วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมประยุกต์

Wittayasara: Integration Apply Engineering and Industrial Technology

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567

Volume 17 No.1 January - June 2024

ISSN: 3027-8376 (Print)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

โทรศัพท์ 0 5423 7352 ต่อ 1339

http://www.itech.lpru.ac.th

คณะทำงานและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เจ้าของ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ที่ปรึกษา อธิการบดี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิติกร

บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง รองศาสตราจารย์บุญชัด เนติศักดิ์

บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ ผากา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์	นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	
ศ.ดร. ก้องกิติ	พูสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ศ.ดร. ตรีทศ	เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	
ศ.ดร. ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
ศ.ดร. ธนารักษ์	ธีระมั่นคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	
ศ.ดร. ปริญญา	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	
ศ.ดร. สุพล	อนันตา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
ศ.ดร. วัฒนวงศ์	รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	
ศ.ดร อภิรัฐ	ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	
รศ.ดร. กวิน	สนธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	
รศ.ดร. เกรียงศักดิ์	เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา	
รศ.ดร. ชิตชัย	อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
รศ.ดร. ช่วงโชติ	พันธุเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	
รศ.ดร. ดรุณี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	
รศ.ดร. ธีรศิลป์	ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	
รศ.ดร. นภดล	อุชายภิชาติ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	
รศ.ดร. นพมณี	โทปุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
รศ.ดร. นัฐพร	ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
รศ.ดร. ปรุงศักดิ์	อัฒพุฒ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	
รศ.ดร. พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
รศ.ดร. พงศ์	หรดาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	
รศ.ดร. มนตรี	ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
รศ.ดร. วัฒนพงศ์	รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา	
รศ.ดร. วิชัย	แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	
รศ.ดร. สรา	อาภรณ์	มหาวิทยาลัยมหิดล	
รศ.ดร. เอกรัฐ	บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
รศ. นิลวัฒน์	พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	
รศ. ยืน	ภู่วรวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
รศ. วิชัย	พฤกษ์ธาราธิกูล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	
รศ. วิชัย	ฤกษ์ภูริทัต	มหาวิทยาลัยนเรศวร	
รศ. สมชาย	ชื่นวัฒนาประณิธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี	
รศ. สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	
รศ. สายัณห์	จันทร์วิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	
รศ. สุมาลี	อุณหวณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
รศ. สุวิช	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
รศ. อายุวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผศ.ดร. จิรพัฒน์	วาณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
ผศ.ดร. นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร	
ผศ.ดร. นิวัตร	พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม	
ผศ.ดร. ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	
ผศ.ดร. ศักดิพล	เทียนเสม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
ผศ.ดร. สมชาย	มณีวรรณ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	
ผศ.ดร สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	
ผศ.ดร. อภิชาต	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ผศ.ดร. ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร	

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร.	กิตติศักดิ์	สมุทธารักษ์
ศ.	จำเนียร	นันทดิลก
รศ.ดร.	นันทะ	บุตรน้อย
รศ.ดร.	อนิรุจน์	มะโนธรรม
ผศ.	พงษ์สวัสดิ์	อำนาจกิติกร
Mr.	Richard	Lawrence Mann

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

รศ.	ธิติมา	คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
ผศ.ดร.	วศิน์วิโรตม์	เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
นาง	วรัชญานันท์	เมธีวัชรโยธิน	ฝ่ายธุรการและการเงิน
นางสาว	กมลชนก	ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ISSN: 1906-5337 (Print) / E-ISSN: 2672-9539 (Online)
เป็นวารสารระดับชาติที่ทุกบทความได้รับการกลั่นกรองจากคณะกรรมการ และตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ltech

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ได้เปลี่ยนชื่อเป็น “**วารสารวิชาการวิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์**” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยและวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น และยังเป็นแหล่งแสวงหาความรู้ สร้างความรู้ และการต่อยอดองค์ความรู้ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ ที่ทำให้ “วารสารวิชาการวิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง สามารถดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องและพร้อมที่จะพัฒนาวารสาร และผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ได้เปลี่ยนชื่อเป็น “**วารสารวิชาการวิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์**” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยและวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสร้างสรรค์ผลงานใหม่

จากผลการดำเนินการของคณะทำงานงานวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ จนเป็นที่รู้จักและยอมรับในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น และยังเป็นแหล่งแสวงหาความรู้ สร้างความรู้ และการต่อยอดองค์ความรู้ ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง ท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากทุกฝ่าย ที่ทำให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง และพร้อมที่จะพัฒนาสู่วารสารที่มีคุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ ผากา
บรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี
สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง 1
ชลาลัย วงเวียน, อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก และสุภารัตน์ ค้างสันเทียะ

การสร้างแผนผังการตัดไม้อัดสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบ DIY โดยใช้วิธีฮิวริสติก 15
ศรายุทธ มาลัย, ธชนม์ ก้าวสมบูรณ์, ปิญชาน์ ต่อกิตติกุล และหฤทัย ไทยสุชาติ

การเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม 29
ศิวัตม์ กมลคุณานนท์, ชัญญพัชร์ จารุวัชรเศรษฐ์, พลิศภัสร์ คำฟู, ชัชพล เกษวิริยะกิจ, นัฐพงศ์ ส่งเนียม และดุษณี ศุภวรรธนะกุล

การใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากสับปะรดสำหรับผลิตเอทานอล 42
โศภิษฐพร ศิลปภิรมย์สุข, อภิศักดิ์ จักรบุตร, เยาวเรศ ชูศิริ, ศิวัช ตั้งประเสริฐ, สมศักดิ์ ก่ำทอง และธีราภรณ์ พรหมอนันต์

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ 55
สามารถ ยืนยงพานิช และภาคภูมิ ธรรมใจ

ภาคผนวก 66
ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ

CONTENTS

Letters from the president
Letters from the Editors

Page

Improving Efficiency in the Garment Production Process: Case Study of a Garment Factory 1
Chalalai Wongwian, Alongkorn Chatmuangpak and Suparat Kangsantia

Plywood Cutting Layout Design for DIY Furniture Manufacturing by Heuristic Method 15
Sarayut Malai, Thachon Kaosomboon, Pincha Torkittikul and Haruthai Thaisuchat

Comparison of Gray Oyster Mushroom Production in a Smart Farm and Traditional Farm 29
Siwat Kamonkunanon, Chanyaphat Jaruwatcharaset, Phalitphat Khumfu, Chatchaphon Ketviriyakit, Nattapong Songneam and Dusanee Supawantanakul

A study of Ethanol Production Using Agricultural Waste from Pineapples 42
Sopittaporn Sillapapiromsuk, Apisak Jukkraboot, Yaowares Chusiri, Siwat Thungprasert, Somsak Gathong and Theeraporn Promanan

Development of a Basic Digital Mobile Application for Computer Technology Students 55
Samart Yeunyongphanit and Phakphum Tarmjai

Appendix 66
Standard requirements for academic journals

การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง

Improving Efficiency in the Garment Production Process: Case Study of a Garment Factory

ชลาลัย วงเวียน[1], อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก[2*] และสุภารัตน์ ค้างสันเทียะ[3]

Chalalai Wongwian[1], Alongkorn Chatmuangpak[2*] and Suparat Kangsantia[3]

[1*,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 โทร 0 3270 8612 โทรสาร 0 3270 8653

E-mail: alongkorn.cha@mail.pbru.ac.th

[1*,2,3]Industrial Engineering Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Phetchaburi Rajabhat University

38 Moo 8 Na Wung Sub District, Mueang District, Phetchaburi, 76000 Tel. +66 3270 8612 Fax. +66 3270 8653

E-mail: alongkorn.cha@mail.pbru.ac.th

วันที่รับบทความ 10 มกราคม 2567 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 28 เมษายน 2567 **วันที่ตอบรับบทความ** 30 เมษายน 2567

Received: Jan. 10, 2024 **Revised:** Apr. 28, 2024 **Accepted:** Apr. 30, 2024

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้ผังก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเบื้องต้น วิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการในกระบวนการผลิต และใช้แผนภูมิกระบวนการไหล เพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตและคุณค่ากิจกรรมในกระบวนการผลิต จากนั้นใช้แนวคิดการผลิตแบบลีนและหลักการ ECRS เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยกำจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็น ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานบางขั้นตอนให้สามารถทำงานพร้อมกันได้ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกปรับปรุงกระบวนการผลิตแผนกเสื้อโปโล ซึ่งผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดรอบเวลาในกระบวนการผลิตจาก 5 ชั่วโมง 46 นาที เหลือ 4 ชั่วโมง 48 นาที ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพดีขึ้น คิดเป็นร้อยละ 16.76 และลดขั้นตอนการทำงานได้ 8 ขั้นตอน

คำสำคัญ: แผนภูมิกระบวนการไหล, การผลิตแบบลีน, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

Abstract

The objectives of this research article were: 1) to analyze the problems in the garment production process within the textile industry; and 2) to reduce the production processes and time in order to be more efficient. This study focused on the polo shirt production process. It used the fishbone diagram to analyze and find the causes of the problems relating to the 7 wastes, and the process flow chart to analyze the value of activities within the production process. Lean manufacturing concepts and ECRS principles were used to improve the production process by eliminating unnecessary processes and

combining some processes. Comparative results of the production process before and after the improvement found that the cycle time in the production process was reduced from 5 hours 46 minutes to 4 hours 48 minutes, with the production process reduced by 8 steps, resulting in a more efficient production process (16.76%).
Keywords: Flow Process Chart, Lean Manufacturing, Textile Industry

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย มีสัดส่วนมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเป็นอันดับ 4 รองจาก อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมเครื่องจักรสำนักงาน และอุตสาหกรรมยานยนต์ ตามลำดับ (Cherdsom et al., 2020) ด้วยปัจจัยจากเศรษฐกิจโลกที่มีความผันผวน ทั้งจากความขัดแย้งทางภูมิรัฐศาสตร์ที่ยืดเยื้อต่อเนื่อง ปัญหาเงินเฟ้อในแต่ละประเทศที่สูงขึ้นจนต้องมีการปรับอัตราดอกเบี้ยส่งผลต่อกำลังซื้อของผู้บริโภคที่ลดลง หรือปัญหาเรื่องต้นทุนพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น และภาวะการณ์ของตลาดที่ยังคงไม่แน่นอน ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องแต่งกายไปทั่วโลก ดังนั้น จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมเสื้อผ้าต้องมีการปรับตัวโดยเฉพาะด้านต้นทุนการผลิต (Thailand Textile Institute, 2022)

ระบบการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม มักประสบปัญหาด้านการจัดสมดุลการประกอบ (Assembly line balancing) ซึ่งเป็นปัญหาเกี่ยวกับการไหลของงานในสายการตัดประกอบชุดเครื่องนุ่งห่ม โดยส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนเป็นหลักในการประกอบสินค้า (Cheewaworanontree et al., 2018) โดยขั้นตอนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบจะประกอบด้วย 6 ขั้นตอน เหมือนกันคือ การสร้างแพทเทิร์นและมาร์คเกอร์ การตัดผ้า การพิมพ์/ปักลาย การเย็บประกอบ การตรวจสอบคุณภาพ และการตกแต่งสำเร็จรูป (Finishing) (Sittichokwarodom, 2009)

โรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเพื่อการส่งออก มีพนักงานประมาณ 300 คน มีการผลิต 2 แบบ ได้แก่ การผลิตตามคำสั่งซื้อ คิดเป็นร้อยละ 20 และการผลิตเพื่อรอจำหน่าย คิดเป็นร้อยละ 80 กำลังการผลิตประมาณ 60,000 ตัวต่อเดือน ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเสื้อผ้าผู้ใหญ่ โดยแบ่งเป็นสัดส่วนสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทได้ดังนี้ เสื้อผ้าสตรี ร้อยละ 40 และเสื้อผ้าบุรุษ ร้อยละ 60 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด โดยแต่ละประเภทแบ่งเป็นการผลิตเสื้อยืดคอกลม ร้อยละ 30 และเสื้อโปโล ร้อยละ 70 จากการศึกษาข้อมูลและสำรวจพื้นที่ทำงาน พบว่าในขั้นตอนการผลิตเสื้อโปโลเพื่อรอจำหน่าย ซึ่งเป็นส่วนที่มีสัดส่วนในการผลิตมากที่สุดของโรงงาน มีปัญหาในการบริหารจัดการขั้นตอนการผลิต จึงส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าในระบบการผลิต เช่น การทำงานที่ซ้ำซ้อน การรองาน พนังงานมีการว่างงาน เป็นต้น จึงส่งผลให้โรงงานขาดโอกาสในการจำหน่ายสินค้า เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานไม่สามารถผลิตสินค้าได้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด อีกทั้งยังไม่เคยมีการบริหารจัดการหรือการแก้ไขปัญหา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมาก่อน

