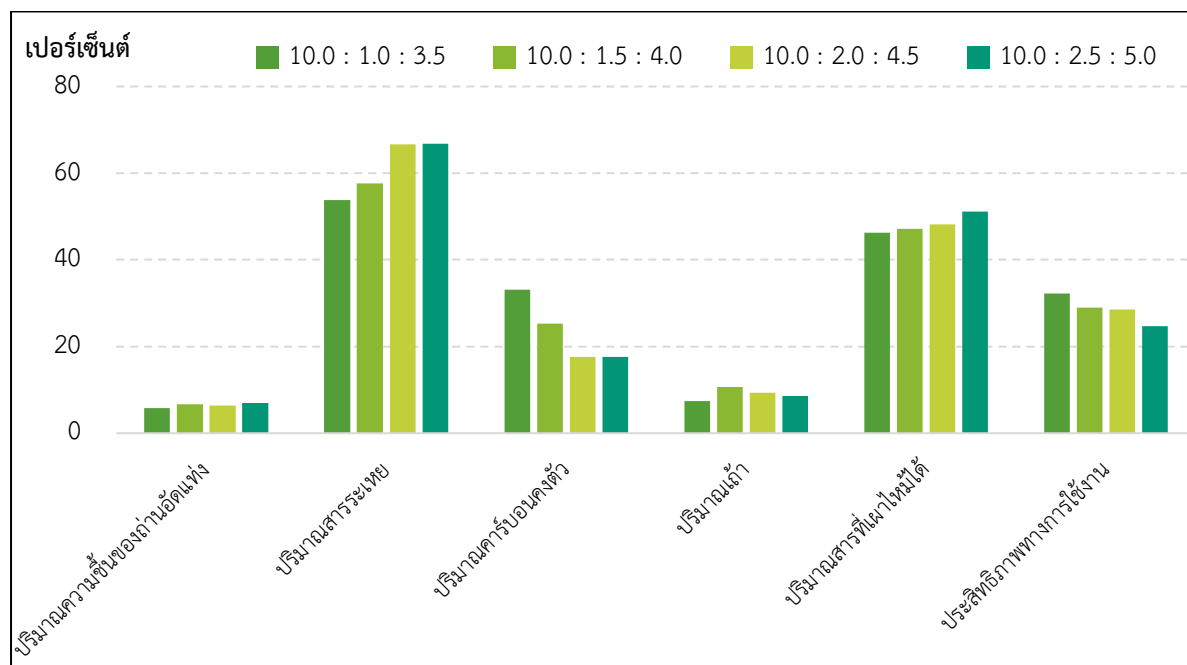
รูปที่ 7 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์รวมด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์รวมด้านต่าง ๆ

อัตราส่วนของผงถ่านต่อ น้ำมัน (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	ปริมาณความชื้น ของถ่านอัดแท่ง (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณสารระเหย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ คาร์บอนคงตัว (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณสาร ที่เผาไหม้ได้ (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิภาพ ทางการใช้งาน (เปอร์เซ็นต์)
10.0:1.0:3.5	5.84±0.029 ^a	53.84±3.567 ^a	33.19±3.969 ^b	7.36±0.431 ^a	46.29±5.071 ^a	32.263
10.0:1.5:4.0	6.73±0.392 ^c	57.71±5.630 ^a	25.26±6.212 ^{ab}	10.61±1.016 ^c	47.17±3.503 ^a	29.001
10.0:2.0:4.5	6.44±0.187 ^b	66.60±4.251 ^b	17.67±4.363 ^a	9.35±0.175 ^{bc}	48.24±1.687 ^a	28.476
10.0:2.5:5.0	6.92±0.194 ^c	66.77±4.315 ^b	17.57±4.778 ^a	8.55±0.412 ^b	51.15±0.954 ^a	24.695

หมายเหตุ: เกณฑ์มาตรฐาน มพช. 238/2547 ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8

a b c d ตัวเลขที่มีอักษรกำกับกับความแตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 8 ผลวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งโดยรวม

การเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน

การศึกษาการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควันจากการจุดตัวอย่างถ่านอัดแท่งของแต่ละอัตราส่วนผสมแล้วตรวจพินิจตามการทดสอบของมาตรฐาน มพช. 238/2547 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควันของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	สะเก็ดไฟ	ควัน
10.0:1.0:3.5	ไม่มี	ไม่มี
10.0:1.5:4.0	ไม่มี	ไม่มี
10.0:2.0:4.5	ไม่มี	ไม่มี
10.0:2.5:5.0	ไม่มี	ไม่มี

ผลการเปรียบเทียบสมบัติของถ่านอัดแท่งกับมาตรฐาน มผช. 238/2547

จากการทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง ผู้วิจัยได้นำผลการทดสอบในบางส่วนที่ตรงกับคุณลักษณะที่ต้องการของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่เกี่ยวกับการผลิตถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น การเกิดควัน และสะเก็ดไฟ ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพกับมาตรฐาน มผช. 238/2547

อัตราส่วนของผงถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (กิโลกรัม:กิโลกรัม:ลิตร)	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	การเกิดสะเก็ดไฟ	การเกิดควัน
10.0:1.0:3.5	6585.33	5.84	ผ่าน	ผ่าน
10.0:1.5:4.0	6257.33	6.73	ผ่าน	ผ่าน
10.0:2.0:4.5	6115.00	6.44	ผ่าน	ผ่าน
10.0:2.5:5.0	6057.33	6.92	ผ่าน	ผ่าน
มาตรฐาน มผช. 238/2547	≥5,000	<8	ไม่มี	ไม่มี

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนมีสมบัติของถ่านอัดแท่งแตกต่างกัน ซึ่งในการวิจัยสามารถอภิปรายตามหัวข้อได้ดังนี้

การศึกษ้อัตราการทำแห้งของถ่านอัดแท่ง ดังภาพที่ 4 พบว่า ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งมีค่าลดลงตามเวลา และจากการวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่ออัตราการแห้งของถ่านอัดแท่ง ซึ่งสอดคล้องกับ จูฬรัตน์ (2554) โดยเวลาที่ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้านความชื้น คือ 402, 420, 390 และ 390 ชั่วโมง หลังตาก ตามลำดับ

การศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 5 พบว่า ถ่านอัดแท่งมีค่าความหนาแน่นน้อยลง เมื่อสัดส่วนของตัวประสานที่ประกอบด้วยอัตราส่วนของ น้ำและแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทำให้มวลรวมของถ่านอัดแท่งมีค่าน้อย ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสม 10.0:1.5:4.0 และถ่านอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสม 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 เพราะผงถ่านเป็นคาร์บอนซึ่งมี

ลักษณะโครงสร้างเป็นเหลี่ยมทำให้เมื่อเข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูปจะมีช่องว่างระหว่างอนุภาค ทำให้ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งไม่เสถียร

การศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 6 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีดัชนีการแตกร่วนมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5 เพราะในอัตราส่วนผสมนี้มีปริมาณตัวประสานน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ เมื่อเทียบกับปริมาณตัวประสาน ทำให้ผงถ่านจับกันได้ไม่ดี จึงทำให้ดัชนีการแตกร่วนมีค่ามากที่สุด แสดงให้เห็นว่า ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสมนี้มีความคงทนของถ่านอัดแท่งน้อยที่สุด เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.50-1.00 แสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เนื่องจากดัชนีการแตกร่วนที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า มีการจับตัวกันอย่างดี ทำให้มีการแตกร่วนน้อยที่สุด ซึ่งอัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 โดยแนวโน้มของดัชนีการแตกร่วนมีค่าลดลงตามสัดส่วนของตัวประสานที่เพิ่มขึ้นโดยสัดส่วนของปริมาณผงถ่านคงที่

การศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 7 พบว่า ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวประสานลดลง ซึ่งถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5 คือ 6585.33 ± 8.386 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและถ่านเห้งไม้สำหรับปาล์ม (รุ่งโรจน์, 2553) เพราะเป็นอัตราส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุด จึงมีการสูญเสียความร้อนระหว่างการเผาไหม้น้อย และอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุด คือ 10.0:2.5:5.0 เพราะเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณตัวประสานมากที่สุด ปริมาณความชื้นมากที่สุด ทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง จึงทำให้ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนผสมนี้ให้ค่าความร้อนน้อยที่สุด โดยจากการศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสม ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ในด้านค่าความร้อนคือต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

การศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งหลังการทำแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนของตัวประสานลดลง เนื่องจากสัดส่วนของตัวประสานที่ลดลง จึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นน้อยลง ซึ่งอัตราส่วนที่มีความชื้นมากที่สุด คือ 10.0:2.5:5.0 เนื่องจาก มีปริมาณตัวประสานมากจึงส่งผลให้ความชื้นมากไปด้วย และอัตราส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุด คือ 10.0:1.0:3.5 โดยจากการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ด้านความชื้นคือ ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

การศึกษาปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณของสารระเหยมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากทุกอัตราส่วนผสมมีส่วนผสมตัวประสานในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน ซึ่งสารระเหยที่ได้จากการเผาไหม้จะกลายเป็นควันได้ หากมีปริมาณสารระเหยได้สูงจะทำให้คุณสมบัติในการติดไฟง่ายและมีควันมาก เมื่อนำไปใช้งานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกลักษณ์ (2556) อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณสารระเหยน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากตัวประสานมีสัดส่วนต่อปริมาณผงถ่านที่น้อยที่สุด

การศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ 10.0:1.0:3.5 และอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดคือ 10.0:2.5:5.0 ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัว สามารถบ่งบอกได้ถึงระยะเวลาในการมอดดับ และคุณภาพของถ่านอัดแท่ง โดยถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง จะทำให้ถ่านอัดแท่งมีคุณภาพดี เผาไหม้ได้นาน และมีค่าความร้อนสูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกลักษณ์ (2556) อัตราส่วนที่มีตัวประสานมากจะมีค่าคาร์บอนคงตัวน้อย และอัตราส่วนที่มีตัวประสานน้อยจะมีค่าคาร์บอนคงตัวมาก

การศึกษาปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งมีแนวโน้มของปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของผงถ่านที่เพิ่มขึ้น โดยถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด คือ 10.0:1.0:3.5 เนื่องจากส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ของถ่านอัดแท่งนั้นได้มาจากตัวประสานเมื่อปริมาณตัวประสานมากขึ้น ปริมาณเถ้ามากขึ้น ซึ่งปริมาณเถ้าจะแปรผกผันกับปริมาณตัวประสานของถ่านอัดแท่ง ปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ของถ่านอัดแท่ง ซึ่งปริมาณเถ้าเป็น

ตัวบ่งบอกคุณภาพของถ่านอัดแท่ง แต่อัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 มีปริมาณปริมาณเถ้ามากกว่าอัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 เป็นประเด็นที่ควรศึกษาวิเคราะห์ต่อไป

การศึกษาปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของตัวประมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของตัวประมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้การยึดเกาะของถ่านอัดแท่งมากขึ้น ซึ่งปริมาณสารที่เผาไหม้ได้นั้น บ่งบอกถึงองค์ประกอบโดยรวมของถ่านอัดแท่งในส่วนที่เผาไหม้ได้ ประกอบไปด้วย ความชื้น สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ดังนั้นปริมาณสารที่เผาไหม้ได้จะมากขึ้นหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสัดส่วนของผงถ่านและตัวประมาณ ซึ่งพบว่าอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีค่าปริมาณการเผาไหม้ได้น้อยและอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เผาไหม้ได้มากที่สุด คือ 10:2.5:5.0

การศึกษาประสิทธิภาพทางการใช้งานของถ่านอัดแท่ง ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพทางการใช้งานมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5 เพราะในอัตราส่วนนี้เป็นถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณตัวประมาณน้อย ส่งผลทำให้ ปริมาณคาร์บอนคงตัวมาก ค่าความร้อนสูง จึงมีประสิทธิภาพทางการเผาไหม้และให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ดีที่สุด และถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพทางการใช้งานน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 10.0:2.5:5.0 เพราะในอัตราส่วนนี้เป็นถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณผงถ่านน้อย ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อย ค่าความร้อนต่ำ ค่าความร้อนจากการเผาไหม้น้อย จะเห็นว่าถ่านอัดแท่งที่ดีนั้นนอกจากจะเป็นถ่านอัดแท่งที่ได้มาตรฐาน จะต้องมียุทธศาสตร์ทางการใช้งานที่ดีด้วย โดยเฉพาะการให้ประสิทธิภาพทางการใช้งาน ดังนั้นพบว่า อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง โดยพบว่าเมื่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณถ่านเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้นด้วย

การศึกษาการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน ดังตารางที่ 7 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่ไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ถ่านอัดแท่งที่ผ่านมาตรฐาน มผช. 238/2547 ด้านการไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0

การเปรียบเทียบถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่กับมาตรฐาน มผช. 238/2547 ดังตารางที่ 8 พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผ่านมาตรฐาน มผช. 238/2547 ด้านความชื้น ด้านค่าความร้อน ด้านความคงทน การไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 จะเห็นว่า ถ่านอัดแท่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 ทั้ง 4 โดยอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณผงถ่านร้อยละ 90 ปริมาณตัวประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากตัวประมาณที่น้อยส่งผลให้ค่าคาร์บอนคงตัว ค่าความร้อนมากที่สุด ค่าปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพทางการใช้งานดีที่สุด จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและนำไปใช้งานในส่วนครัวเรือน และพัฒนาไปถึงภาคอุตสาหกรรมต่อไป

บทสรุป

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ พบว่า อัตราส่วนผสม ของถ่านอัดแท่งที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติของถ่านอัดแท่งแตกต่างกัน ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุป ได้ ดังนี้

ในการศึกษาสมบัติของถ่านอัดแท่ง 5 อัตราส่วน โดยผู้วิจัยทำการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งตัวอย่าง ตามขั้นตอนที่เตรียมไว้ และผลการขึ้นรูปพบว่า อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 สามารถขึ้นรูปได้ อัตราส่วน 10.0 :3.0:5.5 ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ผลการศึกษาอัตราการทำแห้งของถ่านอัดแท่ง พบว่า ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งมีค่าลดลงตามเวลา โดยมีอัตราความชื้น 5.84, 6.73, 6.44 และ 6.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ

ความชื้นกับเวลา พบว่าหลังการทำให้แห้ง ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 โดยเวลาที่ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสาน 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. ด้านความชื้น คือ 402, 420, 390 และ 390 ชั่วโมง หลังผึ่งในที่ร่มตามลำดับ

ผลการศึกษาความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานถ่านอัดแท่งที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.99 ± 0.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.93 ± 0.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ผลการศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งเพื่อหาความคงทนของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีดัชนีการแตกร่วนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.9998 ± 0.00006 และถ่านอัดแท่งที่มีดัชนีการแตกร่วนน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.9990 ± 0.00027

ผลการศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งเพื่อหาปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 ให้ค่าความร้อน 6585.33 ± 8.386 แคลอรีต่อกรัม ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุดคืออัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 ให้ค่าความร้อน 6057.33 ± 9.504 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งจากถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมเหล่านี้พบว่า อัตราส่วนผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547

ผลการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.92 ± 0.194 และอัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.84 ± 0.029 ซึ่งถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสมแต่ละอัตราส่วนมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการศึกษาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนผสม พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547

ผลการศึกษาปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณสารระเหย 53.84 ± 3.567 , 57.71 ± 5.630 , 66.60 ± 4.251 และ 66.77 ± 4.315 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารระเหยของแต่ละอัตราส่วนความแตกต่างกัน โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานในอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณคาร์บอนคงตัว 33.19 ± 3.969 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.57 ± 4.778 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาปริมาณเถ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบของถ่านอัดแท่งที่เผาไหม้ไม่ได้ พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 มีปริมาณเถ้า 10.61 ± 1.016 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีปริมาณเถ้า 8.55 ± 0.412 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ เพื่อหาปริมาณของสารที่เผาไหม้ได้ของถ่านอัดแท่ง โดยส่วนของสารที่เผาไหม้ได้นั้นประกอบด้วย สารระเหย และคาร์บอนคงตัว จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวส่วนผสมที่มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มากที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ 51.15 ± 0.954 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวส่วนผสมที่มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้น้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ 46.29 ± 5.071 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งาน ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุดคือ อัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 มีประสิทธิภาพการใช้งาน 32.263 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนผสมระหว่างผงถ่านต่อตัวประสานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 10.0:2.5:5.0 มีประสิทธิภาพการใช้งาน 24.695 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาการเกิดสะเก็ดไฟและการเกิดควัน พบว่า ถ่านอัดแท่งที่ไม่เกิดควันและสะเก็ดไฟ คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0

ผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มผช. 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 238/2547 คือ อัตราส่วนผสม 10.0:1.0:3.5, 10.0:1.5:4.0, 10.0:2.0:4.5 และ 10.0:2.5:5.0 โดยอัตราส่วน 10.0:1.0:3.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่ เพราะ มีอัตราส่วนของตัวประสานที่น้อย ทำให้มีค่าความร้อนสูง ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวมาก ค่าปริมาณเถ้าต่ำ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- จุฬารัตน์ ชาวกำแพง. (2554). การศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมในครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชุติมาภรณ์ อินตา, ธนพล เจาะดี และอรุณา บุราคร. (2561). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงถ่านจากหญ้าเนเปียร์กับตัวประสานในการผลิตถ่านอัดแท่ง. รายงานการวิจัยครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. (2553). การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). รายชื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ประกาศใช้. ค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564. http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.Pdf
- เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร. (2556). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เอทานอลและซีเมนต์. วารสารวิจัยพลังงาน. 10(3): 9-17.

Received: September 24, 2022; Revised: October 26, 2022; Accepted: October 31, 2022

การขยายพันธุ์บอนสีด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

Propagation of *Caladium bicolor* (Aiton) Vent. by plant tissue culture techniqueขวัญเดือน รัตนา^{1*} ธิดารัตน์ ผ่องแผ้ว¹ วิทิดา สิงห์เชื้อ¹ ขจรพงศ์ ดาศรี¹ และศุภาวีร์ แสงจันทร์จิระเดช¹Khwanduean Rattana^{1*}, Thidarat Phongphaew¹, Witida Singchue¹,Kajohnpong Dasri¹ and Supavee Sangchanjiradet¹¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี^{*}Corresponding Author E-mail Address: Khwanduean.r@ubru.ac.th

บทคัดย่อ

บอนสีเป็นไม้ประดับที่มีมูลค่าและนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใบมีความสวยงาม มีสีสันและรูปร่างที่หลากหลาย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขยายพันธุ์บอนสีด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยการนำชิ้นส่วนใบอ่อนเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 0, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 มก./ล. เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติม BA 1.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1.0 มก./ล. ชักนำให้มีจำนวนต้นสูงสุด 9.9 ต้น และอาหารสูตร MS มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด 44.1 ใบ จากนั้นย้ายต้นอ่อนและแคลลัสมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นเวลา 1 เดือน จึงย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA และ Kinetin เข้มข้น 0, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มก./ล. และน้ำมะพร้าวเข้มข้น 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ นาน 8 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% สามารถชักนำให้แคลลัสเจริญเป็นต้นสูงสุด 4.4 ต้น และจำนวนใบสูงสุด 9.8 ใบ และจากการย้ายต้นอ่อนไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA 3.0 หรือ 5.0 มก./ล. หรือน้ำมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สามารถชักนำให้มีจำนวนต้นเฉลี่ยสูงสุด 2.7 ต้น และอาหารสูตร MS ที่เติม BA 5.0 มก./ล. พบจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด 16 ใบ จากการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 มก./ล. นาน 8 สัปดาห์ พบว่า อาหารสูตร MS มีร้อยละการเกิดรากสูงสุด 87.5 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่เติม NAA 0.5 มก./ล. มีจำนวนรากสูงสุด 17.8 ราก จากนั้นย้ายต้นอ่อนบอนสีออกปลูกในสภาพธรรมชาติเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า บอนสีมีร้อยละการรอดชีวิต 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: บอนสี การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช สารควบคุมการเจริญเติบโต

Abstract

Caladium bicolor (Aiton) Vent. is a valuable and widely planted ornamental plant because of variation in eccentric colors and shapes of leaves. This study aimed to micropropagation of *C. bicolor*. The young leaves segments from shoot were cultured on MS supplemented with 0, 1.0, 3.0, 5.0 and 7.0 mg/l BA in combination with 0, 0.5 and 1.0 mg/l NAA, cultured for 12 weeks. The results showed that MS medium supplemented with 0.1 mg/l BA combined with 0.1 mg/l NAA induced the most average number of shoots (9.9 shoots). MS medium without plant growth regulators showed the highest average number of leave (44.1 leaves). Callus and shoots were then cultured on MS without plant growth regulators for 1 month before transferred to MS medium supplemented with 0, 1.0, 3.0, 5.0 and 7.0 mg/l BA and Kinetin and 10, 15 and 20% coconut water, all treatment were then cultured for 8 weeks. The results showed that MS medium containing 10% coconut water was the best shoot multiplication and gave the highest average number of shoots (4.4 shoots) and leaves (9.8 leaves). Shoots from the first experiment were then transferred to the same treatments, it was found that MS medium added with 3 or 5 mg/l BA or 10% coconut water can induce the highest average number of leaves (16 leaves). Seedlings were transferred to MS medium supplemented with 0, 0.5, 1.0 and 2.0 mg/l NAA for root induction and cultured for 8 weeks. It was observed that MS medium without plant growth regulators can induce the highest percentage of root induction (87.5%) and MS medium supplemented with NAA 0.5 mg/l can induce the highest average number of root (17.8 roots/shoot). All healthy regenerated shoots and roots were then transplanted on plastic pots observed for 4 weeks. It was found that the highest survival rate of plantlets observed was 80%.

Keywords: *Caladium bicolor* (Aiton) Vent, Plant tissue culture, Plant growth regulators

บทนำ

บอนสี (*Caladium bicolor* (Aiton) Vent.) เป็นไม้ประดับที่มีรูปทรงของใบ และสีอันสวยงามแปลกตาจนได้ชื่อว่าเป็น “ราชินีแห่งไม้ใบ” จัดอยู่ในวงศ์ Araceae สกุล *Caladium* (สมาคมบอนสีแห่งประเทศไทย, 2552) บอนสีเป็นไม้ประเภทล้มลุกมีลำต้นใต้ดินเป็นหัวแบบมันฝรั่ง (Tuber) สามารถนำมาใช้ในการขยายพันธุ์ได้ และยังเป็นแหล่งสะสมอาหารในช่วงหน้าแล้ง มีรากเป็นรากฝอย แทงออกมาระหว่างหัวกับลำต้น ใบมีหลากหลายรูปแบบทั้งแบบคล้ายรูปหัวใจ บางพันธุ์มีลักษณะยาว กลม แหลม เป็นต้น ดอกสมบูรณ์เพศ ผลลักษณะคล้ายน้อยหน่าภายในมีเมล็ดจำนวนมาก และปกติบอนสีจะมีการพักตัวในฤดูหนาวโดยจะทิ้งใบจนหมดและเริ่มผลิใบเจริญเติบโตอีกครั้งในฤดูฝน (อรรพรรณ, 2548) ด้วยลักษณะที่มีความหลากหลายของบอนสี ทำให้ปัจจุบันมีผู้นิยมปลูกบอนสีเป็นไม้ประดับกันอย่างกว้างขวาง โดยเกษตรกรไทยได้มีการปลูกบอนสีเชิงการค้าโดยจำหน่ายเป็นไม้กระถางมานานแล้วและขยายการปลูกเป็นแปลงผลิตหัวพันธุ์เพื่อการส่งออกในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเนื่องจากความต้องการของตลาดไม้ประดับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก แต่การผลิตบอนสีเพื่อการส่งออกยังอยู่ในวงจำกัด และไม่สามารถผลิตบอนสีสายพันธุ์ต่าง ๆ ตามปริมาณที่ตลาดโลกต้องการได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการขยายพันธุ์บอนสี จะนิยมใช้ส่วนหัว แต่จะมีข้อจำกัดด้านปริมาณของหัวมีไม่เพียงพอต่อการขยายพันธุ์หรือความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ส่วนเมล็ดในการขยายพันธุ์ แต่เนื่องจากเมล็ดมีขนาดเล็กมาก และมีโอกาสรอดชีวิตต่ำ (Seydi et al., 2016) ในขณะเดียวกัน

เกษตรกรผู้ปลูกบอนสีเพื่อการค้ามักจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับความเสียหายของใบ การเกิดบาดแผล การเหี่ยวและโรคแมลง เช่น โรคโคนเน่า โรคใบไหม้เป็นจุด ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญทำให้ไม่สามารถส่งออกได้ตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 โดยพืชที่ส่งออกได้ต้องได้รับการตรวจและมีใบรับรองว่าปลอดโรคแล้ว (รุ่งนิรันดร์, 2550) ดังนั้นการขยายพันธุ์ในธรรมชาติแต่เพียงอย่างเดียวจึงอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการในการปลูกบอนสีที่เพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันจึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาใช้ในการเพิ่มปริมาณต้นพืชเพื่อการขยายพันธุ์บอนสีที่ปลอดจากโรคและแมลงต่าง ๆ เนื่องด้วยเทคนิคการขยายพันธุ์พืชด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีประสิทธิภาพสูง ให้ผลผลิตจำนวนมาก มีคุณภาพ ใช้เวลาน้อยมีเปอร์เซ็นต์การกลายพันธุ์ต่ำ และได้พืชที่ปราศจากโรค (บุญยืน, 2544)

การขยายพันธุ์บอนสีด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการขยายพันธุ์ต้นบอนสีให้ได้ต้นจำนวนมาก และปลอดจากโรคและแมลง เนื่องจากเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นวิธีการในการนำเอาชิ้นส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ยอดก้านใบ ใบ เป็นต้น มาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสงและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งผลให้ชิ้นส่วนเหล่านั้นพัฒนาเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ได้ โดยส่วนประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนอกจากจะประกอบด้วยธาตุอาหารและแหล่งคาร์บอนที่พืชนำไปใช้แล้ว ในบางครั้งอาจต้องเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชลงในอาหารเพาะเลี้ยง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ที่นิยมใช้ ได้แก่ ออกซิน เช่น 1-Naphthylacetic acid (NAA) และ 2,4-Dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D) และ ไซโทไคนิน เช่น 6-Benzylaminopurine (BA) และ 6-Furfurylaminopurine (Kinetin) สารส่งเสริมการเจริญเติบโตเหล่านี้จะมีผลทำให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น ดังรายงานของ นูรุลฮูดา และคณะ (2560) ศึกษาผลของไซโทไคนินและความเข้มข้นของ BA ต่อการเกิดยอดและจำนวนยอดของบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า ชิ้นส่วนบอนสีที่สามารถชักนำให้เกิดยอดใหม่ได้ดีที่สุดคือ ส่วนปลายยอด และพบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5 มก./ล. สามารถชักนำให้มีร้อยละการสร้างยอดและจำนวนยอดสูงสุด และการศึกษาของ Seydi et al. (2016) เพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบบอนสีบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA และ BA ความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มปริมาณต้นบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ โดยลักษณะการสร้างแคลลัสจะขึ้นบริเวณขอบของแผ่นใบ สูตรอาหารที่ชักนำให้เกิดแคลลัสที่ดีที่สุดคือ BAP 4 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล. และพบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BAP 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล. สามารถชักนำให้มีจำนวนต้นสูงสุด และรายงานของ Ali et al. (2022) ศึกษาการขยายพันธุ์บอนสีในสภาพปลอดเชื้อพบว่า สามารถชักนำบอนสีให้เกิดต้น ความยาวต้น และจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดได้เมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA หรือ Kinetin เข้มข้น 2.0 มก./ล. และ NAA เข้มข้น 0.5 มก./ล.

ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณต้นบอนสีผลของ NAA ต่อการชักนำให้เกิดรากของบอนสี รวมถึงเพื่อการย้ายต้นอ่อนบอนสีออกปลูกในกระถาง เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการขยายพันธุ์ต้นบอนสีให้ได้จำนวนมากเพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. พืชที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างบอนสี (*Caladium bicolor* (Aiton) Vent.) (บอนสีลูกไม้) จากร้านค้าในตลาดไม้ดอกไม้ประดับไม้สะสม วัดแจ้ง อุดรราชธานี จังหวัดอุดรราชธานี

2. การศึกษาอิทธิพลของ BA ร่วมกับ NAA ต่อการขยายพันธุ์บอนสีในสภาพปลอดเชื้อ

นำใบอ่อนที่ยังไม่คลี่ของบอนสี มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน ตามด้วยน้ำไหลผ่านเป็นเวลา 5 นาที และย้ายใบอ่อนไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายคลอโรกซ์ (Clorox®) เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่เติม Tween 2-3 หยด เป็นเวลา 10 และ 5 นาที ตามลำดับ แล้วล้างชิ้นส่วนใบด้วย

น้ำกลั่นหนึ่งขวด เชื้อ 3 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที ตัดใบอ่อนให้มีขนาด 0.5x0.5 ซม. วางบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติม 6-Benzyladenine (BA) เข้มข้น 0, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มก./ล. ร่วมกับ 1-Naphthalene acetic acid (NAA) เข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 มก./ล. จำนวน 15 ทริทเมนต์ (ทริทเมนต์ 1 ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต; ทริทเมนต์ 2 BA 1.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 3 BA 3.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 4 BA 5.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 5 BA 7.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 6 NAA 0.5 มก./ล.; ทริทเมนต์ 7 BA 1.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล.; ทริทเมนต์ 8 BA 3.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล.; ทริทเมนต์ 9 BA 5.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล.; ทริทเมนต์ 10 BA 7.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล.; ทริทเมนต์ 11 NAA 1.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 12 BA 1.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 13 BA 3.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 14 BA 5.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1.0 มก./ล.; ทริทเมนต์ 15 BA 7.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1.0 มก./ล.) โดยทำการทดลองทริทเมนต์ละ 12 ข้ำ ข้ำละ 2 ชั้นส่วน จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ที่มีอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส และความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ โดยให้แสง 16 ชม./วัน เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ บันทึกการเจริญเติบโต จำนวนต้น และจำนวนใบ

3. การศึกษาอิทธิพลของไซโทไคนินต่อการเพิ่มปริมาณต้นบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ

ย้ายชิ้นส่วนแคลลัส และต้นอ่อนที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยตัดแคลลัสให้มีขนาด 0.5x0.5 ซม. และตัดแยกต้นอ่อนออกจากแคลลัส ไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 1 เดือน จากนั้นจึงย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญชนิดไซโทไคนินได้แก่ BA หรือ 6-Furfuryl aminopurine (Kinetin) เข้มข้น 0, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มก./ล. หรือน้ำมะพร้าวเข้มข้น 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 12 ทริทเมนต์ ทำการทดลองทริทเมนต์ละ 12 ข้ำ ข้ำละ 2 ชั้นส่วน จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ที่มีอุณหภูมิ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ซึ่งได้รับแสง 16 ชม./วัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกการเจริญเติบโต จำนวนต้น และจำนวนใบ

4. การศึกษาอิทธิพลของ NAA ต่อการชักนำให้เกิดรากของบอนสี

นำต้นอ่อนที่สมบูรณ์ที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญชนิด NAA เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 มก./ล. จำนวน 4 ทริทเมนต์ ทำการทดลองทริทเมนต์ละ 10 ข้ำ ข้ำละ 2 ชั้นส่วน จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ที่มีอุณหภูมิ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ โดยให้ได้รับแสง 16 ชม./วัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกการเกิดราก และจำนวนราก

5. การศึกษาย้ายต้นอ่อนบอนสีออกปลูกในสภาพธรรมชาติ

คัดเลือกต้นบอนสีที่มีใบ และรากสมบูรณ์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจำนวน 50 ต้น โดยนำขวดเพาะเลี้ยงมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกเพื่อปรับสภาพก่อนย้ายปลูกเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำต้นอ่อนออกจากขวดเพาะเลี้ยง และล้างวันให้สะอาด และแช่ในสารป้องกันเชื้อราและแบคทีเรีย (ออโรไซด์™ 5 ก./ล.) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อป้องกันโรคต้นเน่า แล้วปลูกในถุงพลาสติกดำขนาด 8x12.5 เซนติเมตร ที่มีวัสดุปลูก ได้แก่ ดินปลูก:ใบก้ามปูหมัก ในอัตราส่วน 2:1 รดน้ำให้ชุ่ม และอนุบาลในแก้วพลาสติกที่ปิดฝาเพื่อรักษาความชื้นเป็นเวลา 1 เดือน จากนั้นจึงย้ายปลูกในสภาพโรงเรือน รดน้ำอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง บันทึกการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของบอนสีในสภาพโรงเรือน หลังย้ายปลูกเป็นเวลา 4, 6 และ 12 สัปดาห์

6. การวางแผนการทดลอง และสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1. อิทธิพลของ BA ร่วมกับ NAA ต่อการขยายพันธุ์บอนสีในสภาพปลอดเชื้อ

จากการเพาะเลี้ยงใบอ่อนบอนสี บนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5 และ 7 มก./ล. ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1 มก./ล. จำนวน 15 ทริทเมนต์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า อาหารทุกสูตรสามารถชักนำให้ใบอ่อนเจริญเป็นต้นได้ และพบการเกิดแคลลัสชนิดเกาะกันแน่น (Compact callus) มีสีเขียวเข้มเจริญร่วมด้วย (รูปที่ 1ก) นอกจากนี้พบว่า อาหารทุกสูตรมีจำนวนต้นเฉลี่ย และจำนวนใบเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยสูตรอาหารที่เติม BA เข้มข้น 1.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA เข้มข้น 1.0 มก./ล. สามารถชักนำให้มีจำนวนต้นเฉลี่ยมากที่สุด 9.9 ต้น (รูปที่ 1ข) ส่วนอาหารสูตร MS ที่ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต พบว่าสามารถชักนำให้มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด 44.1 ใบ (รูปที่ 1ค)

ตารางที่ 1 จำนวนต้นและใบเฉลี่ยของบอนสีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงใบอ่อนบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ร่วมกับ NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ทริทเมนต์	สารควบคุมการเจริญเติบโต		จำนวนต้นเฉลี่ย (ต้น) ±S.E.	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ) ±S.E.
	BA (มก./ล.)	NAA (มก./ล.)		
Tr1	-	-	8.1±3.758 ^{abc}	44.1±21.236 ^a
Tr2	1.0	-	6.0±5.339 ^{abc}	24.4±0.562 ^{abcde}
Tr3	3.0	-	8.5±2.204 ^{abc}	39.5±9.783 ^{ab}
Tr4	5.0	-	7.0±4.123 ^{abc}	31.7±20.188 ^{abc}
Tr5	7.0	-	4.5±3.338 ^{bc}	15.1±12.541 ^{cde}
Tr6	-	0.5	6.8±4.341 ^{abc}	25.9±14.761 ^{abcd}
Tr7	1.0	0.5	7.3±3.464 ^{abc}	26.6±12.690 ^{abcd}
Tr8	3.0	0.5	9.4±4.926 ^{ab}	26.8±11.805 ^{abcd}
Tr9	5.0	0.5	9.6±4.447 ^{ab}	33.2±13.809 ^{abc}
Tr10	7.0	0.5	9.1±4.845 ^{ab}	34.9±20.708 ^{abc}
Tr11	-	1.0	7.9±5.862 ^{abc}	30.3±21.806 ^{abcd}
Tr12	1.0	1.0	9.9±4.880 ^a	31.4±20.165 ^{abc}
Tr13	3.0	1.0	5.8±2.160 ^{abc}	11.3±1.506 ^{de}
Tr14	5.0	1.0	3.6±3.912 ^c	6.4±7.701 ^e
Tr15	7.0	1.0	7.7±3.802 ^{abc}	24.0±16.573 ^{bcde}
F-test			*	*

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$); * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 1 อิทธิพลของ BA ร่วมกับ NAA ต่อการขยายพันธุ์บอนสีในสภาพปลอดเชื้อ (ก) ลักษณะการเจริญเติบโตเป็นแคลลัสและต้นอ่อนจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบอ่อน (ข) การเกิดต้นจำนวนมากเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS อาหารที่เติม BA เข้มข้น 1.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA เข้มข้น 1.0 มก./ล. (ค) ลักษณะของต้นบอนสีที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต (สเกลบาร์ = 1 ซม.)

2. ผลของไซโทไคนินต่อการเพิ่มปริมาณต้นบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ

จากการเพาะเลี้ยงแคลลัสและต้นอ่อนบอนสีบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA และ Kinetin เข้มข้น 0, 1, 3, 5 และ 7 มก./ล. และน้ำมะพร้าว เข้มข้น 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อาหารทั้งหมดสามารถชักนำให้ชิ้นส่วนแคลลัสมีการพัฒนาเป็นต้นใหม่และจำนวนใบเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะอาหารสูตร MS ที่เติมน้ำมะพร้าวเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถชักนำให้แคลลัสเกิดต้นสูงสุด 4.4 ต้น และมีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด 9.8 ใบ (ตารางที่ 2 และรูปที่ 2ก)

ผลการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากต้นอ่อนบนอาหารทั้ง 12 ทริทเมนต์ พบว่า อาหารทุกทริทเมนต์สามารถชักนำให้เกิดต้นได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามอาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 3 และ 5 มก./ล. หรือน้ำมะพร้าวเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มสามารถชักนำให้มีต้นเฉลี่ยสูงสุด 2.7 ต้น ส่วนอาหารสูตรที่เติม BA เข้มข้น 5 มก./ล. พบว่า มีแนวโน้มในการชักนำให้เกิดจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 16.0 ใบ (ตารางที่ 3 และรูปที่ 2ข)

ตารางที่ 2 จำนวนต้น และใบเฉลี่ยของบอนสี ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนแคลลัส บนอาหารสูตร MS ที่เติม BA, Kinetin หรือน้ำมะพร้าวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ทริทเมนต์	สารควบคุมการเจริญเติบโต			จำนวนต้นเฉลี่ย (ต้น) ±S.E.	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ) ±S.E.
	BA (มก./ล.)	Kinetin (มก./ล.)	น้ำมะพร้าว (เปอร์เซ็นต์)		
Tr1	-	-	-	3.3±0.264 ^b	8.9±0.431 ^a
Tr2	1	-	-	1.3±0.142 ^{ef}	9.7±0.497 ^a
Tr3	3	-	-	2.0±0.156 ^{cd}	7.0±0.666 ^c
Tr4	5	-	-	2.0±0.156 ^{cdf}	4.0±0.364 ^c
Tr5	7	-	-	1.0±0.174 ^f	2.0±0.268 ^{de}
Tr6	-	1	-	1.8±0.128 ^{cde}	3.4±0.375 ^{cd}
Tr7	-	3	-	2.4±0.212 ^c	9.2±0.498 ^a
Tr8	-	5	-	1.0±0.156 ^f	2.2±0.250 ^{de}

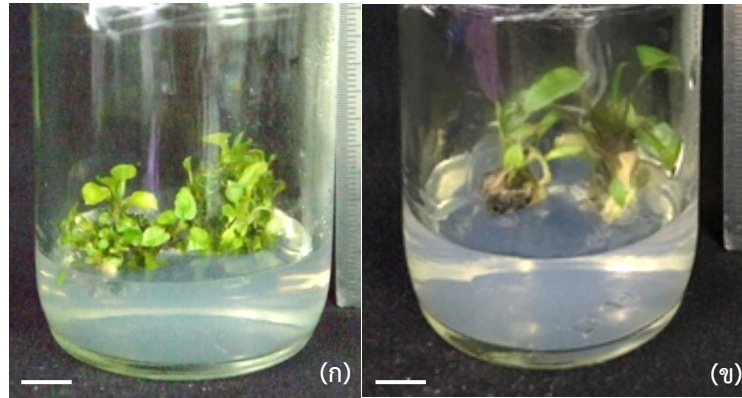
ทรีทเมนต์	สารควบคุมการเจริญเติบโต			จำนวนต้นเฉลี่ย (ต้น) ±S.E.	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ) ±S.E.
	BA (มก./ล.)	Kinetin (มก./ล.)	น้ำมะพร้าว (เปอร์เซ็นต์)		
Tr9	-	7	-	1.0±0.087 ^f	1.5 ±0.138 ^e
Tr10	-	-	10	4.4±0.525 ^a	9.8±0.924 ^a
Tr11	-	-	15	1.5±0.107 ^{def}	6.0±0.394 ^c
Tr12	-	-	20	1.8±0.142 ^{cde}	5.5±0.653 ^c
F-test				*	*

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3 จำนวนต้น และใบเฉลี่ยของบอนสี ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนต้นอ่อน บนอาหารสูตร MS ที่เติม BA, Kinetin หรือมะพร้าวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ทรีทเมนต์	สารควบคุมการเจริญเติบโต			จำนวนต้นเฉลี่ย (ต้น) ±S.E.	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ) ±S.E.
	BA (มก./ล.)	Kinetin (มก./ล.)	น้ำมะพร้าว (เปอร์เซ็นต์)		
Tr1	-	-	-	2.4±0.786	13.2±3.032 ^{abcd}
Tr2	1	-	-	2.0±0.000	15.0±0.707 ^{ab}
Tr3	3	-	-	2.7±1.155	9.3±2.887 ^{de}
Tr4	5	-	-	2.7±1.155	16.0±7.000 ^a
Tr5	7	-	-	2.0±0.000	5.0±0.000 ^f
Tr6	-	1	-	2.0±0.000	11.8±2.217 ^{bcd}
Tr7	-	3	-	2.0±0.000	5.3±0.577 ^f
Tr8	-	5	-	2.3±0.483	9.2±1.814 ^e
Tr9	-	7	-	2.5±0.837	9.7±1.366 ^{de}
Tr10	-	-	10	2.7±0.577	13.7±2.082 ^{abc}
Tr11	-	-	15	2.0±0.000	10.3±2.082 ^{cde}
Tr12	-	-	20	1.8±0.408	9.2±2.137 ^e
F-test				ns	*

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$); ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน; * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



รูปที่ 2 อิทธิพลไซโทไคนีนต่อการชักนำให้เกิดต้นใหม่โดยการเพาะเลี้ยงส่วนแคลลัสและต้นอ่อนบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA หรือน้ำมะพร้าวที่ความเข้มข้นต่างกัน (ก) ลักษณะการเจริญเติบโตเป็นต้นจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนแคลลัสบนอาหารสูตร MS ที่เติมน้ำมะพร้าวเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (ข) การเกิดต้นบอนสีจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบอ่อนบนอาหารสูตร MS อาหารที่เติม BA 5.0 มก./ล. (สเกลบาร์ = 1 ซม.)

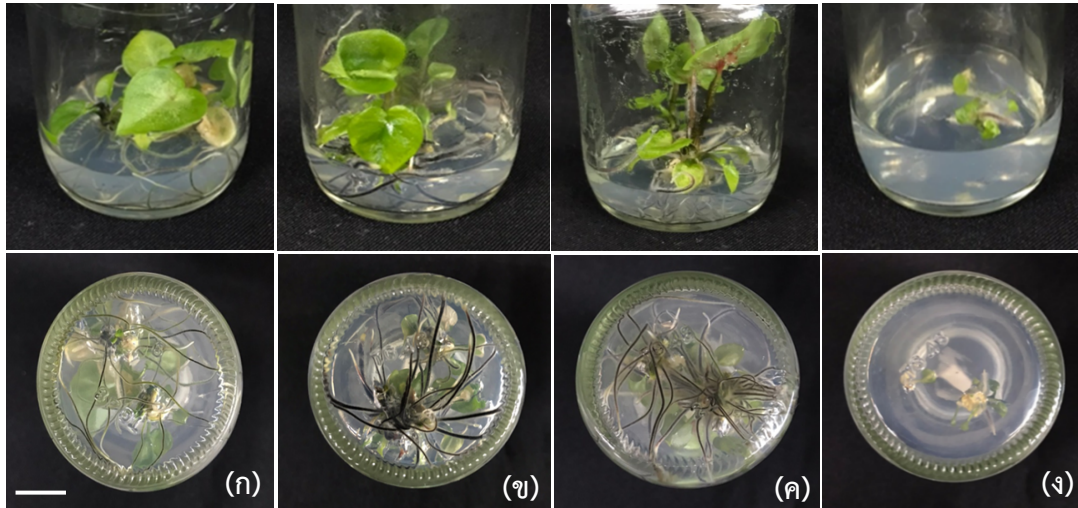
3. ผลของ NAA ต่อการชักนำให้เกิดรากของบอนสี

จากการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนที่เจริญเติบโตจากการทดลองที่ 2 บนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 2.0 มก./ล. เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าร้อยละการเกิดรากในอาหารทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยร้อยละการเกิดรากเท่ากับ 87.5, 85.0, 70.0 และ 62.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลของ NAA ต่อจำนวนรากของบอนสี พบว่ามีแนวโน้มของจำนวนรากเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ไม่เติม NAA แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NAA เป็น 2 มก./ล. ส่งผลให้จำนวนรากลดลง (ตารางที่ 4 และรูปที่ 3)

ตารางที่ 4 ร้อยละการเกิดราก และจำนวนรากเฉลี่ยของต้นอ่อนบอนสีเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ความเข้มข้นของ NAA (มก./ล.)	ร้อยละการเกิดราก $\pm$ S.E.	จำนวนรากเฉลี่ย (ราก) $\pm$ S.E.
0	87.5 $\pm$ 31.079	15.4 $\pm$ 7.609 ^a
0.5	85.0 $\pm$ 24.152	17.8 $\pm$ 7.941 ^a
1	70.0 $\pm$ 44.721	17.6 $\pm$ 13.520 ^a
2	62.5 $\pm$ 47.871	3.3 $\pm$ 2.872 ^b
F-test	ns	*

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$); ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกัน; * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



รูปที่ 3 การเกิดรากของบอนสีเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA เข้มข้นต่างกัน (ก) NAA 0 มก./ล.; (ข) NAA 0.5 มก./ล.; (ค) NAA 1.0 มก./ล. และ (ง) NAA 2.0 มก./ล. (สเกลบาร์ = 1 ซม.)