งานวิจัยนี้ผู้จัดทำได้นำหลักการ เรื่องแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow process chart) และแผนภาพการไหล (Flow diagram) ร่วมกับแนวคิดการผลิตแบบลีนและหลักการ ECRS มาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเสื้อสำเร็จรูป ซึ่งจะสามารถกระบวนการหรือลดเวลางาน ส่งผลให้

สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบผลิตเสื้อสำเร็จรูป คือการมีกระบวนการที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น หรือมีกระบวนการที่สามารถทำร่วมกันได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเสื้อสำเร็จรูป
2. เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตเสื้อโปโล

3. ทบทวนวรรณกรรม

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้เครื่องมือแผนภูมิกระบวนการไหล ร่วมกับแนวคิด ECRS เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีหลักการใช้งานที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ได้ในกระบวนการผลิตที่หลากหลาย

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา และอภิชาติ ชัยกลาง (2565) (Kittidecha & Chaiklang, 2022) ได้ทำการศึกษาปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด โดยใช้เทคนิคการศึกษางาน โดยการวิเคราะห์กระบวนการผลิตด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบ แผนภาพการไหล และแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบ 2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางและลดเวลาในการขนย้าย

กนกวรรณ สุภักดี และนริศรา สารีบุตร (2565) (Supakdee & Sareebut, 2020) ใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต และแผนภาพการไหลในการเก็บข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์สาเหตุ โดยใช้หลักการแผนผังก้างปลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตแหนมหมู

เดโชชัย สาพิมพ์ (2564) (Sapim, 2021) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์ โดยการศึกษากระบวนการผลิต ศึกษาสภาพปัจจุบันของสายการผลิตอุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์ และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพร้อมแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยใช้เครื่องมือการสร้างแผนภูมิกระบวนการไหล

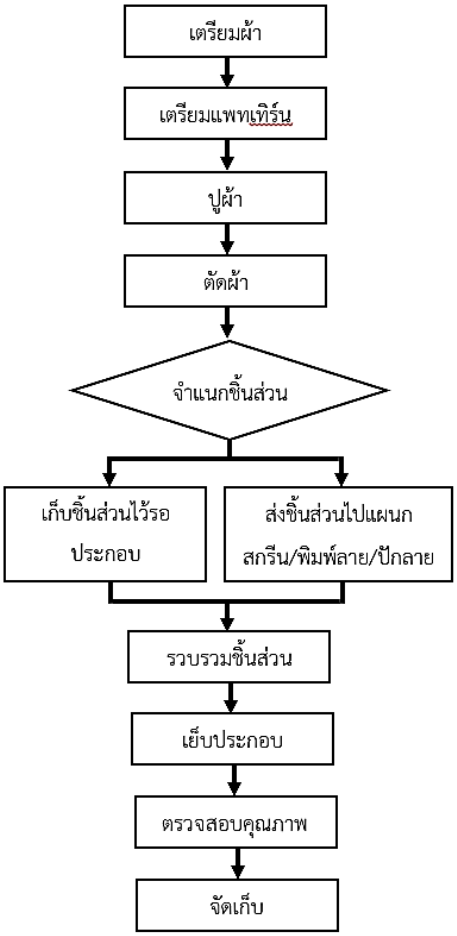
กนกพลอย ธาตุเพชร และปณัทพร เรืองเชิงชุม (2564) (Thatphet & Ruangchoengchum, 2021) ทำการศึกษาเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ด้วยการวางผังตามกระบวนการผลิต ในธุรกิจร้านกาแฟสด โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล คำนวณหาจำนวนรอบที่เหมาะสม การวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรม รวมถึงผังการดำเนินการและแผนภูมิต้นไม้ร่วมกับ 5 Whys เพื่อการลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น

กฤต จันทรสมัย และอรอุมา ลาสุนันท์ (2566) (Chantarasamai & Lasunon, 2023) ทำการปรับปรุงผังแผนกตรวจโรคทั่วไป และแผนกกุมารเวชกรรมของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม เพื่อลดระยะทางและลดเวลาของการเข้ารับบริการ โดยการประยุกต์ใช้หลักการของการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic layout planning: SLP) ในการปรับปรุงผังแล้วทำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลของระยะทางในการเคลื่อนที่, เวลาในการเข้ารับบริการ, ขนาดพื้นที่, เวลาในการเคลื่อนย้ายโดยเฉลี่ย และเวลาเฉลี่ยในการใช้บริการของผังก่อนและหลังการปรับปรุง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ณ โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเพชรบุรี มีพนักงานทั้งสิ้น 300 คน ใช้เวลาในการศึกษาและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตในแผนกเสื้อโปโล โดยการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปมีขั้นตอนการผลิตในภาพรวม ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพรวมขั้นตอนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป

4.2 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินงาน

1) แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow process chart) เป็นแผนภูมิที่เขียนขึ้นเพื่อบันทึกขั้นตอนการทำงาน แปรรูปวัตถุดิบจนเป็นนผลิตภัณฑ์ โดยการใชสัญลักษณ์ 5 ตัว นำมาใช้ในการเรียงขั้นตอนกระบวนการผลิต เป็นการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการสังเกต และศึกษากระบวนการทำงานจากการปฏิบัติงานจริง (Site-observation) แผนภาพการไหล (Flow diagram) นำมาใช้เพื่อศึกษาการไหลของงาน ในกระบวนการผลิต โดยนำขั้นตอนมาวาดเป็นแผนภาพเพื่อให้เห็นขั้นตอนกระบวนการผลิตได้ชัดเจนขึ้น (Klomjit, 2022)

2) แผนผังก้างปลา (Fish bone diagram) หรือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหา โดย Dr. Kaoru Ishikawa เป็นผู้เริ่มนำผังนี้ มาใช้ในปี ค.ศ.1953 แผนผังก้างปลาจะมีการใช้เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา ซึ่งสิ่งสำคัญในการสร้างแผนผังก้างปลาคือการระดมความคิดร่วมกันทำเป็นกลุ่ม เพื่อค้นหาปัญหาภายในหน่วยงานนั้น ๆ (Yoonan, 2017)

3) แนวความคิดการผลิตแบบลีนและหลักการ ECRS เป็นแนวคิดสำหรับการกำจัดความสูญเปลา เพื่อพิจารณาขั้นตอนของงานช่วยให้เห็นแนวทางการปรับปรุงการทำงาน เพื่อปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานทั้งหมดให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Boonkong et al., 2018)

4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) เก็บรวบรวมข้อมูล ทีมผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสุ่มลงพื้นที่ทำงานในแผนกเสื้อโปโล จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการบันทึกขั้นตอนการทำงานของพนักงานตลอดสายการผลิต พร้อมทั้งใช้นาฬิกาจับเวลา เพื่อจับเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน ซึ่งในขั้นตอนนี้ใช้ทีมผู้วิจัย จำนวน 2 คน และพนักงานของโรงงานจำนวน 4 คน โดยจะมีการให้ความรู้และอธิบายวิธีและขั้นตอนการบันทึกข้อมูลก่อนปฏิบัติงาน

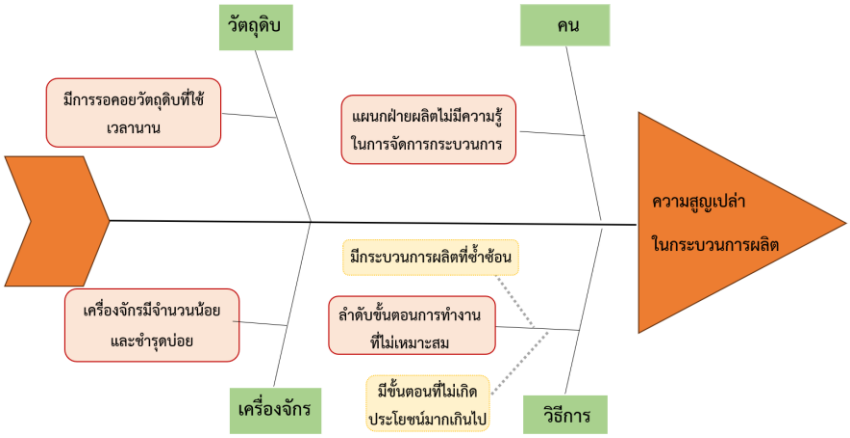
2) ขั้นตอนจัดทำแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการผลิต และแผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต โดยทีมผู้วิจัยและผู้เก็บข้อมูลได้ประชุมร่วมกัน เพื่อจัดทำแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการผลิต และแผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการแก้ไขปัญหา ทีมวิจัยและตัวแทนพนักงานของโรงงานได้ร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยนำข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิกระบวนการไหล และแผนภาพการไหล มาวิเคราะห์กิจกรรมที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต พร้อมวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา ใช้หลักการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน โดยใช้ข้อมูลจากการจับเวลาในแต่ละขั้นตอนขั้นตอนละ 3 ครั้ง และใช้แนวความคิดการผลิตแบบลีนและหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5. ผลการวิจัย

5.1 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต ก่อนการปรับปรุง

นำแผนผังก้างปลา มาใช้หาสาเหตุของปัญหา และปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่า 7 ประการ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการสังเกตการณ์ทำงานในกระบวนการทำงานจริง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังก้างปลาแสดงเหตุและผลของความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

จากแผนผังก้างปลา แสดงให้เห็นถึงปัจจัยหลักในการผลิตที่มีผลต่อความสูญเปล่าของการผลิตได้ 4 ปัจจัยหลัก คือ ด้านคน ด้านวิธีการในการผลิต ด้านวัตถุดิบ และด้านเครื่องจักร ซึ่งปัจจัยด้านคน พบว่าพนักงานขาดความรู้ในเรื่องการจัดกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ด้านวัตถุดิบ พบว่ามีการสั่งวัตถุดิบตามยอดคำสั่งซื้อ จึงทำให้เกิดการรอคอยและส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิต ด้านเครื่องจักร พบว่าเครื่องจักรที่ใช้งานได้ปกติมีจำนวนน้อยเกินไปบางส่วนชำรุดและไม่มีพนักงานแผนกซ่อมบำรุง และด้านวิธีการ พบว่ามีการจัดลำดับงานที่ไม่เหมาะสม และมีการจัดลำดับงานที่ซับซ้อนมากเกินไป และจากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น สามารถสรุปความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้ดังตารางที่ 1 โดยผู้วิจัยและพนักงานของโรงงานเห็นว่าควรดำเนินการปรับปรุงในส่วนวิธีการดำเนินงาน เนื่องจากมีต้นทุนในการปรับปรุงที่ต่ำแต่ส่งผลโดยตรงต่อการทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการปรับปรุง โดยใช้แนวคิดการผลิตแบบลีนและหลักการ ECRS เป็นกรอบในการหาแนวทางในการแก้ปัญหา และได้ใช้แผนภูมิการไหลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ ในกระบวนการผลิต

ความสูญเปล่า	ผลการวิเคราะห์
1. ความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตมากเกินไป	จากข้อมูลการผลิต ไม่พบการผลิตที่มากเกินไป หรือสินค้าคงค้าง
2. ความสูญเปล่าเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง	ในกระบวนการผลิตพบการจัดเก็บวัสดุคงคลังประเภทด้ายเย็บผ้า และผ้าที่เป็นส่วนเกินจากการตัดแบ่งเพื่อผลิต เป็นส่วนใหญ่
3. ความสูญเปล่าเนื่องจากการขนส่ง	กระบวนการผลิตมีกิจกรรมการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายเครื่องมือหรือวัสดุ ที่ไม่เกิดประโยชน์ในหลายขั้นตอน
4. ความสูญเปล่าเนื่องจากการเคลื่อนไหว	พนักงานบางส่วนขาดความชำนาญการการตัดเย็บ และพนักงานบางส่วนมีขั้นตอนการตัดเย็บที่แตกต่างกันตามความถนัด จึงส่งผลให้การทำงานของพนักงานบางคน

ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ ในกระบวนการผลิต (ต่อ)

ความสูญเปล่า	ผลการวิเคราะห์
5. ความสูญเปล่าเนื่องจากกระบวนการผลิต	เกิดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวขณะทำการตัดเย็บ กระบวนการผลิตที่หลายกิจกรรมที่เป็นกิจกรรม ที่ซ้ำซ้อนกันและไม่เกิดประโยชน์ต่อการผลิต
6. ความสูญเปล่าเนื่องจากการรอคอย	เนื่องจากระบบการผลิตเป็นแบบสั่งผลิต จึงมีระยะเวลาการรอคอยวัตถุดิบ (ผ้า) เพื่อใช้ในการผลิตในแต่ละรอบการผลิต
7. ความสูญเปล่าเนื่องจากงานเสีย	จากข้อมูลพบว่าในกระบวนการผลิตจะพบงานที่เสียจากการตัดเย็บประมาณร้อยละ 0.5 - 1 ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่โรงงานยอมรับได้

ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการไหล (ก่อนปรับปรุง)

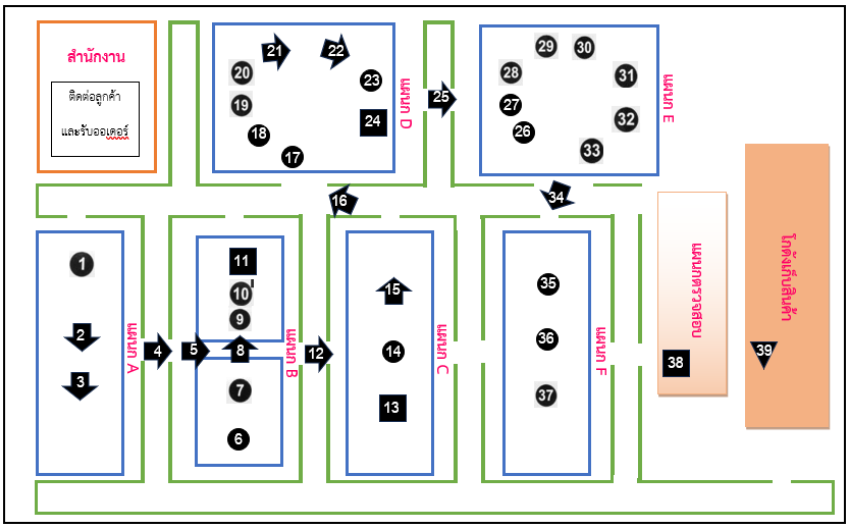
แผนภูมิกระบวนการไหล

☒ วิธีการเดิม ☐ แบบคน ☐ วิธีที่เสนอ ☒ แบบวัสดุ		เวลาในการผลิต (นาที)		
		วิธีเดิม	วิธีที่เสนอ	ความแตกต่าง
ชื่อเรื่อง กระบวนการผลิตเสื้อโปโล	การทำงาน ○	22	-	-
แผนก ตัด, เตรียมงาน, ประกอบตัว, ฟินิชชิ่ง	การขนส่ง ⇨	12	-	-
หมายเลขแผนภูมิ -	การตรวจสอบ □	4	-	-
แผ่นที่ -	การคอย D	0	-	-
เขียนโดย พิมณพัฒน์ , เพชรลดา	การเก็บรักษา ▽	1	-	-
วันที่ 30/08/66				

คำอธิบายการทำงาน	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)	คุณค่ากิจกรรม
1. การคำนวณจำนวนเสื้อเทียบกับจำนวนผ้าที่ต้องการใช้ (แผนก A)	●⇨□D▽	10	VA
2. พนักงานเดินไปเอาผ้า (แผนก A)	○➡□D▽	15	NNVA
3. พนักงานเดินกลับจักร (แผนก A)	○➡□D▽	15	NNVA
4. แผนก A ลำเลียงสินค้าไปแผนก B	○➡□D▽	5	NNVA
5. พนักงานเดินไปเอาอุปกรณ์ที่ทำการสั่งซื้อ (แผนก B)	○➡□D▽	10	NVA
6. แบ่งงานเป็น 2 กลุ่ม (แผนก B)	●⇨□D▽	8	NVA
7. นำผ้าที่ได้มาปูเท่ากับจำนวนที่สั่ง (แผนก B)	●⇨□D▽	5	VA
8. นำแพทเทิร์นมาวางบนผ้า (แผนก B)	○➡□D▽	3	VA
9. จัดการวาดตามแพทเทิร์นเสื้อ (แผนก B)	●⇨□D▽	4	VA
10. เริ่มตัดแต่ละส่วนของเสื้อ (แผนก B)	●⇨□D▽	5	VA
11. ตรวจสอบความถูกต้องในการตัด (แผนก B)	○⇨■D▽	10	NVA

ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการไหล (ก่อนปรับปรุง) (ต่อ)

คำอธิบายการทำงาน	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)	คุณค่ากิจกรรม
12. แผนก B ลำเลียงไปแผนก C เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ	○➡□ D▽	10	NNVA
13. เช็คดูว่ามีงานปักโลโก้หรือสกรีนตรงไหนของเสื้อบ้าง (แผนก C)	○⇨■ D▽	10	NNVA
14. จัดใส่ถุงให้เรียบร้อยเพื่อที่จะคัดแยกใส่ใบงานและส่งไปยังโรงปักหรือโรงสกรีน (แผนก C)	●⇨□ D▽	10	NNVA
15. แผนก C ลำเลียงไปปักโลโก้และสกรีนที่แผนก D	○➡□ D▽	40	NNVA
16. พนักงานแผนก D เดินไปรับผ้าที่สั่งสกรีนและปักโลโก้เรียบร้อยแล้วมาทำกระบวนการต่อไป	○➡□ D▽	10	NNVA
17. จับคู่ผ้าหน้าหลัง (แผนก D)	●⇨□ D▽	3	VA
18. เย็บไหล่ด้านบน (แผนก D)	●⇨□ D▽	6	VA
19. ตัดด้าย (แผนก D)	●⇨□ D▽	5	VA
20. เย็บข้อต่อคอ (แผนก D)	●⇨□ D▽	5	VA
21. พนักงานเดินไปหยิบแขนจั้ม (แผนก D)	○➡□ D▽	10	NNVA
22. พนักงานเดินกลับจักร (แผนก D)	○➡□ D▽	10	NNVA
23. นำชิ้นส่วนแขนกับตัวแขนจั้มมาประกอบเข้าด้วยกัน (แผนก D)	●⇨□ D▽	5	VA
24. ทำการตรวจสอบความถูกต้อง (แผนก D)	○⇨■ D▽	5	VA
25. ลำเลียงสินค้าไปแผนก E เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไป	○➡□ D▽	5	NNVA
26. จับคู่แขนเสื้อ (แผนก E)	●⇨□ D▽	5	VA
27. จับคู่แขนเสื้อและลำตัว (แผนก E)	●⇨□ D▽	10	VA
28. ทำการเย็บต่อกัน (แผนก E)	●⇨□ D▽	15	VA
29. พลิกตัวผ้า (แผนก E)	●⇨□ D▽	5	VA
30. เย็บตะเข็บข้าง (แผนก E)	●⇨□ D▽	15	VA
31. พับลำตัวไปด้านข้างตะเข็บ (แผนกE)	●⇨□ D▽	5	VA
32. เย็บปิดชายเสื้อด้านล่าง (แผนก E)	●⇨□ D▽	10	VA
33. เก็บด้าย (แผนก E)	●⇨□ D▽	2	VA
34. แผนก E ลำเลียงไปแผนก F เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง	○➡□ D▽	10	NNVA
35. เก็บรายละเอียด (แผนก F)	●⇨□ D▽	5	VA
36. เก็บชายผ้าส่วนต่าง ๆ (แผนก F)	●⇨□ D▽	10	VA
37. เก็บขี้ด้าย (แผนก F)	●⇨□ D▽	5	VA
38. ตรวจสอบความสมบูรณ์ของผ้า	○⇨■ D▽	10	VA
39. นำสินค้าเก็บไว้ที่โกดังเก็บของ	○⇨□ D▼	15	NNVA



ภาพที่ 3 แผนภาพการไหล (Flow diagram) ของกระบวนการผลิต (ก่อนปรับปรุง)

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 3 สามารถวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรมได้ดังต่อไปนี้

- กิจกรรมที่มีความจำเป็น (VA) จำนวน 23 กิจกรรม
- กิจกรรมที่ไม่จำเป็น (NVA) จำนวน 3 กิจกรรม
- กิจกรรมที่ไม่จำเป็นแต่ต้องทำ (NNVA) จำนวน 13 กิจกรรม

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตสามารถทำการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้หลักการ ECRS ได้ดังต่อไปนี้

Eliminate (การกำจัด) นำมาปรับปรุงในกระบวนการผลิต ดังนี้

- กระบวนการที่ 5 เป็นกระบวนการที่พนักงานเดินไปเอาอุปกรณ์ที่ทำการสั่งซื้อ สามารถกำจัดออกได้ เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์
- กระบวนการที่ 6 เป็นกระบวนการแบ่งงานเป็น 2 กลุ่ม สามารถกำจัดออกได้ เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์
- กระบวนการที่ 11 ตรวจสอบความถูกต้องในการตัด สามารถกำจัดออกได้ เพราะเป็นกระบวนการที่ทำซ้ำ และไม่ก่อให้เกิดประโยชน์

Combine (การรวมกัน) นำมาปรับปรุงในกระบวนการผลิต ดังนี้

- กระบวนการที่ 17 จับคู่ผ้าหน้าหลัง และกระบวนการที่ 18 เย็บไหล่ด้านบน สามารถรวมขั้นตอนได้
- กระบวนการที่ 25 ลำเลียงสินค้าไปแผนกต่อไป เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไป, กระบวนการที่ 26 จับคู่แขนเสื้อ และกระบวนการที่ 27 จับคู่แขนเสื้อและลำตัว ซึ่งทั้งสามกระบวนการนี้สามารถรวมกันได้ เพื่อลดเวลาในการผลิตได้
- กระบวนการที่ 34 ลำเลียงไปแผนกถัดไปเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และกระบวนการที่ 35 เก็บรายละเอียด ทั้งสองกระบวนการนี้สามารถรวมกันได้ เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิต
- กระบวนการที่ 36 เก็บชายผ้าส่วนต่าง ๆ และกระบวนการที่ 37 เก็บขี้ด้าย ทั้งสองกระบวนการนี้สามารถรวมกันได้ เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิต

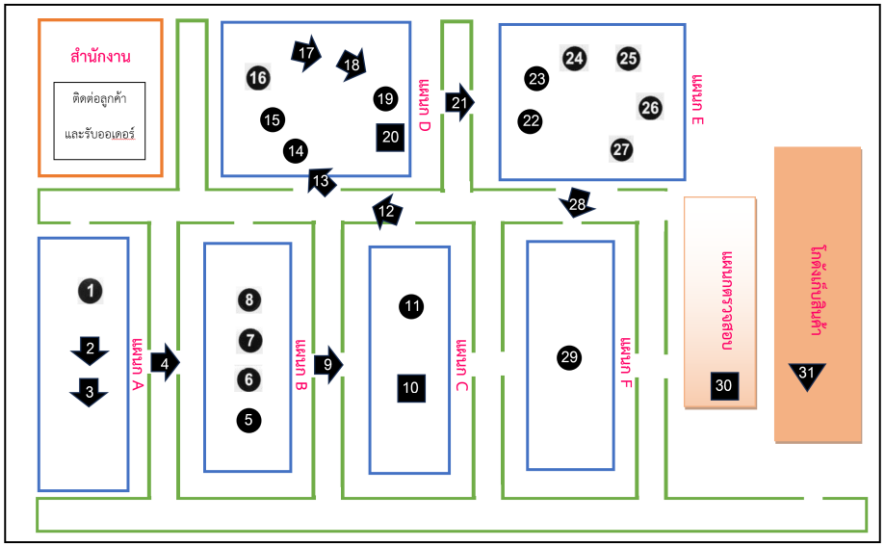
ตารางที่ 3 แผนภูมิกระบวนการไหล (หลังปรับปรุง)