4. ผลการศึกษาย้ายต้นอ่อนบอนสีออกปลูกในสภาพธรรมชาติ

เมื่อนำต้นอ่อนบอนสีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อออกปลูกในสภาพธรรมชาติ โดยปลูกในวัสดุปลูกคือ ดินปลูก:ใบก้ามปูหมัก ในอัตราส่วน 2:1 พบว่า บอนสีมีอัตราการรอดชีวิต 80 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ในสัปดาห์ที่ 4 ต้นบอนสี มีการเติบโตได้ดี ใบเริ่มคลี่ออกและแตกใบใหม่ ใบมีจุดสีแดงตรงกลาง (รูปที่ 4ก) ส่วนในสัปดาห์ที่ 6 ก้านใบยาวขึ้น และใบใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ แผ่นใบมีป้ายสีแดงสดทับเป็นบริเวณกว้าง มีเมดลัสซาวกระจายทั่วใบทั้งใบ (รูปที่ 4ข) และในสัปดาห์ที่ 12 ก้านใบยาวเพิ่มขึ้น ใบใหญ่ขึ้น ป้ายสีแดงกระจายออก ขอบใบสีเขียวเข้มและมีกระสีซาวกระจายทั่วแผ่นใบชัดเจนขึ้น (รูปที่ 4ค)



รูปที่ 4 ต้นอ่อนบอนสี หลังจากย้ายปลูกในสภาพธรรมชาติเป็นเวลา; (ก) 4 สัปดาห์; (ข) 6 สัปดาห์และ (ค) 12 สัปดาห์ (สเกลบาร์ = 5 เซนติเมตร)

การอภิปรายผล

จากการศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมเพื่อการขยายพันธุ์บอนสีในสภาพปลอดเชื้อ โดยการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบอ่อนที่ยังไม่คลี่ของบอนสีบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 0, 1, 3, 5 และ 7 มก./ล. ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0, 0.5, 1 มก./ล. พบว่า สูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงใบอ่อนบอนสีให้เจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้ คืออาหารสูตร MS ที่ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือสูตรอาหารที่เติม BA เข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1 มก./ล. ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่าง

จากรายงานของ ภพแก้ว และคณะ (2554) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติม BA 2.0 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1.0 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดยอดและรากดีที่สุด ส่วนมณฑล และคณะ (2556) รายงานว่า สูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการชักนำให้เกิดยอดบนสีกะหล่ำปลีสูงที่สุด 12 ยอด คืออาหารดัดแปลงสูตร MS ที่เติม BA 0.5 มก./ล. ร่วมกับ NAA 2 มก./ล. ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Seydi et al., (2016) โดยระบุว่าอาหารสูตร MS ที่เติม BAP 4 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล. สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสและสูตรอาหารที่สามารถชักนำให้เกิดต้นบนสีกะหล่ำปลีสูงที่สุด 6.43 ต้น ต่อชิ้นส่วน คืออาหารสูตร MS ที่เติม BAP 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.5 มก./ล. นอกจากนี้ยังพบว่าในการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบอ่อนมีการสร้างแคลลัสร่วมด้วยซึ่งการเกิดแคลลัสนั้นสามารถพบได้ทั้งในอาหารที่เติม BA เพียงอย่างเดียว หรือ BA ร่วมกับ NAA ดังนั้นการเติม BA ร่วมกับ NAA ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสและยอดของบอนสีได้ ดังรายงานของ Mujib et al. (2008) พบว่า การเติม BA ร่วมกับการเติม NAA จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ของ *C. bicolor* รวมถึงกระบวนการสร้างเอ็มบริโอจากเซลล์ร่างกายด้วยเช่นกัน เช่นเดียวกับรายงานของ Ahmed et al. (2004) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มประสิทธิภาพในการชักนำให้เกิดต้นใหม่จากการเพาะเลี้ยง *Caladium* ได้ด้วยการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่ม BA ร่วมกับ NAA เช่นเดียวกับรายงานของ Thepsithar et al. (2010) สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบ โดยเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 17.76 μM ร่วมกับ NAA เข้มข้น 2.69 μM

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การเติมน้ำมะพร้าวสามารถกระตุ้นให้แคลลัสของบอนสีมีการเจริญเติบโตเป็นต้นได้ดี ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเพิ่มปริมาณต้นบอนสีได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่มีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีราคาสูง เนื่องจากน้ำมะพร้าวที่เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นสามารถส่งเสริมและกระตุ้นการแบ่งเซลล์เพาะเลี้ยงให้สามารถเจริญเติบโตได้ดีมากขึ้น (Neumann et al., 2009) นอกจากนี้ยังสามารถพบกรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก วิตามิน น้ำตาล และน้ำตาลแอลกอฮอล์ รวมถึงฮอร์โมนพืชในกลุ่มไซโทไคนินได้ในน้ำมะพร้าว ซึ่งล้วนส่งผลต่อการแบ่งเซลล์ และการส่งเสริมให้เกิดการเจริญเติบโตได้ดีของพืชเพาะเลี้ยง (Molnár et al., 2011) เมื่อย้ายต้นอ่อนไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 3 หรือ 5 มก./ล. สามารถชักนำให้มีจำนวนต้นและจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุด สอดคล้องกับรายงานของ นูรุลฮุดา และคณะ (2560) ศึกษาผลของไซโทไคนิน และความเข้มข้นต่อการเกิดยอดและจำนวนยอดของบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ โดยการนำต้นบอนสีที่สมบูรณ์ มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นต่างกันพบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 5 มก./ล. สามารถชักนำให้มีร้อยละการสร้างยอดและจำนวนยอดสูงสุดร้อยละ 85 และแตกต่างจากรายงานของ Chan et al. (2003) สามารถเพิ่มปริมาณต้นอ่อนบอนสี *C. hortulanum* และ *C. bicolor* 'Florida Crown' ได้ เมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA เข้มข้น 2 มก./ล.เพียงอย่างเดียว Ali et al. (2007) รายงานว่า การเติม NAA เข้มข้น 0.25 มก./ล.ร่วมกับการเติม BA เข้มข้น 1.0 มก./ล.สามารถเพิ่มปริมาณต้นบอนสีได้ และ Thepsithar et al. (2010) รายงานว่า สามารถชักนำให้แคลลัสของบอนสีเจริญเป็นต้นใหม่ได้เมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรที่เติม BA 11.1 μM เพียงอย่างเดียว และนอกจากนี้ยังพบว่าต้นอ่อนที่เจริญเติบโตบนอาหารทุกสูตรสามารถพัฒนาเป็นต้นได้ เนื่องจาก BA มีหน้าที่ในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ การเลือกใช้ไซโทไคนินที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการแบ่งเซลล์เพื่อการเจริญของกิ่งใบและลำต้น รวมถึงเร่งการเจริญของตาข้างและลำต้นได้เพิ่มขึ้น (สมนทิพย์, 2556) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า NAA ที่ความเข้มข้นต่างกันมีผลต่อการชักนำให้เกิดรากในบอนสี โดยจากงานวิจัยของ Ali et al. (2007) พบว่า สามารถชักนำเนื้อเยื่อของต้นบอนสีให้เกิดรากได้ บนอาหารสูตร MS ที่เติม BAP เข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0.25 มก./ล. และแตกต่างจากรายงานของ Ali et al. (2022) รายงานว่า สามารถชักนำให้ต้นอ่อนบอนสีมีการสร้างรากและจำนวนรากสูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม IBA เข้มข้น 0.2 มก./ล. โดยออกซินเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ส่งเสริมการงอกของเมล็ด, การชักนำให้เกิดราก และการเจริญของต้นอ่อนในพืชหลายชนิด (Seydi et al., 2016) Pierik (1987) รายงานว่า การใช้ออกซิน เช่น NAA ในระดับความเข้มข้นต่ำสามารถชักนำให้เกิดรากได้ แต่หากใช้ในระดับความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะส่งผลต่อการยับยั้งการสร้างราก

จากการย้ายต้นอ่อนออกปลูกในสภาพธรรมชาติ ด้วยวัสดุปลูกคือ ดินปลูก:ใบก้ามปูหมัก ในอัตราส่วน 2:1 เป็นเวลา 4, 6 และ 12 สัปดาห์ พบว่า บอนสีมีอัตราการรอดชีวิต 80 เปอร์เซ็นต์ โดยในขั้นตอนของการย้ายปลูกบอนสีนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง

คือการรักษาความชื้น ซึ่งในการศึกษานี้ได้มีการอบต้นอ่อนบอนสีในขวดพลาสติกปิดฝา ก่อน เพื่อให้คงรักษาระดับความชื้น และป้องกันแมลงศัตรูพืช รวมถึงวัสดุปลูกของบอนสีก็มีส่วนสำคัญต่ออัตราการรอดชีวิตเช่นกัน โดยปกติต้นบอนสีจะเจริญเติบโตได้ดีในวัสดุปลูกที่มีลักษณะโปร่ง และระบายน้ำได้ดีมีแร่ธาตุและอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งดินที่ใช้ปลูกบอนสีควร่วนซุย มีอินทรีย์วัตถุ ผสมกับใบก้ามปูที่ผุพัง เนื่องจากในใบก้ามปูมีปริมาณของธาตุอาหารไนโตรเจนสูงซึ่งจะส่งผลทำให้ต้นบอนสีเจริญเติบโตได้ดี (อรรณ, 2548)

บทสรุป

จากการศึกษาการขยายพันธุ์บอนสีในสภาพปลอดเชื้อ พบว่าชิ้นส่วนใบอ่อนสามารถสร้างต้นใหม่และมีการเกิดแคลลัสร่วมด้วย โดยอาหารสูตรที่สามารถชักนำให้เกิดต้นสูงสุดจากชิ้นส่วนใบได้คืออาหารสูตร MS ที่เติม BA 1 มก./ล. ร่วมกับ NAA 1 มก./ล. และอาหารสูตร MS ที่ปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตสามารถชักนำให้เกิดใบมากที่สุด และพบว่าสูตรอาหาร MS ที่เติมน้ำมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถชักนำให้แคลลัสเกิดต้นได้ดีที่สุด และอาหารสูตร MS ที่เติม BA 3 หรือ 5 มก./ล. สามารถส่งเสริมให้เกิดการเจริญจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนต้นอ่อนของบอนสีได้ดี และสามารถชักนำให้เกิดรากได้บนอาหารสูตร MS ที่เติมปราศจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือเติม NAA 0.5 มก/ล และสามารถย้ายออกปลูกในกระถางได้โดยการใช้วัสดุปลูกคือ ดินปลูก:ใบก้ามปูหมัก ในอัตราส่วน 2:1

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ 2565 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- นุรุลฮูดา มะดีเยาะ, ไรวาน ปียา และสาปينا สาเหาะ. (2560). ผลของไซโทไคนินและความเข้มข้นต่อการเกิดยอดและจำนวนยอดของบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร. 2(2): 57-65.
- บุญยืน กิจวิจารณ์. (2544). เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. สำนักคณานาวินวิทยา: กรุงเทพฯ.
- ภพแก้ว พุทธิรักษ์, จินตนา แก้วดวงต๊ับ และวารุต อยู่คง. (2554). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านสีทศและบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 19(1): 18-23.
- มณฑล สงวนเสริมศรี, วารุต อยู่คง และภพแก้ว พุทธิรักษ์. (2556). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใบอ่อนของบอนสีในสภาพปลอดเชื้อ. วารสารมหาวิทยาลัยพะเยา. 2(4): 17-21.
- รุ่งนรินทร์ สุขอร่าม. (2550). การชักนำให้เกิดหัวในหลอดทดลองของบอนพระยาเสวต (*Caladium humboldti* Schott. CV. Phraya Savet). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สมาคมบอนสีแห่งประเทศไทย. (2552). บอนสีราชินีแห่งไม้ใบ. สำนักพิมพ์บ้านและสวน: กรุงเทพฯ.

- สุนทวิทย์ บุญนาค. (2556). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและการถ่ายยีนสู่พืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น.
- อรรณณ วิชัยลักษณ์. (2548). บอนสี. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย: กรุงเทพฯ.
- Ahmed E.U., Hayashi T. and Yazawa S. (2004). Auxin increase the occurrence of leaf-colour variants in *Caladium* regenerated from leaf explants. *Scientia Horticulturae*. 100: 153-159.
- Ali A., Munawar A. and Naz S. (2007). An *In Vitro* Study on Micropropagation of *Caladium bicolor*. *International Journal of Agriculturae & Biology*. 9(5): 731-735.
- Ali A.H., Atawia A.R., Youssef A.S., Soudi Y.F. and Abd el Satar M.M. (2022). Studies on micropropagation of caladium plants. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*. 60(1): 127-136.
- Ikeuchi M., Sugimoto K. and Iwase A. (2013). Plant callus: mechanisms of induction and repression. *Plant Cell*. 25: 3159-73.
- Molnár Z., Virág E. and Ördög V. (2011). Natural substances in tissue culture media of higher plants. *Acta Biologica Szegediensis*. 55(1): 123-127.
- Mujib A., Banerjee S., Fatima S. and Ghosh P.D. (2008). Regenerated plant populations from rhizome-calli showed morphological and chromosomal changes in *Caladium bicolor* (Ait.) Vent. cv. bleeding heart. *Propagation Ornamental Plants*. 8(3): 138-143.
- Neumann K.H., Kumar A. and Imani J. (2009). Plant cell and tissue culture-A tool in biotechnology basics and application. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg.
- Pierik R.L.M. (1987). *In vitro* culture of higher plants. 3rd Edition. Martinus Nijhoff Publishers: Dordrecht.
- Seydi S., Negahdar N., Andevari R.T., Ansari M.H. and Kaviani B. (2016). Effect of BAP and NAA on micropropagation of *Caladium bicolor* (Aiton) Vent., an ornamental plant. *Journal of Ornamental Plants*. 6(1): 59-66.
- Thepsithar C., Thongpukdee A. and Chiensil P. (2010). Micropropagation of *Caladium bicolor* (Ait.) vent. 'Thep Songsil' and Incidence of somaclonal variants. *Acta Horticulturae*. 855: 273-280.

Received: October 17, 2022; Revised: October 25, 2022; Accepted: November 14, 2022

ความหลากหลายของพืชให้สีและองค์ความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติ
ของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

Species diversity of dyeing plants and knowledge of natural dyeing by Tai
Khmer ethnic group in Suwannaphume district, Roi Et province

เอี่ยมพร จันทร์สองดวง^{1*} และนงนิต พระไชยบุญ²

Auemporn Junsongduang^{1*} and Nongnid Prachaiboon²

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

²คณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

*Corresponding Author E-mail Address: a.junsongduang@gmail.com

บทคัดย่อ

การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติ เป็นภูมิปัญญาที่สืบทอดจากบรรพบุรุษจนถึงปัจจุบัน องค์ความรู้เหล่านี้กำลังจะหายไปเพราะการเปลี่ยนแปลงของสังคมอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อเป็นการฟื้นฟูและอนุรักษ์องค์ความรู้นี้ งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายระดับชนิดและภูมิปัญญาพื้นบ้านการใช้พืชย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร โดยทำการศึกษาในบ้านตาหยวก อำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด การสำรวจในครั้งนี้มีผู้ให้ข้อมูลทั้งหมด 20 คน โดยผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ระหว่างเดือนกันยายน 2563-ตุลาคม 2564 พบพืชที่ใช้ในการย้อมสีทั้งหมด 40 ชนิด 37 สกุล 24 วงศ์ พบพืชวงศ์ Fabaceae มีจำนวนสมาชิกมากที่สุด 10 ชนิด ส่วนของพืชที่ใช้มากที่สุด คือ ใบ 18 ชนิด (45%) แหล่งที่มาของพืชให้สีย้อมที่พบมากที่สุดคือในชุมชน จำนวน 36 ชนิด (90%) เฉลี่ยที่พบทั้งหมด 7 เฉลี่ย พืชที่มีค่าดัชนีการใช้ (Use Value Index: UV) มากที่สุด คือ ขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) (0.85) รองลงมาเป็นประโหด (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz) (0.75) และพบว่า มีการใช้แมลงครั้ง (*Tachardia lacca* Kerr.) ในการย้อมสีธรรมชาติมากที่สุด โดยมีค่า UV สูงสุดคือ 1 พบสารช่วยติดสี 4 ประเภท ได้แก่ โคลน สารส้ม ชี้เถ้า และน้ำมะขาม และนิยมสกัดสีย้อมแบบร้อนมากกว่าแบบเย็นหรือแบบหมัก การส่งเสริมให้ชาวบ้านในชุมชนหันกลับมาย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติให้มากขึ้นนั้นช่วยให้เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ และทำให้เกิดการถ่ายทอดความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติ ซึ่งจะนำไปสู่การอนุรักษ์พืชและองค์ความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติในชุมชนของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรต่อไป

คำสำคัญ: พืชให้สี สีย้อมธรรมชาติ กลุ่มชาติพันธุ์ ไทเขมร

Abstract

Dyeing fabrics with natural colors are traditional knowledge passed down from the ancestors to the present. This knowledge will be disappearing because of the transformation of rural society into urban society. To preserve this knowledge and preventing a restoration. This research aims to study the traditional knowledge of using plants to the natural dyeing of the Tai Khmer ethnic group. The study was conducted in Ban Ta Yuak, Suvarnabhumi District, Roi Et Province. The data was collected by propulsive sampling. Semi-structured interviews were used for interviewed 20 key informants between September 2020 and October 2021. The results found a total of 40 species of dyeing plants belonging to 37 genera and 24 families. Fabaceae was the most plant used 10 spp. (25%). While the most used plants were leaves 18 spp. (45%). The plant with the most Use Value index is Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) (UV=0.85), followed by *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz (UV=0.75). The gum from insect (*Tachardia lacca* kerr.) had the most reported (UV=1). The four types of mordant were recorded including; mud, ashes, alum and, Tamarin juice. This knowledge has been derived from their ancestor, shared and trained by government agencies. Encouraging the villagers to dye fabrics with natural colors from plants has helped the community generate more income and created exchanges of learning. Transferring knowledge of dyeing fabrics with each community or to the other would be leading to the conservation of plants and traditional knowledge of natural dyeing of Tai Khmer ethnic groups in the future.

Keyword: Dyeing plant, Natural dying, Ethnic group, Khmer

บทนำ

การใช้สีส้นในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่สำคัญเพื่อช่วยดึงดูดให้ผู้บริโภคสนใจในสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ ไม่ว่าจะเป็น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เครื่องใช้ และอุปกรณ์ต่าง ๆ (จารุวรรณ, 2554) อุตสาหกรรมสิ่งทอในทุกวันนี้เกือบทั้งหมดใช้สีสังเคราะห์ และใช้สารเคมีในการผลิต ซึ่งจะเป็นสีย้อมประเภท อะโซ (Azo) บางชนิดมีการแตกตัวในระหว่างการใช้งานและปลดปล่อยสารเคมีที่เรียกว่า สารอะโรมาติกอะไมน์ (Aromatic amine) ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้สวมใส่ และสิ่งแวดล้อม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542) สีเคมีหลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง (MacFoy, 2004) ในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้ามีรายงานว่า ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ย้อม เช่น จากการศึกษาของ Nilvarangkul et al., (2004) พบว่า 63% ของผู้หญิงที่มีอาชีพทอผ้าพื้นเมืองในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีอาการผื่นแดงและคัน และมีปัญหาเกี่ยวกับระบบหายใจจากการใช้สีเคมีในการย้อมสีผ้า นอกจากนี้ยังพบว่า จากการตรวจเลือดของหญิงที่มีอาชีพทอผ้าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า มีสารโลหะหนักอยู่ในเลือดอยู่สูงถึง 5% ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจจะมาจากการใช้สีย้อมผ้าที่เป็นสีเคมีสังเคราะห์ (Nirathron, 2021) นอกจากนี้ยังพบว่า สารกลุ่มเพอร์ฟลูออรีเนตที่ใช้ในการผลิตสิ่งทอ ก่อให้เกิดมลภาวะโดยการตกค้างยาวนานในดิน และน้ำ เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ย่อยสลายนั่นเอง (MacFoy, 2004) ซึ่งอันตรายจากสีย้อมสังเคราะห์จะส่งผลกระทบต่อชีวิตผู้ย้อมเอง และสิ่งแวดล้อม (Lawarence et al., 2015)

การใช้สีย้อมธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่สืบทอดกันมาเป็นระยะเวลายาวนาน เป็นองค์รวมของความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางกายภาพและวัฒนธรรมชุมชนที่มีการใช้ประโยชน์จากสีธรรมชาติเพื่อใช้ย้อมเส้นใยผ้าและตกแต่งเครื่องมือ

(ชวนพิศ และคณะ, 2552) สีย้อมธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช สัตว์ และอินทรีย์วัตถุบางชนิด โดยสีธรรมชาติที่นิยมใช้ส่วนใหญ่สกัดจากพืช ได้แก่ เปลือกไม้ รากไม้ ใบ ผล ดอก และแก่นไม้ (ลำต้น) เป็นสีที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (พิรศักดิ์ และคณะ, 2544; ขนาธินาถ, 2556) ผ้าย้อมสีธรรมชาติเป็นองค์ความรู้และเป็นภูมิปัญญาที่สืบทอดกันมายาวนานควบคู่กับชุมชนในแต่ละภูมิภาค ส่วนใหญ่องค์ความรู้เหล่านี้มีอยู่ในผู้สูงอายุในอดีตจะใช้วิธีถ่ายทอดแบบปากต่อปาก รวมทั้งการฝึกฝนและการปฏิบัติสืบทอดกันมา จนกลายเป็นเอกลักษณ์และวัฒนธรรมที่แตกต่างกันไปในแต่ละชุมชน ภูมิปัญญาการย้อมเส้นใยด้วยสีธรรมชาติของสังคมชนบทในประเทศไทย เกิดขึ้นท่ามกลางความหลากหลายทางชีวภาพของพรรณไม้ เป็นความคิดสร้างสรรค์ตลอดจนทักษะที่ผ่านการถ่ายทอดจากบรรพบุรุษ ความปรารถนาดีอันเป็นคุณลักษณะที่โดดเด่นและหลากหลายของคนไทยหรือกลุ่มชาติพันธุ์ในแต่ละท้องถิ่น มีการสืบทอดและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงนับเป็นภูมิปัญญาอันมีค่าที่ควรมีการอนุรักษ์และสืบสานให้คงอยู่คู่สังคมไทยต่อไป และในปัจจุบันก็ยังคงพบว่า องค์ความรู้เหล่านี้ยังคงปรากฏอยู่ในกลุ่มชาติพันธุ์ต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออย่างเข้มแข็ง การศึกษาเกี่ยวกับพืชที่ให้สีของของกลุ่มชาติพันธุ์พบในการศึกษาในกลุ่มชาติพันธุ์ไท ไทลาวในจังหวัดร้อยเอ็ด (เอื้อมพร และคณะ, 2561; Junsongduang et al., 2017) แต่ยังไม่พบว่า มีรายงานการศึกษาในกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรในจังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในพื้นที่พบว่า ผลิตภัณฑ์ผ้าไหมบ้านตาหยวกของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นผลิตภัณฑ์โอท็อป (OTOP) ที่มีชื่อเสียงในจังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งปกติผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีสังเคราะห์ก็เป็นผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างมีราคาสูง และผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติยิ่งก่อให้เกิดมูลค่าของผลิตภัณฑ์มากขึ้นไปถึงสองเท่า จากกระแสที่ผู้บริโภคหันมาตระหนักถึงสิ่งแวดล้อมและดูแลสุขภาพของตัวเองมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน การเลือกใช้สีจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์จะเป็นส่วนช่วยส่งเสริมการขายให้หลากหลาย และการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงมากขึ้น

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้ตระหนักและเล็งเห็นความสำคัญขององค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรนี้ ซึ่งมีคุณค่าควรแก่การศึกษา รวบรวม อนุรักษ์และเผยแพร่ออกไป จึงได้ทำการศึกษาความหลากหลายชนิดของพืชที่ให้สีย้อมในการย้อมสีเส้นไหมของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร รวมไปถึงกระบวนการผลิต เทคนิค ขั้นตอนในการย้อมสี แหล่งที่มาของพืช ส่วนของพืชที่ให้สี วิธีการย้อมและองค์ความรู้ด้านการย้อมสีธรรมชาติต่าง ๆ เพื่อรวบรวมเป็นเอกสารรายงาน เพื่อเป็นการอนุรักษ์และรักษาภูมิปัญญาท้องถิ่นนี้ให้คงอยู่แก่คนรุ่นหลัง รวมทั้งรักษาองค์ความรู้เหล่านี้ของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร เพื่อก่อให้เกิดการต่อยอดงานวิจัยทางด้านนี้ต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์งานวิจัยดังนี้ 1) เพื่อสำรวจรวบรวมองค์ความรู้ และชนิดของพืชที่ให้สีย้อมของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 2) เพื่ออนุรักษ์ภูมิปัญญาพื้นบ้านในการย้อมธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเลือกพื้นที่ที่ศึกษา

ทำการเลือกพื้นที่ที่มีกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรที่มีชื่อเสียงด้านการทอผ้าไหม และทำการเลือกหมู่บ้านที่มีการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติจากฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์โอท็อปของจังหวัดร้อยเอ็ด และจากการลงพื้นที่สำรวจเบื้องต้นของทีมนักวิจัย พบว่า พื้นที่ที่มีกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรและยังคงมีการทอผ้า และมีการย้อมสีธรรมชาติอยู่ในหมู่บ้านตาหยวก ตำบลทุ่งหลวง อำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด เลือกผู้ให้ข้อมูล (Key informants) โดยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive หรือ Judgmental sampling) และแบบลูกโซ่ (Snowball sampling) (บุญธรรม, 2540) มีทั้งหมด 20 คน เป็นแม่บ้านทั้งหมดที่มีอาชีพเกษตรกรและทอผ้าเป็นอาชีพเสริมในหมู่บ้าน มีอายุระหว่าง 44-72 ปี มีการศึกษาระดับชั้นพื้นฐานเท่านั้น

วิธีการศึกษา

1) การสำรวจข้อมูลพืชให้สีย้อมและการใช้วัสดุจากธรรมชาติในการย้อมสีในหมู่บ้าน จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น พบว่าในบ้านตาหยวก มีกลุ่มแม่บ้านที่รวมตัวกัน เป็นกลุ่มทอผ้าที่มีสมาชิก 40-50 คน และมีองค์ความรู้ที่เหมือน ๆ กันเนื่องจากมีการรวมกลุ่มทอผ้ากันมาเป็นระยะเวลานาน ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงทำการสุ่มเลือกตัวแทนของกลุ่มแม่บ้านที่จะมาเป็นผู้ให้ข้อมูลทั้งหมด 20 คน อายุระหว่าง 44-72 ปี โดยใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview) คำถามจะประกอบไปด้วย ชนิดของพืชที่นำมาใช้ย้อมสีผ้าธรรมชาติ ประเภทของเส้นใยที่ใช้ย้อม (ผ้าฝ้ายหรือผ้าไหม) ส่วนของพืชที่ใช้แหล่งที่มาของพืชให้สี วิธีการเตรียม กระบวนการย้อม เจดสีที่ได้ สารช่วยติดสี (Mordant) ตลอดจนเทคนิคในการย้อมสีธรรมชาติ

2) สืบหาความหลากหลายชนิดและแหล่งที่มาของพืชให้สีย้อมในพื้นที่ต่าง ๆ ของชุมชนซึ่งอาจจะอยู่ภายในชุมชนร่วมกับผู้ให้ข้อมูล (Key informants) พร้อมทั้งสัมภาษณ์วิธีการใช้พืชให้สีในภาคสนาม

3) เก็บตัวอย่างพืชเพื่อนำมาตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา และระบุชื่อวิทยาศาสตร์ ในระดับชนิดหรือระดับ สกุล โดยใช้เอกสารทางอนุกรมวิธาน เช่น พรรณพฤษชาติแห่งประเทศไทย หรือ Flora of Thailand (Smitinand et al., 1996–2005) คู่มือพรรณไม้ในสวนพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (วิโรจน์ และแก้ว, 2556) พืชสกุลครามในประเทศไทย (สไวก และประนอม, 2558) และตรวจสอบชื่อพื้นเมืองตามหนังสือรายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ (สวนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้กรมป่าไม้, 2544) และคู่มือภูมิปัญญาการฟอกย้อมสีไหมจากวัสดุธรรมชาติภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ชวนพิศ และคณะ, 2553) เป็นต้น

4) จัดทำตัวอย่างพรรณไม้อ้างอิง (Voucher specimens) และเก็บรักษาไว้สำหรับอ้างอิงที่ ห้องปฏิบัติการพฤกษศาสตร์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