แผนภูมิกระบวนการไหล				
☐ วิธีการเดิม ☐ แบบคน	เวลาในการผลิต (นาที)			
☒ วิธีที่เสนอ ☒ แบบวัสดุ		วิธีเดิม	วิธีที่เสนอ	ความแตกต่าง
ชื่อเรื่อง กระบวนการผลิตเสื้อโปโล	การทำงาน ○	22	17	5
แผนก ตัด, เตรียมงาน, ประกอบตัว, ฟินิชชิ่ง	การขนส่ง ⇨	12	10	2
หมายเลขแผนภูมิ -	การตรวจสอบ □	4	3	1
แผ่นที่ -	การคอย D	0	0	0
เขียนโดย พิมณพัฒน์ , เพชรลดา	การเก็บรักษา ▽	1	1	0
วันที่ 15/09/66		39	31	8

คำอธิบายการทำงาน	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)
1. การคำนวณจำนวนเสื้อเทียบกับจำนวนผ้าที่ต้องการใช้ (แผนก A)	●⇨□ D▽	10
2. พนักงานเดินไปเอาผ้าและอุปกรณ์ (แผนก A)	○➡□ D▽	15
3. พนักงานเดินกลับจักร (แผนก A)	○➡□ D▽	15
4. แผนก A ลำเลียงสินค้าไปแผนก B	○➡□ D▽	5
5. นำผ้าที่ได้มาปูเท่ากับจำนวนที่สั่ง (แผนก B)	●⇨□ D▽	5
6. นำแพทเทิร์นมาวางบนผ้า (แผนก B)	●⇨□ D▽	3
7. วาดตามแพทเทิร์นเสื้อ (แผนก B)	●⇨□ D▽	4
8. เริ่มตัดแต่ละส่วนของเสื้อ (สายการผลิตB)	●⇨□ D▽	5
9. แผนก B ลำเลียงไปแผนก C เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ	○➡□ D▽	10
10. เช็คว่ามีงานปักโลโก้หรือสกรีนตรงไหนของเสื้อ (แผนก C)	○⇨■ D▽	10
11. จัดใส่ถุงให้เรียบร้อยเพื่อที่จะคัดแยกใส่ใบงานส่งไปยังโรงปักหรือโรงสกรีน (แผนก C)	●⇨□ D▽	10
12. แผนก C ลำเลียงไปปักโลโก้และสกรีนที่แผนก D	○➡□ D▽	40
13. พนักงานแผนก D เดินไปรับผ้าที่สั่งสกรีนและปักโลโก้เรียบร้อยแล้วมาทำกระบวนการต่อไป	○➡□ D▽	10
14. จับคู่ผ้าหน้าหลังและเย็บไหล่ด้านบน (แผนก D)	●⇨□ D▽	4
15. ตัดด้าย (แผนก D)	●⇨□ D▽	5
16. เย็บข้อต่อคอ (แผนก D)	●⇨□ D▽	5
17. พนักงานเดินไปหยิบแขนจั้ม (แผนก D)	○➡□ D▽	10
18. พนักงานเดินกลับจักร (แผนก D)	○➡□ D▽	10
19. นำชิ้นส่วนแขนกับตัวแขนจั้มประกอบเข้าด้วยกัน (แผนก D)	●⇨□ D▽	5
20. ทำการตรวจสอบความถูกต้อง (แผนก D)	○⇨■ D▽	5
21. ลำเลียงสินค้าไปแผนก E	○➡□ D▽	10
22. จับคู่แขนเสื้อและลำตัวเข้าด้วยกันและทำการเย็บต่อกัน(แผนก E)	●⇨□ D▽	15

ตารางที่ 3 แผนภูมิกระบวนการไหล (หลังปรับปรุง) (ต่อ)

คำอธิบายการทำงาน	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)
23. พลิกตัวผ้า (แผนก E)	●⇨□D▽	5
24. เย็บตะเข็บข้าง (แผนก E)	●⇨□D▽	15
25. พับลำตัวไปด้านข้างตะเข็บ (แผนก E)	●⇨□D▽	5
26. เย็บปิดชายเสื้อด้านล่าง (แผนก E)	●⇨□D▽	10
27. เก็บด้าย (แผนก E)	●⇨□D▽	2
28. แผนก E ลำเลียงไปแผนก F เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเก็บรายละเอียด	○➡□D▽	5
29. เก็บชายผ้าส่วนต่าง ๆ และเก็บขี้ด้าย (แผนก F)	●⇨□D▽	10
30. ตรวจสอบความสมบูรณ์ของผ้า	○⇨■D▽	10
31. นำสินค้าเก็บไว้ที่โกดังเก็บของ	○⇨□D▼	15



ภาพที่ 4 แผนภาพการไหล (Flow diagram) ของกระบวนการผลิต (หลังปรับปรุง)

5.2 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต หลังปรับปรุง

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 4 พบว่าหลังปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการ ECRS ทำให้เวลาในการผลิตลดลงจาก 5 ชั่วโมง 46 นาที เหลือ 4 ชั่วโมง 48 นาที กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพดีขึ้น คิดเป็นร้อยละ 16.76 โดยสามารถกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นหรือไม่เกิดประโยชน์ในการผลิตออกไป 3 ขั้นตอน และทำการรวมขั้นตอนการผลิตจาก 39 ขั้นตอน เหลือ 31 ขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการเปรียบเทียบ
1. เวลาในการผลิต	5 ชั่วโมง 46 นาที	4 ชั่วโมง 48 นาที	58 นาที
2. ขั้นตอนการผลิต	39 ขั้นตอน	31 ขั้นตอน	ลดลง 8 ขั้นตอน

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) และแนวคิดการผลิตแบบลีน โดยใช้หลักการ ECRS เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเสื้อสำเร็จรูปด้วย และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเสื้อสำเร็จรูปให้ดีขึ้น

จากการศึกษา พบว่าเมื่อใช้แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของกระบวนการผลิตและวิเคราะห์ความสูญเปล่า 7 ประการ ทำให้ทราบถึงสาเหตุความสูญเปล่าที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตจากแผนภูมิกระบวนการไหลและการวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรมในกระบวนการผลิต พบว่ามีขั้นตอนการผลิตที่ซ้ำซ้อนซึ่งสามารถรวมขั้นตอนเพื่อให้ทำพร้อมกันได้ และมีบางขั้นตอนที่ไม่เกิดประโยชน์ในการผลิต ซึ่งสามารถตัดออกจากกระบวนการผลิตได้ เมื่อดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดเวลาในการผลิตจาก 5 ชั่วโมง 46 นาที เหลือ 4 ชั่วโมง 48 นาที ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพดีขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16.76 และสามารถกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นหรือไม่เกิดประโยชน์ในการผลิตออกไป 3 ขั้นตอน ทำให้ขั้นตอนการผลิตจาก 39 ขั้นตอน เหลือ 31 ขั้นตอน

7. อภิปรายผลการวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเสื้อผ้าหรือสิ่งทอแต่ละประเภท จะมีความซับซ้อนในขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่ประเภทเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งการปรับปรุงกระบวนการผลิตมักจะใช้ผังก้างปลาในการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่เกิดขึ้นกับสาเหตุทั้ง หมดที่เป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดปัญหานั้นเพื่อนำไปสู่แนวทางการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้อง (Ngamsaard et al., 2023) ใช้แผนภูมิกระบวนการไหลเพื่อแสดงการไหลของข้อมูล โดยการนำเอากิจกรรมหลักของกระบวนการมาแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรม เพื่อนำมาวิเคราะห์ขั้นตอนการไหลของวัตถุดิบชิ้นส่วน พนักงานและอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ไปใน กระบวนการพร้อม ๆ กับกิจกรรมต่าง ๆ เป็นแผนภูมิที่ใช้จำแนกกิจกรรม ออกเป็น 5 ประเภท โดยเริ่มจากกิจกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มไปจนถึงกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าผ่านสัญลักษณ์มาตรฐาน 5 ตัว ซึ่งกำหนดโดย ASME (American Society for Mechanical Engineering) ในสหรัฐอเมริกา (Jantana and Wichaya, 2020) และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานโดยใช้หลักการ ECRS ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate), การรวมกัน (Combine), การเรียงใหม่ (Rearrange), การทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดความสูญเปล่าหรือ MUDA ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดต้นทุนที่อาจเกิดขึ้น (Krajungduang et al., 2021) ซึ่งการบูรณาการเครื่องมือเหล่านี้ สามารถนำไปสู่การเพิ่มผลิตภาพอย่างมีนัยสำคัญและความเป็นเลิศในการปฏิบัติงาน

8. เอกสารอ้างอิง

Boonkong, S., Laoketkarn, C. & Noisopha, S. (2023). Enhancing Efficiency of The Lean Manufacturing Process: A Case Study of Wooden Furniture Manufacturer. *Journal of Science and Technology Thonburi University,* 7(1), 22-34. (in Thai)

Cheewaworanontree, W., Rontlaong, P., Boonrak, N. & Thongsin, S. (2018). Improving the Productivity through Line Balancing Technique of the Sewing Process for Stretch Fabric Crew Neck T-Shirt in a Garment Factory Case Study. *Advance Science Journal*, 18(2), 13-25. (in Thai)

Cherdsom, Y., Banggeen, W., Nicharath, T. & Thana, A. (2020). Reducing time and increasing the efficiency of short-sleeved shirts: a case study of a sportswear manufacturer. *The 7th NEU National and International Conference North Eastern University*, Khonkaen, Thailand. (in Thai)

Jantana, W. & Sapsanguanboon, W. (2020). Productivity Improvement in Ceramic Production Process: A Case Study of Factory in Samut Prakan Province. *Songklanakarin Journal of Management Sciences*, 37(2), 58-83. (in Thai)

Krajungduang, K., Singhdong, P. & Weerapong, P. (2021). Improving Warehouse Operations with Mobile Applications and ECRS Concepts Case Study of Yusen Logistics (Thailand) Co., Ltd. *Journal of Learning Innovation and Technology*, 1(2), 62-69. (in Thai)

Krit Chantarasamai and On-Uma Lasunon. (2023). Layout improvement in hospital for distance and service time reduction. *Journal of Engineering and Innovation*, 16(1), 93-106. (in Thai)

Kittidecha, C. & Chaiklang, A. (2022). J The Productivity Improvement of Bottled Water Manufacturing using Work Study Technique. *Journal of Manufacturing and Management Technology (JMMT),* 1(1), 21-29. (in Thai)

Klomjit, P. (2022). *Logistic-Supply Chain: Introduction to Design and Management*. (7th ed.). Bangkok: Se-Ed. (in Thai)

Ngamsaard, W., Nakseedee, P. & Ingprasert. N. (2023). Garment Production Process Improvement to Increase Production Efficiency: A Case Study of ABC Co., Ltd. *The Journal of Industrial Technology*, 19(3), 160-176. (in Thai)

Sapim, D. (2021). Improvement of Production Process of Car Accessories. *Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University,* 1(1), 9-18. (in Thai)

Sittichokwarodom, N. (2009). *Process Improvement in Garment Industry with Lean Six Sigma Concept.* Master of Engineering Thesis in Industrial Engineering. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Supakdee, K. & Sareebut, N. (2020). Increase Efficiency in the Production Process Pork Neam: A Case Study of Neam Shop in Ubon Ratchathani Province. *Journalof Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University,* 12(1), 81-92. (in Thai)

Thailand Textile Institute. (2023). *Challenges and opportunities of the apparel industry in 2023.* [online], Available:https://www.thaitextile.org/th /insign/detail.3326.1.0.html. access on February 15, 2024. (in Thai)