วิเคราะห์ข้อมูลพืชให้สีย้อมของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรในหมู่บ้านตาหยวก ตำบลทุ่งหลวง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาในการอธิบายความถี่และร้อยละ ใช้ดัชนีทางพฤกษศาสตร์พื้นบ้าน เพื่อระบุชนิดพืชที่นิยมนำมาประโยชน์ในการย้อมสีมากที่สุด ดัชนีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ครั้งนี้ คือ ดัชนีรายการการใช้ (Used Value Index: UV) (Phillips et al., 1994) มีสมการ ดังนี้

$$UV = \sum U_i / N \quad (1)$$

เมื่อ U_i = จำนวนรายการการใช้พืชชนิดนั้น ๆ ในการย้อมสี

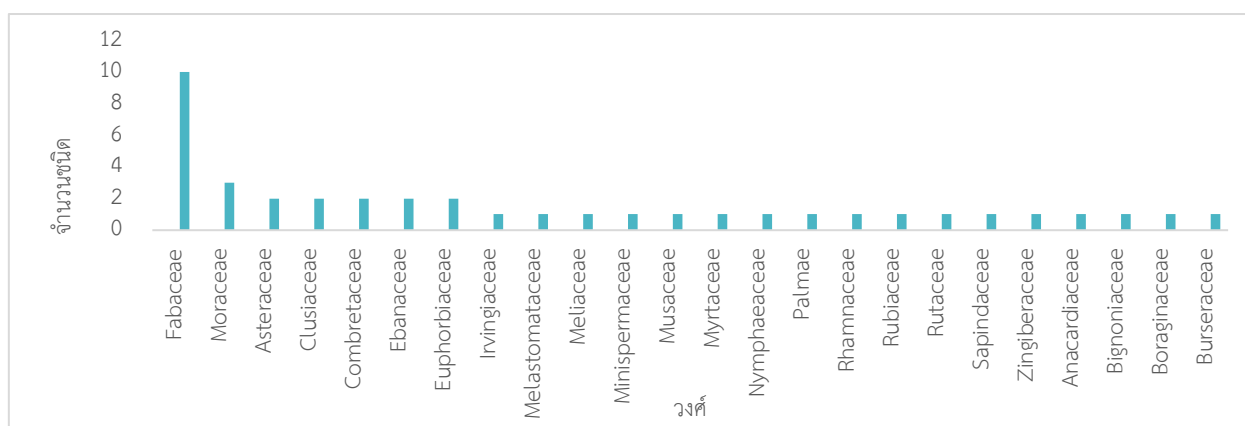
N = จำนวนผู้ให้ข้อมูล (Key informant) ทั้งหมดที่ทำการสัมภาษณ์

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ความหลากหลายของพืชให้สีย้อมของกลุ่มชาติพันธุ์ ไทย-เขมร อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

การศึกษานี้ พบพืชให้สีย้อมที่ใช้ในการย้อมสีผ้าไหมทั้งหมด 40 ชนิด 37 สกุล 24 วงศ์ โดยพบว่า พืชวงศ์ Fabaceae มีจำนวนสมาชิกมากที่สุด 10 ชนิด (25%) โดยพบอนุวงศ์ย่อย Caesalpinioideae มากที่สุด เช่น ชีเหล็ก (*Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby) ให้สีเขียว ฝาง (*Caesalpinia sappan* L.) ให้สีชมพูแดง รองลงมาคือวงศ์ Moraceae มีจำนวน 3 ชนิด (7.5%) รองลงมาเป็น Asteraceae, Clusiaceae, Combretaceae, Ebenaceae, Euphorbiaceae, และ มีจำนวน 2 ชนิด เท่ากัน (5%) ส่วนพืชวงศ์ที่เหลือจะมีจำนวนชนิดพืชที่นำมาทำสีย้อมวงศ์ละ 1 ชนิด (2.5%) รายละเอียด (ตารางที่ 1 และรูปที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ในประเทศไทยมีความหลากหลายชนิดของพืชให้สีย้อม และในแต่ละพื้นที่จะมีชนิดพืชแตกต่างกันไป ดังการศึกษาของ Junsongduang et al. (2017) ได้ศึกษาพืชให้สีย้อมของกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาวใน

จังหวัดร้อยเอ็ด พบพืชให้สีย้อมผ้า 56 ชนิด 50 สกุล 31 วงศ์ และการศึกษาพืชที่ให้สีย้อมและองค์ความรู้พื้นฐานในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว ในอำเภออาจสามารถ และอำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดร้อยเอ็ด พบพืชที่ให้สีย้อมทั้งหมด 36 ชนิด 32 สกุล 22 วงศ์ (เอื้อมพร และคณะ, 2561) และในกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรและกุ่มพบในการศึกษาของสมชญา และคณะ (2564) พบว่า พืชให้สีย้อมธรรมชาติในป่าชุมชนในจังหวัดสุรินทร์มีทั้งหมด 53 ชนิด (55%) ซึ่งวงศ์ของไม้ต้นที่ให้สีพบมากที่สุดคือ Fabaceae เมื่อเปรียบเทียบชนิดที่เป็นพืชให้สีเหมือนกันของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรในจังหวัดร้อยเอ็ดและในจังหวัดสุรินทร์พบมีชนิดที่ใช้เหมือนกัน 8 ชนิด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงกันโดยคำนวณจาก Similarity index (Höft et al., 1999) มีค่าเท่ากับ 17.20% และเปรียบเทียบจากการศึกษาของ Junsongduang et al. (2017) ถึงชนิดของพืชให้สีในกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาวในจังหวัดร้อยเอ็ดพบว่า มีจำนวนชนิดที่ใช้เหมือนกัน 29 ชนิด Similarity index สูงถึง 58% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Similarity index สูงกว่าระหว่างกลุ่มชาติพันธุ์เดียวกัน ซึ่งความแตกต่างนี้อาจจะเกิดมาจากการศึกษารั้วนี้และการศึกษาของ Junsongduang et al. (2017) ศึกษาพืชให้สีในชุมชนหรือพื้นที่บริเวณโดยรอบหมู่บ้าน เช่นเดียวกัน ในขณะที่การศึกษาพืชให้สีที่จังหวัดสุรินทร์ (สมชญา และคณะ, 2564) เป็นการศึกษาเฉพาะไม้ต้นและศึกษาเฉพาะในป่าชุมชนเท่านั้น จึงทำให้ค่า Similarity index ต่ำกว่า จากผลการศึกษาทั้งหมดพบว่า ชนิดพืชที่ใช้ในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันไป ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ศึกษาและลักษณะทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ที่ศึกษา ซึ่งจะมีพรรณไม้เด่นที่แตกต่างกันไปในแต่ละระบบนิเวศ

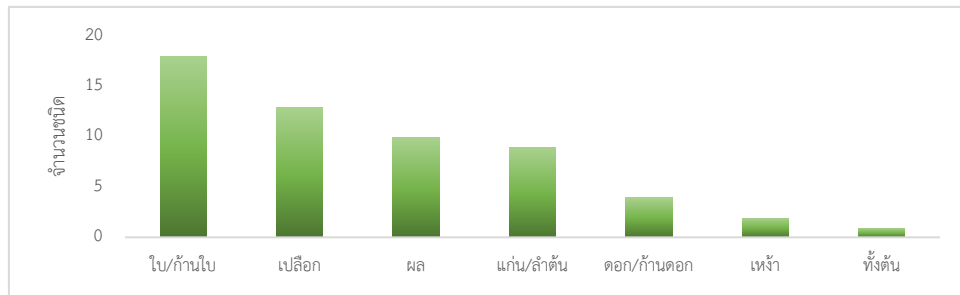


รูปที่ 1 จำนวนชนิดพืชที่ให้สีย้อมในแต่ละวงศ์

ส่วนของพืชที่ให้สีย้อม

พบว่า พืช 1 ชนิดสามารถใช้ส่วนของพืชในการย้อมได้หลายส่วน ดังนั้นส่วนที่ใช้ย้อมมากที่สุด คือ ใบ 18 ชนิด (45%) รองลงมา คือ เปลือก 13 ชนิด (32%) ผล 10 ชนิด (25%) แก่น/ลำต้น 9 ชนิด (22.5%) ดอก/ก้านดอก 4 ชนิด (10%) เหง้า 2 ชนิด (5%) และใช้น้อยที่สุดคือทั้งต้น 1 ชนิด (2.5%) (รูปที่ 2) พบว่า พืช 1 ชนิด สามารถใช้ส่วนของพืชในการย้อมได้หลายส่วน สอดคล้องกับการศึกษาของ วิเชษฐ์ (2554) ได้ศึกษาการผลิตสีเพื่อการย้อมผ้าและการย้อมด้ายของกลุ่มชาวบ้านในจังหวัดสงขลา และ Rosli et al. (2015) ศึกษาการสกัดสีย้อมธรรมชาติจากส่วนต่าง ๆ ของพืชของกลุ่มชาติพันธุ์ Orang Ulu ในมาเลเซีย พบส่วนของพืชที่นำมาสกัดเป็นสีย้อมคือ ใบ อาจเนื่องจากการสกัดสีย้อมในการศึกษาใช้พืชและวัตถุดิบที่หาได้ในพื้นที่ และเป็นการใช้แบบยั่งยืนหมุนเวียนใช้ได้ทั้งปี สามารถเอามาใช้ในปริมาณมาก และสามารถเก็บมาใช้ตามปริมาณที่ต้องการได้ อีกทั้งยังไม่กระทบต่อต้นพืชและยังสามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ (บุษบงค์, 2560) ในขณะที่การศึกษาของ Junsongduang et al. (2017) และสมชญา และคณะ (2564) พบว่า ส่วนของพืชมีนิยมนำมาใช้มากที่สุดคือเปลือก ขวนพิตสีมาจระและคณะ (2552) ได้รายงานสรุปโครงการสำรวจภูมิปัญญาการฟอกย้อมสีไหมจากวัสดุธรรมชาติ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ว่ามีการใช้เปลือก แก่น และส่วนของรากไม้หลายชนิดเป็นสีย้อม ซึ่งหากมีการลอกเอาเปลือกที่ลึกลง

เกินไป จะเป็นการทำลายท่อน้ำเลี้ยงและท่ออาหารของพืช ก่อให้เกิดการทำลายต้นไม้ชนิดนั้นได้ รวมไปถึงวิธีการใช้แก่นและรากควรหลีกเลี่ยง และให้ความรู้ชาวบ้านในการใช้ส่วนต่าง ๆ ของพืชมาใช้อย่างถูกวิธี รู้คุณค่าและยั่งยืนต่อไป



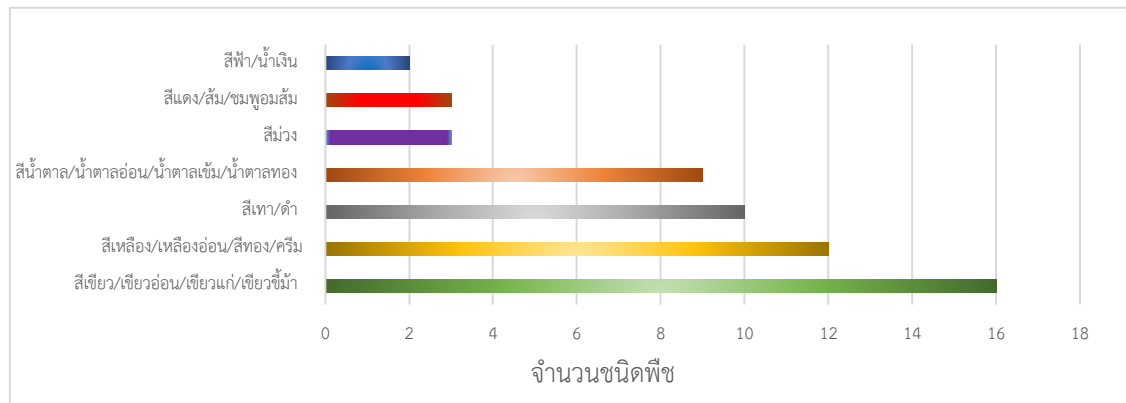
รูปที่ 2 ส่วนของพืชที่ใช้ในการย้อมสีผ้าของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในอำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ลักษณะวิสัยและแหล่งที่มาของพืชที่ให้สีย้อม

ลักษณะวิสัยของพืชที่ให้สีย้อมของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรในบ้านตาหยวกที่นิยมนำมาย้อมสีผ้าที่เป็นไม้ต้น 23 ชนิด (57.5%) รองลงมาเป็นไม้พุ่ม 11 ชนิด (27.5%) ไม้ล้มลุก 7 ชนิด (17.5%) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับ Junsongduang et al. (2017) และสมชญา และคณะ (2564) คือไม้ต้นเป็นลักษณะวิสัยของพืชที่ให้สีย้อมมากที่สุดอาจจะเกี่ยวเนื่องมาจากส่วนของพืชที่นิยมใช้มากที่สุดคือเปลือก ซึ่งผลการศึกษาที่พบในกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว และกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรที่นิยมใช้เปลือก เช่นเดียวกัน อาจจะเปลือกมีปริมาณของสีอยู่เข้มข้นไม่ต้องใช้ในปริมาณที่มากเหมือนส่วนของใบ แหล่งที่มาของพืชให้สีย้อมที่พบมากที่สุด คือในชุมชน จำนวน 36 ชนิด (90%) ชื่อ 4 ชนิด (10%) (รูปที่ 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Junsongduang et al. (2017) และเอื้อมพร และคณะ (2561) ที่พบพืชให้สีในชุมชนมากที่สุด และสอดคล้องกับอนงค์พรรณ และสุวภาค (2550) ที่ทำการศึกษาการใช้สีของดอกไม้ ใบพืชบนผืนผ้าบาติก โดยเลือกพืชที่มีอยู่ในสวนครัว อาจจะเป็นเพราะพืชในชุมชนหาได้ง่ายและสะดวกในการเก็บหา เช่น ขมิ้น อัญชัน กล้าย หรือดาวเรือง หรือพืชที่พบได้ง่ายและมีอยู่เป็นจำนวนมากในชุมชน เช่น คุณ เพกา ขี้เหล็ก เป็นต้น ส่วนชนิดที่ซื้อจะเป็นเชหรือแกล ซึ่งปัจจุบันเป็นพืชที่หาได้ยากในพื้นที่ในชุมชนส่วนมากจะพบในป่าชุมชนนอกหมู่บ้านเท่านั้น ส่วนเงาะและมังคุดก็เป็นผลไม้จากที่อื่นที่ไม่ได้นิยมนำปลูกในพื้นที่ เพียงแต่ชุมชนหันมาปรับเอาวัสดุเหลือใช้ เช่น เปลือกผลมาสกัดสีย้อมธรรมชาติ ซึ่งเป็นการปรับตัวของชุมชนในปัจจุบัน

เจดสีจากพืชที่ให้สีย้อมและสารช่วยติดสี

พบว่า พืช 1 ชนิดสามารถให้สีได้หลายสี ขึ้นอยู่กับส่วนของพืชที่ใช้ ส่วนโทนสีหรือเจดสีอ่อนเข้มขึ้นอยู่กับปริมาณของพืชที่ใช้ อายุของต้นพืช การย้อมซ้ำและสารช่วยติด ในการศึกษาครั้งนี้พบเจดสีทั้งหมด 7 เจดสี คือ 1) สีเขียว/เขียวอ่อน/เขียวแก่/เขียวขี้ม้า จำนวน 16 ชนิด (40%) 2) สีเหลือง/เหลืองอ่อน/เหลืองทอง/ครีม จำนวน 12 ชนิด (30%) 3) สีเทา/ดำ จำนวน 10 ชนิด (25%) 4) สีนํ้าตาล/นํ้าตาลอ่อน/นํ้าตาลเข้ม/นํ้าตาลทอง จำนวน 9 ชนิด (22.5%) 5) สีม่วง จำนวน 3 ชนิด (12.5%) 6) สีแดง/ส้ม/ชมพูอมส้ม จำนวน 3 ชนิด (12.5%) 7) สีฟ้า/น้ำเงิน จำนวน 1 ชนิด (2.5%) และพบว่า กลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรใช้สารช่วยติด 4 ชนิด ได้แก่โคลน สารส้ม ขี้เถ้า และมะขาม โดยพบว่า โคลนจะให้สีที่เข้มข้น เนื้อผ้าหรือเส้นใยจะนุ่มขึ้น ขี้เถ้ามีคุณสมบัติเป็นน้ำด่าง และน้ำมะขามมีคุณสมบัติเป็นกรด และจะให้สีที่แตกต่างกันเมื่อทำปฏิกิริยากับสีที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิดและความร้อน (ตารางที่ 1 รูปที่ 3, 4)



รูปที่ 3 จำนวนชนิดพืชที่ให้สีแต่ละชนิด

ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ส่วนต่าง ๆ ของพืชจะให้เฉดสีที่แตกต่างกัน เช่น ใบจะให้โทนสีเขียว เปลือกจะให้สีน้ำตาล ถ้าเปลือกสดหรือแห้งก็จะให้สีอ่อนเข้มแตกต่างกันไป ดอกก็จะให้สีตามสีดอก เช่น ดอกอัญชัน ให้สีม่วง และเทคนิคการพัฒนาเฉดสีคือ สารช่วยติด ซึ่งสารช่วยติดก็มีคุณสมบัติเป็นกรด เป็นเบสที่แตกต่างกันไป จึงทำให้ได้เฉดสีที่หลากหลายและแตกต่างกันไปจากเดิมในแต่ละครั้งที่ทำการย้อมสี (พีรศักดิ์ และคณะ, 2559) โดยสรุปผลการศึกษารั้งนี้เฉดสีที่ได้ของพืชแต่ละชนิดจะไม่แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า พืชชนิดเดียวกันจะให้โทนสีคล้ายกันหลาย ๆ งานวิจัย เช่น คราม ให้สีโทนฟ้า/น้ำเงิน อัญชัน ให้สีม่วง น้ำเงิน (สกุลตรา, 2546) เขหรือแกเลให้โทนสีเหลือง สีทอง ใบมะม่วงให้โทนสีเขียว (Junsongduang et al., 2017) สีส้ม/น้ำเงินจากเปลือกสะเดา (เอี่ยมพร และคณะ, 2561) และอีกหลาย ๆ ชนิดให้สีที่ไม่ต่างกัน สมชญา และคณะ (2564) รายงานว่า การย้อมสีธรรมชาติแล้วต้องการให้ได้เฉดสีเหมือนเดิม บางครั้งทำได้ยากเนื่องจากมีปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่ส่งผลต่อเฉดสีที่จะได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้อุณหภูมิ และการย้อมซ้ำก็มีผลต่อเฉดสีที่ได้เช่นกัน (Lambare et al., 2011)

ค่าดัชนีรายการการใช้พืชที่ให้สีย้อม (Used Value Index: UV)

พืชที่มีค่าดัชนีการใช้ (UV) มากที่สุด คือ ขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) 0.85 รองลงมาเป็นประโหด (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz) 0.75 และพบว่า มีการใช้ครั้ง (*Tachardia lacca* Kerr.) ในการย้อมสีธรรมชาติ โดยมีค่า UV สูงสุดคือ 1 และใช้โคลนเป็นสารช่วยติดสี (Mordant) จะทำให้เฉดสีที่ได้เข้มข้นและเส้นใยที่ย้อมโคลนจะนุ่มขึ้น (ตารางที่ 1) จากการศึกษาพบว่า ชนิดพืชที่ได้ค่า UV สูง 3 ลำดับแรกนั้นเป็นพืชที่หาได้ง่ายในพื้นที่ และเป็นชนิดพืชที่รู้จักในการย้อมสีเส้นใยกันอย่างแพร่หลาย สามารถสกัดสีได้ง่ายและให้สีในปริมาณมาก เช่น มะม่วงที่สามารถพบได้ทั่วไปในหมู่บ้าน เฉดสีที่ได้เป็นที่นิยม คือสีเขียวจากเปลือกและใบต้นมะม่วง ในขณะที่สีน้ำเงินหรือสีครามก็เป็นอีกสีหนึ่งที่ชาวอีสานนิยม โดยวัฒนธรรมดั้งเดิมของชาวอีสานจะนิยมสวมเสื้อผ้าโทนสีน้ำเงินที่ย้อมด้วยคราม ชาวบ้านจึงนิยมใช้ครามในการนำมาย้อมผ้าให้สีน้ำเงิน ทำให้ผ้าย้อมครามเป็นที่รู้จักและมีชื่อเสียงในภาคอีสาน เหตุนี้ทำให้ครามก็เป็นที่นิยมในการนำมาย้อมสีผ้าเช่นกัน ซึ่งสีน้ำเงินก็เป็นสีนิยมในภาคเหนือเช่นกัน แต่พืชที่นำมาสกัดสีจะเป็น ห้อม (*Strobilanthes cusia* (Nees) Kuntze) ไม่ใช่ครามเหมือนในภาคอีสาน แต่วิธีการจะหมักคล้ายกับการหมักคราม แต่ห้อมเป็นพืชที่ไม่พบในภาคอีสาน เช่นเดียวกับคราม (*Indigofera tinctoria* L.) ที่ให้สีย้อมน้ำเงินก็ไม่พบในภาคเหนือเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างของทรัพยากรในธรรมชาติที่มีแต่ละท้องถิ่น ก็มีผลในการกำหนดความนิยมในเฉดสีในแต่ละชุมชนหรือวัฒนธรรมนั้น ๆ เช่นกัน (ชวนพิศ และคณะ, 2551)

วิธีการสกัดสีจากพืช

กลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรในบ้านตาหยวก อำเภอสุวรรณภูมิ ใช้วิธีในการสกัดสี 3 แบบ คือแบบร้อน แบบเย็น และแบบหมัก พบว่า พืชส่วนใหญ่ 38 ชนิด (95%) นิยมนำมาสกัดร้อน สกัดเย็น 1 ชนิด (2.5%) และแบบหมัก 1 ชนิด (2.5%) (ตารางที่ 1)

การสกัดสีแบบร้อนคือการต้มส่วนของพืชเพื่อสกัดสีออกมา สกัดเย็นคือการเอาชิ้นส่วนของพืชแช่น้ำ เช่น ขมิ้น (*Curcuma longa* L.) และการหมัก เป็นการหมักแช่เพื่อให้ใบไม้ทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียและมีกระบวนการกระตุ้นให้เกิดสีโดยการใส่กรด เบส ได้แก่การหมักคราม (*Indigofera tinctoria* L.) การย้อมสีธรรมชาติส่วนใหญ่จะใช้วิธีสกัดแบบร้อนคือการต้มสกัดสี ซึ่งพบในหลาย ๆ งานวิจัย เช่น วิเศษฐ์ และคณะ (2554), นันทิพย์ และ ฉัตรดาว (2562) และ นันทิพย์ (2562) ซึ่งองค์ความรู้นี้พบว่า ไม่แตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมา อาจจะเป็นเพราะองค์ความรู้เหล่านี้ได้มีการหลอมรวมกัน มีการแบ่งปันองค์ความรู้ในการย้อมสีเหล่านี้แล้วระหว่างวัฒนธรรมของกลุ่มชาติพันธุ์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ชัยวัฒน์, 2555) เนื่องจากการผสมผสานของวัฒนธรรมในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกราย้อมสีโทนน้ำเงินในภาคเหนือพบว่า มีการสกัดสีที่เหมือนกัน แต่ใช้พืชคนละชนิดกัน คือสีน้ำเงินจากห้อม ในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะสกัดสีน้ำเงินจากคราม

บทสรุป

การศึกษาความหลากหลายชนิดของพืชที่ใช้ในการย้อมสีเส้นไหมของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ใน อำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด จากการสำรวจและรวบรวม พบพืชที่ใช้ย้อมสีธรรมชาติทั้งหมด 40 ชนิด 37 สกุล 25 วงศ์ โดยพบว่า พืชวงศ์ Fabaceae มีการใช้มากที่สุด 10 ชนิด และพบว่า องค์ความรู้ในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมรไม่แตกต่างจากกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาวในจังหวัดร้อยเอ็ดหรือในการศึกษาในพื้นที่อื่น แต่อาจจะแตกต่างกันที่จำนวนชนิดพืชที่นำมาใช้ ซึ่งพืชชนิดเดียวกันก็ให้เฉดสีเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา เนื่องด้วยในปัจจุบันกระแสแนวโน้มรักสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมได้มีการตระหนักมากยิ่งขึ้น ความนิยมในการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากสีย้อมธรรมชาติที่สูงตามไปด้วย การส่งเสริมให้ชุมชนหันกลับมาย้อมสีจากวัสดุจากธรรมชาติจะช่วยให้ชุมชนมีช่องทางการหารายได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากการทำเกษตรกรรมตามฤดูกาลซึ่งเป็นอาชีพหลัก รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อตัวผู้ผลิตเองในขั้นตอนการผลิต จากการใช้ส่วนของพืชในการย้อมสีเส้นไหมนั้น ส่วนใหญ่นิยมการสกัดสีจากพืชโดยการต้ม ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยให้ได้ความเข้มข้นของสีสูง และการเตรียมพืชเพื่อสกัดสีย้อม มักจะรวมกลุ่มกันเป็นกลุ่มแม่บ้าน เพื่อทำกิจกรรมร่วมกันซึ่งเป็นการส่งเสริมให้ชุมชนเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ องค์ความรู้ของชาวบ้านแต่ละคนถ่ายทอดไปมาซึ่งกันและกัน หรือมีการถ่ายทอดข้ามจังหวัด ข้ามชุมชนอันจะนำไปสู่การขยายวงกว้างขององค์ความรู้เหล่านี้ออกไป และเป็นการตระหนักถึงความสำคัญของพืชในท้องถิ่น ก่อให้เกิดความรู้สึกในการต้องการอนุรักษ์ทรัพยากรท้องถิ่นและองค์ความรู้ของชุมชนต่อไป



รูปที่ 4 ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ

ก)-ข) เส้นไหมที่ย้อมด้วยครั่ง (*Tachardia lacca* Kerr.) ปะโหลก (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz)

สะเดา (*Azadirachta indica* A. Juss. var. *siamensis* Valetton.)

ค) เส้นไหมที่ย้อมด้วยครั่ง (*Tachardia lacca* Kerr.) ปะโหลก (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz)

พุทรา (*Zizyphus mauritiana* Lamk.)

ง) เส้นไหมที่ย้อมด้วย ปะโหลก (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz) ยูคา (*Eucalyptus globulus* Labill.)

สะเดา (*Azadirachta indica* A. Juss. var. *siamensis* Valetton.)

ตารางที่ 1 ชนิดของพืชให้สีย้อมและองค์ความรู้ในการย้อมสีของกลุ่มชาติพันธุ์ไทเขมร ในตำบลตาหยวก อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ลักษณะวิสัย	ส่วนที่ใช้	เมล็ด	วิธีสกัดย้อม		แหล่งที่มา	UV
						ย้อมร้อน	ย้อมเย็น		
กระถินณรงค์	<i>Acacia auriculaeformis</i> A. Cunn. Ex Benth.	Fabaceae-Mimosoideae	ไม้พุ่ม (ExT)	แก่น/เปลือก	น้ำตาล	✓	-	ชุมชน	0.1
ขนุน	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Moraceae	ไม้ต้น (ExT)	ใบ	ใบสีเขียวเข้ม	✓	-	ชุมชน	0.85
สะเดา	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss. var. <i>siamensis</i> Veleton	Meliaceae	ไม้ต้น (ExT)	แก่น/เปลือก	น้ำตาล	✓	-	ชุมชน	0.6
ขงโค	<i>Bauhinia purpurea</i> L.	Fabaceae-Caesalpinioideae	ไม้พุ่ม (ExST)	ใบ	เขียวขี้ม้า	✓	-	ชุมชน	0.15
จาน	<i>Butea monosperma</i> (Lam.) Taub.	Fabaceae-Caesalpinioideae	ไม้ต้น (T)	ดอก	เหลือง	✓	-	ชุมชน	0.2
ฝาง	<i>Caesalpinia sappan</i> L.	Fabaceae-Caesalpinioideae	ไม้ต้น (ST)	เปลือก	ชมพูอมส้ม	✓	-	ชุมชน	0.4
เหลี่ยม	<i>Canarium sabulatum</i> Guillaumin	Burseraceae	ไม้ต้น (T)	ผล	เทา	✓	-	ชุมชน	0.2
คูณ	<i>Cassia fistula</i> L.	Fabaceae-Caesalpinioideae	ไม้ต้น (T)	ผล	เหลือง/น้ำตาล	✓	-	ชุมชน	0.5
สาบเสือ	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M.King & H.Rob.	Asteraceae	ไม้ล้มลุก (ExH)	ใบ	เขียวอ่อน	✓	-	ชุมชน	0.25
อัญชัน	<i>Clitoria ternatea</i> L.	Fabaceae-Papilionoideae	ไม้ล้มลุกเลื้อย (ExC/H)	ดอก	ม่วง	✓	-	ชุมชน	0.65
มะพร้าว	<i>Cocos nucifera</i> L. var. <i>nucifera</i>	Palmae	ไม้ต้น (ExP/T)	ผล/เปลือก	เทา เขียวอ่อน น้ำตาล	✓	-	ชุมชน	0.45
ขมิ้น	<i>Curcuma longa</i> L.	Zingiberaceae	ไม้ล้มลุก (H)	เหง้า	เหลือง	-	✓	ชุมชน	0.25
มะเกลือ	<i>Diospyros mollis</i> Griff.	Ebanaceae	ไม้ต้น (T)	ผล	ดำ/เขียว	✓	-	ชุมชน	0.5