Thatphet, K. & Ruangchoengchum, P. (2023). An Elimination of Non-Value Added Movement by Organizing Production Process Layout: A Case Study of Fresh Coffee Shop Business in Khon Kaen Province. *Journal of Management Science, Ubon Ratchathani University*, 10(2), 1-24. (in Thai)

Yoonan, S. (2017). *The Layout design to Finish good in Warehouse by Using ABC Analysis Case Study Precast Concrete Wall Panel*. An Independent Study for The Degree of Master of Science. Bangkok: Sripatum University. (in Thai)

การสร้างแผนผังการตัดไม้อัดสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบ DIY โดยใช้วิธีฮิวริสติก

Plywood Cutting Layout Design for DIY Furniture Manufacturing by Heuristic Method

ศรายุทธ มาลัย[1], ธชนม์ ก้าวสมบูรณ์[2*], ปิญชาน์ ต่อกิตติกุล[3] และหฤทัย ไทยสุชาติ[4]
Sarayut Malai[1], Thachon Kaosomboon[2*], Pincha Torkittikul[3] and Haruthai Thaisuchat[4]
[1,2*,3]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ที่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
[4]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ที่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
โทรศัพท์ 0 5423 7399 email: sarayutd.m@g.lpru.ac.th
[1,2*,3]Faculty of Industry Technology Lampang Rajabhat University
[4]Faculty of Science Lampang Rajabhat University
119 Moo 9 Lampang-Mae Ta Road, Chompoo Subdistrict, Muang Lampang District, Lampang Province, Thailand 52100 Tel. +665 4237 399 email: sarayutd.m@g.lpru.ac.th

วันที่รับบทความ 2 เมษายน 2567 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 27 มิถุนายน 2567 **วันที่ตอบรับบทความ** 28 มิถุนายน 2567
Received: Apr. 2, 2024 **Revised:** Jun. 27, 2024 **Accepted:** Jun. 28, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสร้างแผนผังการตัดไม้อัดด้วยวิธีฮิวริสติกระหว่างแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา สำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบ DIY โดยใช้โปรแกรม CutLogic 2D ในการวางแผนและสร้างแผนผังการตัดกิโยตีน การศึกษาใช้เฟอร์นิเจอร์ DIY 11 รูปแบบ แต่ละรูปแบบประกอบด้วย 1 - 10 ชุด ซึ่งมีชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลากหลายขนาด โดยใช้ไม้อัดขนาด 1,219 x 2,438 x 15 มิลลิเมตร เพื่อลดการสูญเสียวัสดุให้น้อยที่สุด

ผลการศึกษาพบว่า วิธีฮิวริสติกแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ให้ค่าร้อยละผลผลิตรวมเฉลี่ย 83.28 ในขณะที่แบบไม่หมุนชิ้นส่วนให้ค่าเฉลี่ย 82.75 แสดงให้เห็นว่าวิธีแบบหมุนชิ้นส่วนสามารถเพิ่มผลผลิตรวมได้ร้อยละ 0.53 โดยเฉลี่ย นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณฝุ่นไม้ลงได้ 0.104 กิโลกรัมโดยเฉลี่ย ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัสดุและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน

คำสำคัญ: การตัดกิโยตีน, วิธีฮิวริสติก, ประสิทธิภาพ, แผนผังการตัดไม้อัด, เฟอร์นิเจอร์ DIY, CutLogic 2D

Abstract

This research aims to compare the efficiency of plywood cutting layout creation using heuristic methods, between non- rotating and 90- degree rotating piece approaches for DIY furniture production. The CutLogic 2D program was utilized to plan and create guillotine cutting layouts. The study employed 11 DIY furniture designs, each consisting of 1 -10 sets, with pieces of various rectangular and square shapes.

Plywood sheets measuring 1,219x2,438x15 millimeters were used to minimize material waste.

The results showed that the 90-degree rotating piece heuristic method yielded an average total yield percentage of 83.28%, while the non-rotating method averaged 82.75%. This demonstrates that the rotating piece method can increase the total yield by an average of 0.53%. Additionally, it helped reduce wood dust by an average of 0.104 kilograms. These findings indicate simultaneous improvements in material utilization efficiency and reduction of environmental impact.

Keywords: Guillotine Cutting, Heuristic Method, Efficiency, Plywood Cutting Layouts, DIY Furniture, CutLogic 2D

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้มีบทบาทสำคัญในการปรับตัวสู่วิถีชีวิตใหม่จากการแพร่ระบาดของโควิด-19 โดยตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นจากการทำงานที่บ้าน ส่งผลให้การส่งออกเฟอร์นิเจอร์และชิ้นส่วนของไทยในปี 2563 เติบโตร้อยละ 12.8 โดยเฉพาะเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่มีมูลค่าส่งออกสูงถึง 434.3 ล้านเหรียญสหรัฐ ช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจและสร้างรายได้เข้าประเทศในช่วงวิกฤต (International Trade Negotiations Information Center, Department of Trade Negotiations. 2021) โดยมีไม้เป็นวัตถุดิบหลักในเฟอร์นิเจอร์ไม้ การลดการสูญเสียไม้ให้น้อยที่สุดในการผลิตเฟอร์นิเจอร์เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณไม้ที่สูญเสียในการผลิต ได้แก่ การออกแบบผลิตภัณฑ์ คุณภาพวัตถุดิบ การเตรียมไม้ก่อนผลิต ความพร้อมของเครื่องจักร และการอ่านแบบของผู้ผลิต โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้แนะนำแนวทางลดการสูญเสียไม้ เช่น สั่งซื้อวัตถุดิบขนาดใกล้เคียงกับที่ต้องการ เก็บรักษาไม้ให้ถูกวิธี คัดแยกเศษไม้ที่ยังใช้ได้นำกลับมาใช้ และวางแผนการตัดไม้ให้เหลือเศษน้อยที่สุด (Pollution Prevention Technology Group Factory Environmental Technology Promotion Division Department of Industrial Works, 2011) โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ขนาดเล็กส่วนใหญ่ใช้การผลิตแบบพื้นฐาน ทำให้คุณภาพไม่ดีและสูญเสียไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักถึงร้อยละ 40 - 50 การนำเทคโนโลยีมาใช้จะช่วยเพิ่มคุณภาพสินค้า ลดต้นทุน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน (Olankitsanich, 2016) เทคโนโลยีการถอดแบบเพื่อหาขนาดและปริมาณชิ้นส่วนแล้วนำมาวาดแผนผังการตัดบนวัสดุแผ่นแบบง่ายของช่างไม้ จากนั้นตัดวัสดุแผ่นจากขอบด้านหนึ่งถึงอีกด้านจนขาดเป็นส่วน ๆ ด้วยเครื่องมือตัด เช่น เลื่อยวงเดือนไฟฟ้า เรียกว่าการตัดแบบกิโยตีน (Guillotine Cutting) ให้ได้ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้าตามที่ต้องการ การสร้างแผนผังตัดวัสดุให้เหลือเศษน้อยที่สุดทำได้ด้วยมนุษย์เมื่อมีจำนวนและขนาดไม่มาก แต่หากซับซ้อนจำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณ (Suphakhawanich, 2009) แอนเดรีย เดอ ราส คาซาส คอร์เตส และคณะ (2020) Andres De Las Casas Cortes et al. (2020) ศึกษาการตัดวัสดุ 2 มิติ รูปทรงไม่สม่ำเสมอด้วยการจัดวางไม่ซ้อนทับและหมุนได้อิสระ ซึ่งเป็นปัญหาแบบเอ็นพี-ฮาร์ด เพื่อให้เหลือวัสดุน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรม Unity ช่วยจัดวางชิ้นส่วนบนวัสดุแผ่น ซึ่งให้ผลดีในการลดปริมาณวัสดุที่ใช้

ปัญหาการตัดวัสดุ 2 มิติด้วยวิธีกิโยตีนที่มีความซับซ้อนสูง ทำให้เกิดเศษวัสดุรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเล็กจำนวนมาก (Yuchompoo & Panyo, 2019) ซึ่งเป็นปัญหาแบบเอ็นพี-ฮาร์ด (non polynomial hard) ที่มีความยากในการหาคำตอบที่เหมาะสม วิธีการทางฮิวริสติกจึงได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและหาคำตอบได้รวดเร็ว โดยให้คำตอบที่ดีและใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรม Cutter 1.0 สำหรับแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ ช่วยวางแผนการตัดได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพกว่าวิธีเดิม (Kriankrakok & Kriankakok, 2010) และโปรแกรม CutLogic 2D ที่ใช้นำวิธีฮิวริสติกร่วมกับเทคนิคเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) ในการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการตัดวัสดุ 2 มิติในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยสร้างแผนผังการตัดหลายรูปแบบเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนตามต้องการอย่างรวดเร็ว ประหยัดทรัพยากร และลดของเสีย

ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ DIY ที่มีความต้องการวัตถุดิบสูง การวางแผนการตัดไม้แบบดั้งเดิมโดยแรงงานคนมักนำไปสู่การสูญเสียวัตถุดิบ เพิ่มค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย และต้นทุนแรงงานที่สูงขึ้น การลดความสูญเสียจากการตัดไม้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะสำหรับผู้ประกอบการขนาดกลางและเล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและความสามารถในการแข่งขัน การนำโปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้ในการคำนวณและวางแผนการตัดไม้ จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดการสูญเสียเศษไม้ ประหยัดต้นทุน และเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ DIY ในระยะยาว

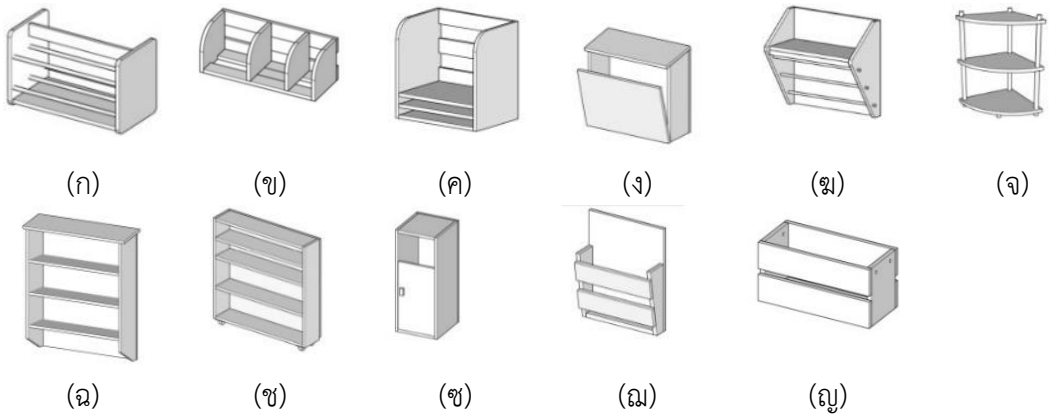
2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสร้างแผนผังการตัดไม้อัด ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา สำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบ DIY

3. วิธีดำเนินการวิจัย

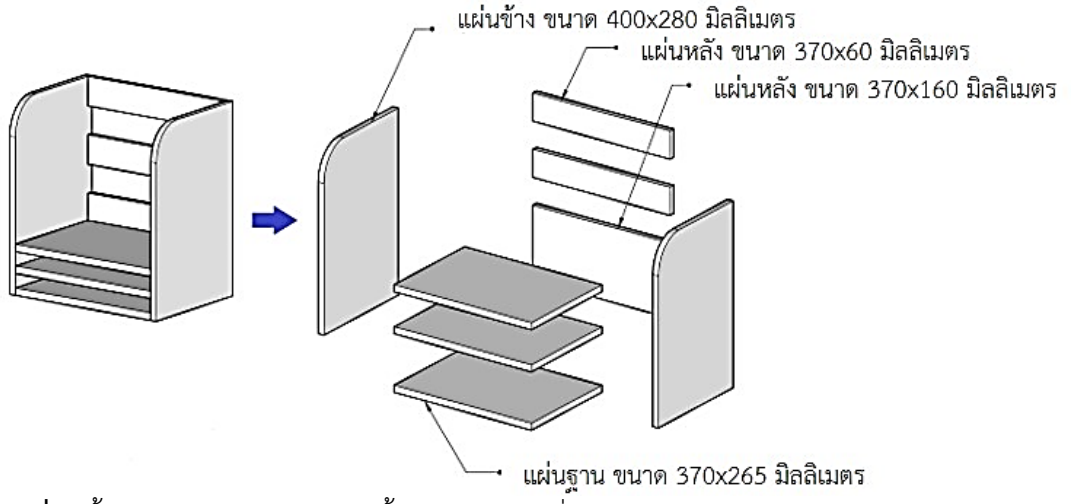
การสร้างแผนผังการตัดไม้อัดสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบ DIY โดยใช้วิธีฮิวริสติก มีวิธีการดำเนินงานวิจัย 4 หัวข้อ คือ 1) การหาขนาดและปริมาณไม้อัดในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ DIY 2) การจัดเตรียมข้อมูลชิ้นงาน 3) การใช้โปรแกรม CutLogic 2D ช่วยสร้างแผนผังการตัดและคำนวณหาผลลัพธ์ และ 4) เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการสูญเสียวัสดุจากการสร้างแผนผังการตัดด้วยวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วนกับแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา มีรายละเอียดดังนี้

3.1 สร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยเลือกรูปแบบเฟอร์นิเจอร์ DIY จำนวน 11 รูปแบบ ที่ทำด้วยแผ่นไม้อัดความหนา 15 มิลลิเมตร จากหนังสือ สนุกกับงานไม้ มือใหม่ก็ทำได้ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SketchUp สร้างแบบจำลอง 3 มิติ (Three-Dimensional) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เฟอร์นิเจอร์ DIY จำนวน 11 รูปแบบ
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Woody Craft Club & Kesakham (2019)

3.2 คัดแยกชิ้นส่วนสำหรับเฟอร์นิเจอร์ DIY ทั้ง 11 รูปแบบ เพื่อหาขนาดมิติกว้าง ยาว และจำนวนชิ้นส่วน ตัวอย่างการแยกชิ้นส่วนประกอบเฟอร์นิเจอร์ DIY ภาพที่ 1 (ค) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชิ้นส่วนกล่องหนังสือพร้อมชั้นวางจากภาพที่ 1 (ค)
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Woody Craft Club & Kesakham N. (2019)

3.3 จัดเตรียมข้อมูลชิ้นงานและปริมาณเฟอร์นิเจอร์ DIY ทั้ง 11 รูปแบบ ๆ ละ 1 ชุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลชิ้นงานและปริมาณสำหรับเฟอร์นิเจอร์ DIY ทั้ง 11 รูปแบบ

ลำดับที่	รูปแบบเฟอร์นิเจอร์ DIY	ชื่อชิ้นส่วน	ขนาด กว้างxยาว (มิลลิเมตร)	จำนวนชิ้น/ชุด
1	ชั้นเก็บนิตยสาร ภาพที่ 1 (ก)	แผ่นข้าง	300x250	2
		แผ่นฐาน	450x230	1
		ที่จับ	450x50	1
2	ชั้นวางหนังสือแบบปรับเลื่อนได้ ภาพที่ 1 (ข)	แผ่นข้าง	180x180	2
		แผ่นคั่น	180x165	2
		แผ่นหลัง	500x60	2
		แผ่นฐาน	470x60	2
		แผ่นหลัง	150x60	2
3	กล่องหนังสือพร้อมชั้นวาง ภาพที่ 1 (ค)	แผ่นชั้นวาง	370x265	2
		แผ่นข้าง	400x280	2
		แผ่นฐาน	370x265	1
		แผ่นหลัง	370x60	2
		แผ่นหลัง	370x160	1
4	ที่แขวนผ้าเช็ดตัว ภาพที่ 1 (ฆ)	แผ่นหลัง	400x400	1
		แผ่นชั้นวาง	400x170	1
		แผ่นข้าง	400x20	1
		แผ่นข้าง	400x200	2
5	ตู้จดหมาย ภาพที่ 1 (ง)	แผ่นหลัง	450x400	1
		แผ่นบน	450x200	1
		แผ่นหน้า	450x300	1
		แผ่นข้าง	400x150	2
		แผ่นล่าง	420x150	1
6	ชั้นวางเข้ามุม ภาพที่ 1 (จ)	ชั้นวาง	900x300	3
7	ชั้นวางติดผนัง ภาพที่ 1 (ฉ)	แผ่นหลัง	750x630	1
		แผ่นข้าง	750x165	2
		แผ่นบน	670x180	1

ตารางที่ 1 ข้อมูลชิ้นงานและปริมาณสำหรับเฟอร์นิเจอร์ DIY ทั้ง 11 รูปแบบ (ต่อ)

ลำดับที่	รูปแบบเฟอร์นิเจอร์ DIY	ชื่อชิ้นส่วน	ขนาด กว้างxยาว (มิลลิเมตร)	จำนวนชิ้น/ชุด
8	ตู้เก็บอาหารแห้ง ภาพที่ 1 (ช)	แผ่นชั้นวาง	600x150	3
		แผ่นหลัง	615x600	1
		แผ่นชั้นวาง	600x130	3
		แผ่นบน	600x130	1
		แผ่นล่าง	600x130	1
		แผ่นข้าง	615x130	2
9	ตู้ใส่ถังขยะ ภาพที่ 1 (ซ)	แผ่นหลัง	600x250	1
		แผ่นข้าง	600x250	2
		แผ่นบน	235x220	1
		แผ่นฐาน	235x220	1
		ประตู	400x218	1
		หูจับ	40x20	1
10	ชั้นเก็บนิตยสารติดผนัง ภาพที่ 1 (ฌ)	แผ่นหลัง	380x300	1
		แผ่นหน้า	300x70	2
		แผ่นล่าง	280x40	1
		แผ่นข้าง	250x80	2
11	กล่องใส่อุปกรณ์ทำสวน ภาพที่ 1 (ญ)	แผ่นหน้า	400x90	2
		แผ่นหลัง	400x90	2
		แผ่นข้าง	200x150	2
		แผ่นฐาน	370x150	1

3.4 ใช้โปรแกรม CutLogic 2D ในการสร้างแผนผังการตัดวัสดุ โดยเลือกใช้แผ่นไม้อัดมาตรฐานขนาด 1,219 x 2,438 มิลลิเมตร ความหนา 15 มิลลิเมตร สำหรับสร้างแผนผังการตัดเป็นชิ้นงานย่อยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์ DIY จำนวน 11 รูปแบบ รูปแบบละ 1 - 10 ชุด โดยกำหนดให้มีการตัดขอบแผ่นไม้อัดมาตรฐานออก 5 มิลลิเมตร ทั้ง 4 ด้าน และความกว้างของร่องในการตัด (kerf) กว้าง 5 มิลลิเมตร เปิดโปรแกรม CutLogic 2D ป้อนข้อมูลมิติด้านกว้างและด้านยาวของชิ้นส่วนที่ต้องการอยู่ในทิศทางตรงกับตำแหน่งมิติด้านกว้างและด้านยาว

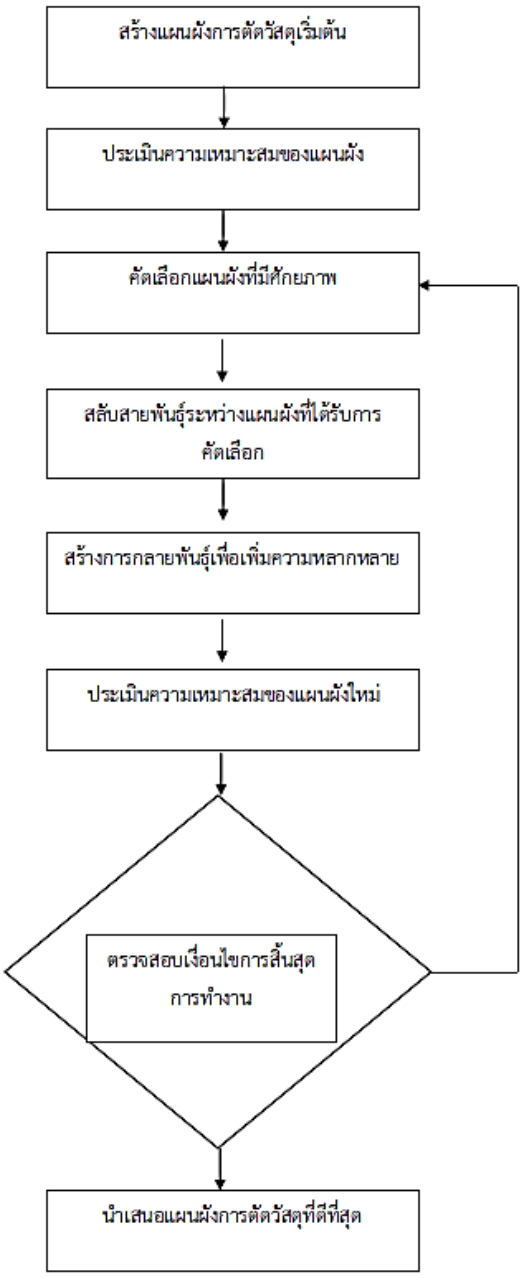
ของแผ่นไม้อัดมาตรฐาน (ภาพที่ 3) กรอกข้อมูลจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการ เลือกไม่หมุนชิ้นส่วน (ภาพที่ 3 ก) หรือแบบหมุนชิ้นส่วน (ภาพที่ 3 ข)

(ก) การจัดวางชิ้นส่วนแบบไม่หมุน (0 องศา) (ข) การจัดวางชิ้นส่วนแบบหมุน (90 องศา)

ภาพที่ 3 การสร้างแผนผังการตัดวัสดุด้วยวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วน และแบบหมุนชิ้นส่วน

3.5 คำนวณเพื่อเริ่มกระบวนการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม โดยวิธีฮิวริสติสใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อแก้ปัญหาการตัดวัสดุ โดยมีกระบวนการหาผลลัพธ์เริ่มจาก 1) สร้างแผนผังการตัดวัสดุเริ่มต้น 2) ประเมินความเหมาะสมของแผนผัง 3) คัดเลือกแผนผังที่มีศักยภาพ 4) สลับสายพันธุ์ระหว่างแผนผังที่ได้รับการคัดเลือก 5) สร้างการกลายพันธุ์เพื่อเพิ่มความหลากหลาย 6) ประเมินความเหมาะสมของแผนผังใหม่ 7) ตรวจสอบเงื่อนไขการสิ้นสุดการทำงาน 8) นำเสนอแผนผังการตัดวัสดุที่ดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4

3.6 ผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรม CutLogic 2D สร้างแผนผังการตัดด้วยวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา แสดงข้อมูลแผนผังการตัดวัสดุ และจำนวนนับ เช่น จำนวนวัสดุที่ต้องสั่งซื้อ จำนวนแผนผัง จำนวนครั้งในการตัด ผลรวมของความยาวในการตัดวัสดุ และร้อยละผลผลิตรวม (% Yield) ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของพื้นที่ชิ้นงานที่ใช้รวมกับพื้นเศษวัสดุขนาดใหญ่ในแผนผังการตัดวัสดุสุดท้ายแล้วหารด้วยผลรวมของพื้นที่วัสดุที่ซื้อ



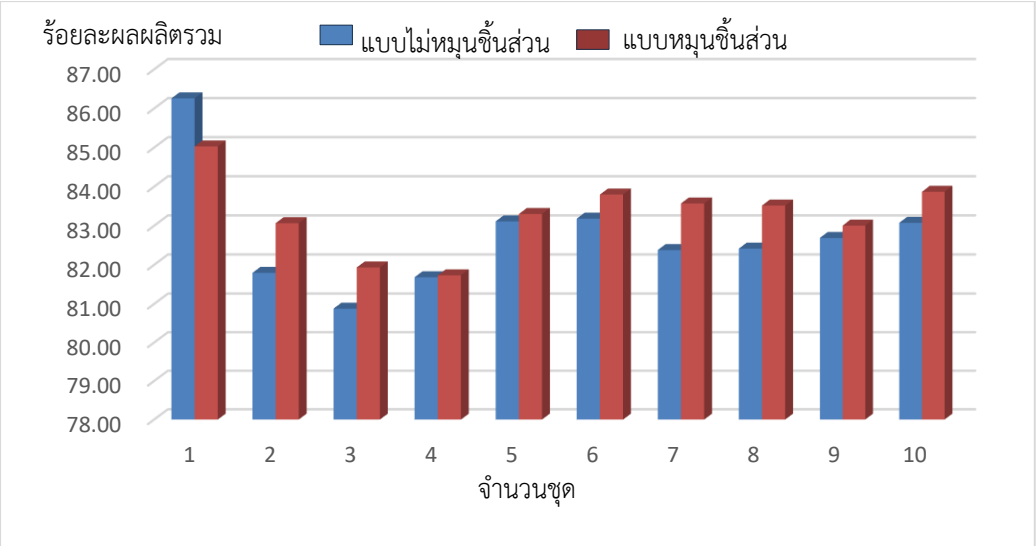
ภาพที่ 4 ขั้นตอนการหาคำตอบของฮิวริสติสด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
ที่มา: ดัดแปลงจาก Settanun (2015).