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 กันยายน- ธันวาคม 2565

ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ลักษณะวิสัย	ส่วนที่ใช้	เขตสี	วิธีสกัดย้อม		แหล่งที่มา	UV
						ย้อมร้อน	ย้อมเย็น		
ตะโกนา	<i>Diospyros rhodocalyx</i> Kurz	Ebanaceae	ไม้ต้น (T)	ผลสุก	ดำ	✓	-	ชุมชน	0.05
ยูคา	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Myrtaceae	ไม้ต้น (ExT)	เปลือก	น้ำตาลอ่อน	✓	-	ชุมชน	0.7
				ใบ	เทา ดำ	✓	-	ชุมชน	
ประโหด (มะพูด)	<i>Garcinia dulcis</i> (Roxb.) Kurz	Clusiaceae	ไม้ต้น (T)	เปลือก/แก่น	เหลือง	✓	-	ซื้อ/ชุมชน	0.75
มังคุด	<i>Garcinia mangostana</i> L.	Clusiaceae	ไม้ต้น (ExT)	ผล	ม่วง/น้ำตาล	✓	-	ซื้อ	0.2
วงช้าง	<i>Heliotropium indicum</i> L.	Boraginaceae	ไม้ล้มลุก (H)	ทั้งต้น	เขียว	✓	-	ชุมชน	0.3
คราม	<i>Indigofera tinctoria</i> L.	Fabaceae-	ไม้พุ่ม (ExS)	ใบ	ฟ้า น้ำเงิน		✓	ชุมชน	0.15
		Papilionoideae							
บก (จะบก)	<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex. A. W. Benn.	Irvingiaceae	ไม้ต้น (T)	ผล/ใบ/แก่น	เขียว	✓	-	ชุมชน	0.05
สบู่เลือด	<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Euphorbiaceae	ไม้พุ่ม (ExS)	ใบ	เขียวอ่อน	✓	-	ชุมชน	0.05
สบู่ดำ (มะเยา)	<i>Jatropha curcas</i> L.	Euphorbiaceae	ไม้พุ่ม (ExS)	ใบ	ดำ	✓	-	ชุมชน	0.05
เข (แกแล)	<i>Maclura cochinchinensis</i> (Lour.) Corner	Moraceae	ไม้ต้น (T)	แก่น	เหลือง/เหลืองเข้ม	✓	-	ชุมชน/ซื้อ	0.55
มะม่วง	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	ไม้ต้น (T)	แก่น/เปลือก/ใบ	เขียวอมเหลือง	✓	-	ชุมชน	0.4
เหมือดแอ (พะเนีย)	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	Melastomataceae	ไม้พุ่ม (S)	ใบ	เขียวอ่อน	✓	-	ชุมชน	0.05
ยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Buch.-Ham	Rubiaceae	ไม้ต้น (T)	แก่น/เปลือก	เหลือง/เขียวอ่อน/ส้ม	✓	-	ชุมชน	0.3
หม่อน	<i>Morus alba</i> L.	Moraceae	ไม้พุ่ม (ExST)	ผล	ม่วง	✓	-	ชุมชน	0.05
ดอกแก้ว	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	Rutaceae	ไม้พุ่ม (S/ST)	ใบ	เขียวเข้ม	✓	-	ชุมชน	0.2
กล้วย	<i>Musa</i> spp.	Musaceae	ไม้ล้มลุก (T)	ก้านใบ	ดำ/เทา	✓	-	ชุมชน	0.45
				ใบ	ครีม	✓	-	ชุมชน	0
				เหง้า	เหลืองเทา	✓	-	ชุมชน	0
เงาะ	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Sapindaceae	ไม้ต้น (T)	ผล	ดำ เท	✓	-	ซื้อ	0.05

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 กันยายน- ธันวาคม 2565

ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ลักษณะวิสัย	ส่วนที่ใช้	เขตสี	วิธีสกัดย้อม		แหล่งที่มา	UV
						ย้อมร้อน	ย้อมเย็น		
บัวสาย	<i>Nymphaea pubescens</i> Willd.	Nymphaeaceae	ไม้น้ำล้มลุก (AqH)	สายบัว (ก้าน ดอก)	เทา/ดำ	✓	-	ชุมชน	0.4
เพกา	<i>Oroxylum indicum</i> (L.) Kurz	Bignoniaceae	ไม้ต้น (T)	เปลือก	เขียวอ่อน	✓	-	ชุมชน	0.05
ประดู่บ้าน	<i>Pterocarpus indicus</i> Willd.	Fabaceae- Papilionoideae	ไม้ต้น (T)	เปลือก	น้ำตาล/น้ำตาล เข้ม	✓	-	ชุมชน	0.15
ขี้เหล็ก	<i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby	Fabaceae- Caesalpinioideae	ไม้ต้น (ExT)	ใบ	เหลืองอ่อน เขียวขี้ม้า	✓	-	ชุมชน	0.55
สบู่เลือด (กลิ้งกลางดง)	<i>Stephania venosa</i> (Blume) Spreng.	Minispermaceae	ไม้พุ่ม (ExS)	ใบ	เขียว/น้ำตาล ทอง/เหลือง/ดำ	✓	-	ชุมชน	0.7
ดาวเรือง	<i>Tagetes erecta</i> L.	Asteraceae	ไม้น้ำล้มลุก (ExH)	ดอก	เหลือง	✓	-	ชุมชน	0.05
มะขาม	<i>Tamarindus indica</i> L.	Fabaceae- Caesalpinioideae	ไม้ต้น (ExT)	ผล ใบ	-	✓	-	ชุมชน	0.1
หูกวาง	<i>Terminalia catappa</i> L.	Combretaceae	ไม้ต้น (T)	ใบ	เขียว	✓	-	ชุมชน	0.35
สมอ	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae	ไม้ต้น (T)	ใบ	เขียว	✓	-	ชุมชน	0.1
พุทรา	<i>Zizyphus mauritiana</i> Lam.	Rhamnaceae	ไม้พุ่ม (S)	แก่น/เปลือก	น้ำตาลอ่อน	✓	-	ชุมชน	0.35

หมายเหตุ: C=Climber, Ex=Exotic plant, T= Tree, S=Shrub, H=Herb, Aq=Aqua, P=Palm tree



รูปที่ 5 ตัวอย่างของพรรณไม้ที่ให้สีในตำบลดายหยาบ อำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ก) มะเกลือ (*Diospyros mollis* Griff.) ข) คราม (*Indigofera tinctoria* L.) ค) หม่อน (*Morus alba* L.)

ง) แก้ว (*Murraya paniculata* (L.) Jack) จ) ฝาง (*Caesalpinia sappan* L.)

ฉ) บัวสาย (*Nymphaea pubescens* Willd.)

ช) ยอ (*Morinda coreia* Buch.-Ham.) ซ) สบู่เลือด (*Stephania venosa* (Blume) Spreng)

ณ) บก (*Irvingia malayana* Oliv. ex. A.W. Benn.)



รูปที่ 6 ลักษณะสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ

- ก) เส้นไหมที่ย้อมด้วยเปลือกมะพร้าว (*Cocos nucifera* L. var. *nucifera*)
 ข) เส้นไหมที่ย้อมด้วยคราม (*Indigofera tinctoria* L.)
 ค) เส้นไหมที่ย้อมด้วยสะเดา (*Azadirachta indica* A. Juss.) ง) เส้นไหมที่ย้อมด้วยสะเดา และแก่น้ำหมักโคลน
 จ) เส้นไหมที่ย้อมด้วยประโหด (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz) ฉ) เส้นไหมที่ย้อมด้วยฝาง (*Caesalpinia sappan* L.)
 ช) เส้นไหมที่ย้อมด้วยครั่ง (*Tachardia lacca* Kerr.) ซ) เส้นไหมที่ย้อมด้วยครั่ง และแก่น้ำขี้เถ้า
 ณ) เส้นไหมที่ย้อมด้วยสับู่เลือด (*Stephania venosa* (Blume) Spreng)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ดที่สนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2564 ขอขอบพระคุณชาวบ้าน กลุ่มแม่บ้านทอผ้า หมู่บ้านตาหยวก อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ และไม่ตรีจิตต่อผู้วิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณนักศึกษา ผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2542). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว: กรุงเทพฯ.
- จารุวรรณ ฉัตรทอง. (2554). การสกัดสีจาก *Neurospora* sp. รายงานการวิจัย สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. กรุงเทพฯ.
- ชนาธินา ไชยภู. (2556). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายมัดย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกสะตอ กรณีศึกษากลุ่มมัดย้อมสีธรรมชาติบ้านศิรีวัง อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวัฒนธรรมการออกแบบ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชัยวัฒน์ แก้วคล้ายขจรศิริ. (2555). การศึกษากระบวนการฝ้าย้อมครามและพืชชนิดอื่นเพื่อพัฒนาผ้าทอมือจากสีธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุุณบัณฑิต. สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะศิลปประยุกต์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ชวนพิศ สีมาขจร, พุทธชาติ ลีปายะคุณ และสมชาย ลือมันคง (2552). คู่มือภูมิปัญญาการฟอกย้อมสีไหมจากวัสดุธรรมชาติภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรมหม่อนไหม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- นันทิพย์ หาสิน. (2562). รายงานการวิจัยการศึกษากระบวนการสกัดสีธรรมชาติจากพืชเพื่องานมัดย้อม. สาขาเกษตรศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2540). ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. โรงพิมพ์เจริญผล: กรุงเทพฯ.
- บุษบงค์ ผึ้งแจ้ง. (2560). การศึกษาภูมิปัญญาการย้อมสีพื้นบ้านด้วยวัตถุดิบธรรมชาติของกลุ่มสตรีทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ ตำบลกองแขก อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. รายงานการวิจัย. สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- พีรศักดิ์ วรสุนทรโสธ, สุนทร คุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชาวาคม, สายันต์ ต้นพานิช, ชลธิชา นิवासประภฤติ และปริญญนันท์ ศรสูงเนิน. (2544). ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้: พืชที่ให้สีย้อมและแทนนิน. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์: กรุงเทพฯ.
- วิเชษฐ จันทร์คงหอม, อุทัย เอกสะพัง และวุฒิ วัฒนสิน. (2554). การผลิตสีเพื่อการย้อมผ้าและการย้อมด้ายของกลุ่มชาวบ้านในจังหวัดสงขลา. วารสารมนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์. 6(1): 219-231.
- วิโรจน์ เกษรบัว และแก้ว อุดมศิริชาคร. (2556). คู่มือพรรณไม้ในสวนพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สมชญา ศรีธรรม, วสา วงศ์สุขแสง และประติภา ปานสันเทียะ. (2563). ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ด้านการใช้สีย้อมธรรมชาติ: กรณีศึกษา ป่าชุมชนในจังหวัดสุรินทร์. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 1(2): 17-32.

- ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. (2544). รายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์. พิมพ์ครั้งที่ 2. (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม). ประชาชน จำกัด: กรุงเทพฯ.
- สไว มัธฐา และประนอม จันทร์โหมทัย. (2558). พืชสกุลครามในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เอี่ยมพร จันทร์สองดวง, กนกกรณ์ ศิริทิพย์, รัชนิพร นาไชย, ลัดวาลย์ บัวคำโคตร และเบญจมาศ อ่อนพุทธา. (2561). พืชที่ให้สีย้อมและองค์ความรู้พื้นฐานในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว ในอำเภออาจสามารถ และอำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดร้อยเอ็ด. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 10(1): 109-126.
- Höft M., Barik S.K. and Lykke A.M. (1999). Quantitative ethnobotany. Applications of Multivariate and Statistical Analysis in Ethnobotany. People Plant Working Paper: Paris.
- Junsongduang A., Sirithip K., Inta A., Nachai R., Onputtha B., Tanming W. and Balslev H. (2017). Diversity and traditional knowledge of textile dyeing plants in Northeastern Thailand. Economic Botany. 71(3): 241-255.
- Lambare D.A., Hilgert N.I. and Ramos, R.S. (2011). Dyeing plants and knowledge transfer in the Yungas communities of Northwest Argentina. Economic Botany. 65(3): 315-328.
- Lawarence B., Mahesh S., Aswathy J.M., Murugan, G. and Murugan, K. (2015). Ethnic knowledge of dye yielding plants used by the Kani tribes of Ponmudi Hill: A case study. Indo American Journal of Pharm Research. 5(07): 2611-2616.
- MacFoy C. (2004). Ethnobotany and sustainable utilization of natural dye plants in Sierra Leone. Economic Botany. 58(Supplement): S66-S76.
- Nirathron N. (2021). Home Work in Thailand. In Home-Based Work and Home-Based Workers (1800-2021). Koninklijke Brill: Netherland
- Nilvarangkul K., Wongprom,J., Pinchareon, S. and Thanattherakul C. (2004). Assessing the health impact of the One Tambon One Product policy on local fabric weaving groups in North-Eastern Thailand. Journal of Nurses' Association of Thailand North-Eastern Division. 22: 57-65.
- Nilvarangkul K., Wongprom J., Tumnong C., Supornpun A., Surit, P. and Srithongchai N. (2006). Strengthening the self- care of women working in the in formal sector: Local fabric weaving in Khon Kaen Thailand (Phase I). Industrial Health. 44: 101-107.
- Phillips O., Gentry A.H., Reynel C., Wilkin P., and Galvez D.B.C. (1994). Quantitative ethnobotany and Amazonian conservation. Conservation Biol. 8: 225-248.
- Rosli N., Ismail Z. and Lepun P. (2015). Plants used as natural dye by the Orang Ulu Ethnics in Asap Koyan Belaga Sarawak, Malaysia. International Journal of Current Research. 7(8): 19770-19775.
- Smitinand T., Santisuk T. and Larsen K. (2005). Flora of Thailand. In Smitinand T., Santisuk T. and Larsen K., Editors. Diamond Printing. Bangkok.

- Cultivation and post-harvest management towards microbial quality of sea grape (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) in Laem Phak Bia Subdistrict, Ban Laem District, Phetchaburi Province
Wanaree Nimpee, Sarisak Soontornchai and Vasina Chandrasiri
- Heat transfer augmentation in a circular tube using V-wavy twisted tape
Nurat Dokmai, Smith Eiamsa-ard, Prachya Mukda and Kwanchai Nanan
- Design and development of compressor ice cream maker machine
Cherdpong Chiawchanwattana, Chanat Vipattanaporn, Ranaporn Senasutham and Suphan Yangyuen
- The mobile solar water pump
Prachya Mukda, Alongkorn Chatmuangpak, Kwanchai Nanan, Bhark Pramkaeo, Apirat Wongsupachart and Chuangchai Chupwa
- A screw press machine for ginger juice extraction
Cherdpong Chiawchanwattana, Ranaporn Senasutham, Chanat Vipattanaporn and Suphan Yangyuen
- Industrial distillation of essential oils from Taptaro wood chips and chemical composition analysis
Namphon Pipatpaiboon, Sanhawat Thongdaeng, Amorn Donmuang, Ratchadawan Aukkanimart and Surachet Srichamnan
- Breeding of Striped flying barb (*Esomus metallicus*)
Kasama Danwandee, Krittima Kasamawut and Samnao Saowakoon
- Study of the optimal ratios and properties of Charcoal briquettes from Bamboo
Jutapol Jumpatam, Lumpoon Laorach, Pitinan Arayangkun and Surasing Arayangkun
- Propagation of *Caladium bicolor* (Aiton) Vent. by plant tissue culture technique
Khwanduean Rattana, Thidarat Phongphaew, Witida Singchue, Kajohnpong Dasri and Supavee Sangchanjiradet
- Species diversity of dyeing plants and knowledge of natural dyeing by Tai Khmer ethnic group in Suwannaphume district, Roi Et province
Auemporn Junsongduang and Nongnid Prachaiboon