4. ผลการวิจัย

4.1 การสร้างแผนผังตัดไม้อัดด้วยวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวนนับ ได้แก่ จำนวนแผนผังการตัด จำนวนวัสดุที่ซื้อ ร้อยละผลผลิตรวมจำนวนการตัดวัสดุ และผลรวมความยาวการตัดวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การสร้างแผนผังการตัดไม้อัดวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและหมุนชิ้นส่วน

ข้อมูลที่กำหนด				ผลลัพธ์ที่ได้				
เฟอร์นิเจอร์ DIY (รูปแบบ)	รูปแบบละ (ชุด)	จำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการ (ชิ้น)	กิโยตีน	แผนผังการตัด (วิธี)	จำนวนไม้อัดที่ซื้อ (แผ่น)	ร้อยละผลผลิตรวม	จำนวนการตัด (ครั้ง)	ผลรวมความยาวการตัดวัสดุ (มิลลิเมตร)
11	1	71	ไม่หมุน	3	3	86.26	124	59,309
			หมุน	3	3	85.03	139	62,384
11	2	142	ไม่หมุน	5	5	81.80	228	119,036
			หมุน	5	5	83.07	218	117,777
11	3	213	ไม่หมุน	7	7	80.88	333	176,352
			หมุน	7	7	81.93	344	172,843
11	4	284	ไม่หมุน	9	9	81.69	416	229,102
			หมุน	9	9	81.73	414	227,473
11	5	355	ไม่หมุน	12	12	83.11	506	284,942
			หมุน	12	12	83.30	525	282,856
11	6	426	ไม่หมุน	14	14	83.19	601	336,461
			หมุน	14	14	83.80	585	330,849
11	7	497	ไม่หมุน	15	15	82.38	709	394,344
			หมุน	15	16	83.57	694	384,836
11	8	568	ไม่หมุน	18	18	82.42	793	441,515
			หมุน	17	18	83.52	764	440,373
11	9	639	ไม่หมุน	17	20	82.69	874	492,912
			หมุน	19	20	83.01	862	492,872
11	10	710	ไม่หมุน	20	23	83.08	980	548,191
			หมุน	21	23	83.87	954	546,738



ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบร้อยละของผลผลิตรวมกับจำนวนเฟอร์นิเจอร์ DIY

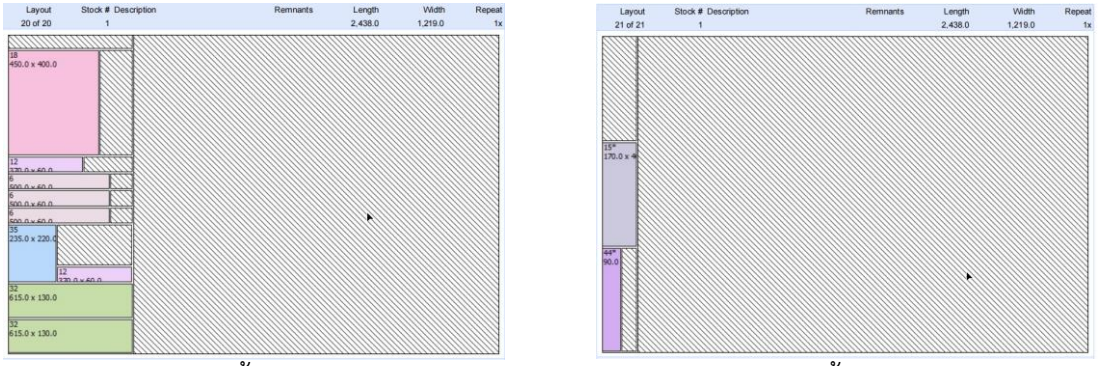
จากตารางที่ 2 และภาพที่ 5 ผลลัพธ์การสร้างแผนผังการตัดไม้อัดวิธีกิโยตีนสำหรับเฟอร์นิเจอร์ DIY จำนวน 1 - 10 ชุด โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีไม่หมุนชิ้นส่วนและวิธีหมุนชิ้นส่วน 90 องศา พบว่า วิธีการหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ให้ค่าร้อยละผลผลิตรวมสูงกว่า โดยมีข้อยกเว้นเพียงกรณีเดียว คือการผลิต 1 ชุด ที่วิธีไม่หมุนชิ้นส่วนให้ผลดีกว่าเล็กน้อย ความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่าง 2 วิธีนี้ มีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 1.27 (กรณีการผลิตจำนวน 2 ชุด) ซึ่งการสร้างแผนผังการตัดไม้อัดวิธีหมุนชิ้นส่วน 90 องศา เพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดวางชิ้นงาน ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างได้ดีกว่า และเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์จากไม้อัดได้มากกว่าวิธีไม่หมุนชิ้นส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตในปริมาณที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความได้เปรียบนี้อาจไม่ชัดเจนนักในการผลิตจำนวนน้อย

4.2 การสร้างแผนผังการตัดไม้อัดวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและหมุนชิ้นส่วน 90 องศา เพื่อใช้ประโยชน์ในการลดของเสียและจำนวนการตัด มีดังนี้

1) แผนผังการตัดด้วยวิธีกิโยตีนแบบไม่หมุนชิ้นส่วน ในที่นี่ขอยกตัวอย่างแผนผังการตัดเฟอร์นิเจอร์ DIY 11 รูปแบบ จำนวนรูปแบบละ 10 ชุด พบว่า มีการวางชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามิติทางด้านยาวถูกวางไปตามมิติด้านยาวของแผ่นไม้อัด โดยแผนผังการตัดที่ 1 - 19 จัดวางชิ้นส่วนลงบนแผ่นไม้อัดอย่างหนาแน่น ส่วนชิ้นส่วนที่เหลือถูกนำไปจัดวางในแผนผังการตัดที่ 20 (แผนผังสุดท้าย) ลักษณะเศษวัสดุที่เหลือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดมิติเล็กจนถึงขนาดมิติใหญ่ ซึ่งแผนผังสุดท้ายของการตัดวัสดุมีพื้นที่เศษวัสดุใหญ่สุด (Scrap) คือ 1,219 x 1,818 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 6(ก)

2) แผนผังการตัดด้วยวิธีกิโยตีนแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ในที่นี่ขอยกตัวอย่างแผนผังการตัดเฟอร์นิเจอร์ DIY 11 รูปแบบ รูปแบบละ 10 ชุด (ภาพที่ 6ข) พบว่า มีการวางชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มิติทางด้านยาวถูกวางไปมิติด้านยาวและหรือด้านกว้างของแผ่นไม้อัด โดยแผนผังการตัดที่ 1 - 20 จัดวางชิ้นส่วนลงบนแผ่นไม้อัดอย่างหนาแน่น ส่วนชิ้นส่วนที่เหลือถูกนำไปจัดวางในแผนผังการตัดที่ 21 (แผนผังสุดท้าย) ลักษณะเศษวัสดุที่เหลือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ขนาดมิติเล็กจนถึงขนาดมิติใหญ่ ซึ่งแผนผังสุดท้ายของการตัดวัสดุมีพื้นที่เศษวัสดุใหญ่สุด (scrap) คือ 1,219 x 2,263 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 6(ข)



(ก) แบบไม่หมุนชิ้นส่วน (ข) แบบหมุนชิ้นส่วน

ภาพที่ 6 แผนผังการตัดวัสดุที่ 20 แบบไม่หมุนชิ้นส่วนและหมุนชิ้นส่วน สำหรับเฟอร์นิเจอร์ DIY 11 รูปแบบ รูปแบบละ 10 ชุด

4.3 ประสิทธิภาพของแผนผังการตัดไม้อัดในการลดผลกระทบเชิงลบจากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ (เศษไม้อัดที่เหลือทิ้งเป็นขยะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม และฝุ่นไม้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณฝุ่นที่เกิดจากการตัดไม้อัดในงานเฟอร์นิเจอร์ DIY จำนวน 1 - 10 ชุด

จำนวนเฟอร์นิเจอร์	แผนผังการตัดไม้อัดแบบไม่หมุนชิ้นส่วน			แผนผังการตัดไม้อัดแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา		
	ร้อยละผลผลิตรวม	ร้อยละเศษวัสดุ	ปริมาณฝุ่นไม้ (กิโลกรัม)	ร้อยละผลผลิตรวม	ร้อยละเศษวัสดุ	ปริมาณฝุ่นไม้ (กิโลกรัม)
1	86.26	13.74	2.669	85.03	14.97	2.807
2	81.8	18.2	5.357	83.07	16.93	5.300
3	80.88	19.12	7.936	81.93	18.07	7.778
4	81.69	18.31	10.310	81.73	18.27	10.236
5	83.11	16.89	12.822	83.3	16.7	12.729
6	83.19	16.81	15.141	83.8	16.2	14.888
7	82.38	17.62	17.745	83.57	16.43	17.318
8	82.42	17.58	19.868	83.52	16.48	19.817
9	82.69	17.31	22.181	83.01	16.99	22.179
10	83.08	16.92	24.669	83.87	16.13	24.603
ค่าเฉลี่ย	82.75	17.25	13.870	83.28	16.72	13.766

หมายเหตุ คำนวณหาปริมาณฝุ่นไม้ มี 2 ขั้นตอน คือ

1. ปริมาตรของร่องตัด: ปริมาตร = ความกว้างร่องxความหนาไม้อัด x ความยาวในการตัด
2. ปริมาณฝุ่นไม้ = ปริมาตรของร่องตัด x ความหนาแน่นของไม้อัด (600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากตารางที่ 3 พบว่าการใช้แผนผังการตัดแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ให้ค่าร้อยละผลผลิตรวมที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่กลับให้ปริมาณเศษไม้อัดที่เหลือจากการตัดแต่งและฝุ่นไม้ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดในทุกจำนวนชุดการผลิต โดยเฉลี่ยแล้วการใช้แผนผังการตัดไม้อัดแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา สามารถเพิ่มร้อยละผลผลิตรวมได้สูงกว่าถึงร้อยละ 0.53 และยังช่วยลดปริมาณเศษไม้อัดที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ร้อยละ 0.53 และฝุ่นไม้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ถึง 0.104 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับแบบไม่มีการหมุนชิ้นส่วน นับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรไม้อัดและความปลอดภัยในการทำงานไปพร้อม ๆ กัน

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาเรื่องการสร้างแผนผังการตัดไม้อัดสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบ DIY โดยใช้วิธีฮิวริสติก มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสร้างแผนผังการตัดไม้อัดแบบไม่หมุนชิ้นส่วนและแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา สำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์ 11 รูปแบบ ๆ ละ 1 - 10 ชุด โดยใช้ไม้อัดหนา 15 มิลลิเมตร ที่มีชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัสหลากหลายขนาด ผลการวิจัยพบว่า ทั้งสองวิธีใช้ปริมาณวัตถุดิบเท่ากัน แต่วิธีกิโยตีนแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ให้ค่าร้อยละผลผลิตรวมสูงกว่า และเมื่อผลิตตั้งแต่ 4 ชุดขึ้นไป จะให้เศษไม้อัดขนาดใหญ่กว่าและความยาวรวมในการตัดน้อยกว่าแบบไม่หมุนชิ้นส่วน นอกจากนี้การใช้แผนผังการตัดแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา สามารถเพิ่มผลผลิตรวมได้ถึงร้อยละ 0.53 โดยเฉลี่ย ควบคู่ไปกับการลดปริมาณเศษไม้อัดที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ลงในสัดส่วนเดียวกัน และลดฝุ่นไม้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ 0.104 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับแผนผังการตัดแบบไม่หมุนชิ้นส่วนโดยเฉลี่ย เพราะวิธีหมุนชิ้นส่วน 90 องศา เพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดวางชิ้นงาน ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างได้ดีกว่า และเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์จากไม้อัดได้มากกว่าวิธีไม่หมุนชิ้นส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตในปริมาณที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความได้เปรียบนี้อาจไม่ชัดเจนนักในการผลิตจำนวนน้อย ซึ่งนับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรไม้อัด ควบคู่ไปกับการสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัยยิ่งขึ้น และยกระดับทั้งประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าไปพร้อมกัน

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างทางเลือกและคำนวณหาคำตอบในการตัดไม้อัด โดยเฉพาะแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dalalah et al. (2014) ที่ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบหมุนชิ้นส่วนตัดวัสดุรูปร่างไม่สม่ำเสมอ สามารถลดของเสียได้ดีกว่าแบบไม่หมุนชิ้นส่วน และงานวิจัยของ Wu & Yang (2021) ที่พบว่าแผนผังการตัดซับซ้อนสูงจะใช้ประโยชน์จากวัสดุได้มากกว่าแบบซับซ้อนน้อย

สรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้เทคนิคสร้างแผนผังตัดไม้อัดวิธีกิโยตีนแบบหมุนชิ้นส่วน 90 องศา ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากวัสดุ โดยให้ค่าร้อยละผลผลิตรวมและพื้นที่ใช้สอยสูงกว่าขณะที่จำนวนครั้งการตัดใกล้เคียงกับแบบไม่หมุนชิ้นงาน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่น่าสนใจสำหรับการผลิตเฟอร์นิเจอร์ DIY ในเชิงพาณิชย์หรืออุตสาหกรรมที่ต้องการใช้ทรัพยากรไม้อย่างคุ้มค่าและลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเศษไม้ที่เหลือทิ้งและปริมาณ

ฝุ่นไม้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการพัฒนากระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ในปัจจุบัน

6. เอกสารอ้างอิง

Andres De Las Casas Cortes, Gustavo Gatica & David Álvarez Martínez. (2020). *A simulation-optimization approach for the 2D irregular cutting stock problem with free rotation*. [Master, s thesis] Universidad de Los Andes, Colombia. http://hdl.handle.net/1992/43972.

Dalalah, D., Khrais, S. & Bataineh, K. (2014). Waste minimization in irregular stock cutting. *Journal of Manufacturing Systems.* Volume 33, Issue 1, January 2014, pp. 27-40. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.11.003.

International Trade Negotiations Information Center, Department of Trade Negotiations. (2021). "*Thailand's Furniture and Parts Export Situation in 2020*". [online]. Available at: https://www.dtn.go.th/th/file/get/file/1.202204115617220ca3723952a998fd424d088a8b144200.pdf. access on June 22, 2024.

Kriankrakok, P. & Kriankakok, N. (2010). Computer program for handling the problem of one-dimensional parcel segmentation using heuristic methods. *Journal of Ubon Ratchathani University*, 12(2), 8-16.

Olankitsanich, A. (2016). *Proposing ideas/methods for developing work or improving work to be more efficient. Promotion and development of the use of wood raw materials from forest plantations for the timber industry*. [Unpublished document] Office of Natural Resources and Environment, Pathum Thani.

Pollution Prevention Technology Group Factory Environmental Technology Promotion Division Department of Industrial Works. (2011). *Clean production technology practices (Increasing production efficiency and preventing pollution) Wood furniture industry*. (1st ed.). Bangkok: Samsen Printing Company Limited.

Settanun, K. (2015). *Metaheuristics and their applications in industry*. (1st ed.). Khon Kaen: Klungnanavitaya Press.

Suphakhawanich, C. (2009). *Planning the arrangement of materials to minimize waste. Thaicontractors.com's blog*. [online], https://thaicontractors.wordpress.com/2009/03 /21/การวางแผนการจัดวัสดุให-2/.

Woody Craft Club & Kesakham, N. (2019). *Have fun with woodworking. Even a beginner can do it.* (1st ed.). Bangkok: Nanmee Books Company Limited.

Wu, D. & Yang, G. (2021). A *heuristic Approach for two-dimensional rectangular cutting stock problem considering balance for material utilization and cutting complexity.* Advances in materials science and engineering, volume 2021. Article ID 3732720, https://doi.org/10.1155/2021/3732720.

Yuchompoo, T. & Panyo, N. (2019). *Selecting the appropriate steel sheet size to reduce the amount of scrap from creating guillotine and nesting material cutting plans*. [Unpublished Master Thesis] Lampang Rajabhat University.

การเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม

Comparison of Gray Oyster Mushroom Production in a Smart Farm and Traditional Farm

ศิวัตม์ กมลคุณานนท์[1*], ชัญญพัชร์ จารุวัชรเศรษฐ์[2], พลิศภัสร์ คำฟู[3], ชัชพล เกษวิริยะกิจ[4], นัฐพงศ์ ส่งเนียม[5] และดุษณี ศุภวรรธนะกุล[6]

Siwat Kamonkunanon[1*], Chanyaphat Jaruwatcharaset[2], Phalitphat Khumfu[3], Chatchaphon Ketviriyakit[4], Nattapong Songneam[5] and Dusanee Supawantanakul[6]

[1*,3,4]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ 27 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมืองอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000 โทร 0 5541 6601 โทรสาร 0 5541 6020 E-mail: siwat3003@uru.ac.th

[2]คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 398 ถนนสวรรค์วิถี ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 60000

[5,6]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

[1*,3,4]Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajaphat University 53000

[2]Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajaphat University 60000

[5,6]Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajaphat University 10220

วันที่รับบทความ 25 ธันวาคม 2566 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 28 มีนาคม 2567 **วันที่ตอบรับบทความ** 30 เมษายน 2567

Received: Dec. 25, 2023 **Revised:** Mar. 28, 2024 **Accepted:** Apr. 30, 2024

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิมมีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ คือ 1. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม 2. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน ในการวิจัยได้ติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดนางฟ้า จำนวน 4 ปัจจัย คือ 1. ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 - 90 2. อุณหภูมิ 28 - 32°C 3. ปริมาณก๊าซ CO_2 ไม่เกิน 2,000 ppm และ 4. แสงไม่เกิน 100 lux ในการวิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยแบ่งโรงเรือนอัจฉริยะออกเป็น 4 โซน เพื่อบันทึกผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซน โดยในโซน 1A และ 1B จะเป็นการเรียงก้อนเชื้อเห็ดซ้อนทับกัน 2 ชั้นในแนวตั้ง เว้น 1 ชั้น ส่วนในโซน 2A และ 2B จะเป็นการเรียงก้อนเชื้อเห็ดแบบดั้งเดิมคือจัดเรียง โดยวางก้อนเห็ดซ้อนทับกันขึ้นไปในแนวตั้ง

ผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้จากโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 24.18 - 26.51 และเมื่อปรับการจัดวางก้อนเชื้อเห็ด เป็นการจัดวางแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น พบว่าผลผลิตที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 33.81 - 35.86 แสดงว่าการผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะให้ผลผลิตดีกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิม และการจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ให้ผลผลิตดีกว่าการจัดเรียงแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: โรงเรือนอัจฉริยะ, การผลิตเห็ดนางฟ้า, เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

Abstract

This study, comparing gray oyster mushroom production in a smart farm and a traditional farm had two objectives: 1. To compare the mushroom production in a smart farm and a traditional farm; and 2. To compare the mushroom production from different arrangements of mushroom lumps. For this research, Internet of Things technology and measurement equipment were installed to control 4 factors of oyster mushroom production: 1. Relative humidity 70 - 90%; 2. Temperature 28 - 32°C; 3. CO_2 content less than 2,000 ppm; and 4. Light 100 lux. The research design divided the smart farm into 4 zones to record the results of mushroom production in each zone. In zones 1A and 1B, the mushroom cultures were arranged in 2 layers vertically, with a gap of 1 layer, and in zones 2A and 2B, the mushroom clusters were arranged in the traditional way, by placing the mushroom clusters on top of each other vertically.

The mushroom production in the smart farm was higher than the traditional farm (24.18-26.51%). When adjusting the arrangement, 2 layers vertically, with a gap of 1 layer, it was found that production in the smart farm was higher than the traditional farm (33.81 - 35.86%). This shows that production in the smart farm was higher than the traditional farm and the arrangement of 2 layers, with a gap of 1 layer, gives better results than the traditional arrangement.

Keywords: Smart Farm, Gray Oyster Mushroom Production, Internet of Things Technology

1. บทนำ

เห็ดเป็นสินค้าเศรษฐกิจของเกษตรกรไทย เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่ดี และยังเป็นส่วนประกอบของอาหารได้ในทุกกลุ่มผู้บริโภค ประเทศไทยมีการศึกษาอย่างเป็นทางการเมื่อปี พ.ศ. 2479 และได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการผลิตเห็ดอย่างเป็นทางการเมื่อปี พ.ศ. 2480 การบริโภคเห็ดนิยมบริโภคทั้งเห็ดที่มีตามธรรมชาติและเห็ดที่สามารถผลิตได้จากโรงเรือนผลิตเห็ด (Office of the Royal Development Projects Board, 2012)

การผลิตเห็ดในประเทศไทย ปัจจุบันมีมากกว่าหนึ่งหมื่นครัวเรือนที่ประกอบอาชีพผลิตเห็ด สามารถสร้างรายได้ในแต่ละปีไม่ต่ำกว่า 9,000 ล้านบาท (The National Science and Technology Development Agency, 2021) ในประเทศไทยมีสภาพอากาศที่เหมาะกับการผลิตเห็ด กรรมวิธีการผลิตสามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากต่อการปฏิบัติ ใช้ระยะเวลาสั้นในการผลิต (Sangpakornkij, 2013; Hongyont, 2019) และตลาดยังมีความต้องการเห็ดเป็นจำนวนมากโดย 5 อันดับ เห็ดที่มีการผลิตมากที่สุด ได้แก่ เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดหูหนู (Satun College of Agriculture and Technology, 2014)

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่อยู่ในสกุลเดียวกับเห็ดนางรม และเห็ดเป๋าฮื้อ มีลักษณะคล้ายเห็ดนางรมแต่ดอกมีสีขาวนวลถึงน้ำตาลอ่อน หมวกดอกหนา และเนื้อแน่น เห็ดนางฟ้าเป็นชื่อที่ตั้งในประเทศไทยแต่บางถิ่นเรียกว่าเห็ดแขก เนื่องจากมีถิ่นกำเนิดในแถบเทือกเขาหิมาลัยในประเทศ

อินเดีย ในสภาพธรรมชาติจะเจริญเติบโตตามตอไม้ผุที่มีอากาศชื้นและเย็น (Sangpakornkij, 2013; Hongyont, 2019) ส่วนการผลิตเห็ดในโรงเรือนจะต้องจัดปัจจัยการผลิตให้ความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด โดยต้องควบคุมปัจจัยหลัก คือ 1) ความชื้น 2) อุณหภูมิ 3) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ 4) แสง (Chieochan et al., 2017; Youngkerd, & Sangdee, 2015; Khambun et al., 2021) โดยปัจจัยทั้ง 4 นี้ จะส่งผลต่อการออกดอกของเห็ดและคุณภาพของเห็ดที่ผลิตด้วย นอกจากนั้น ถ้าต้องการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะ อาจจะต้องคำนึงถึงปัจจัยการผลิตรองคือรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดในโรงเรือน เนื่องจากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมปัจจัยการผลิตทั้งหมดให้ก้อนเห็ดทุกก้อนได้รับปัจจัยการผลิตเหมือน ๆ กัน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษารูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดในการผลิตด้วยโรงเรือนอัจฉริยะ เพื่อให้ทราบผลผลิตที่ได้จากโรงเรือนอัจฉริยะเมื่อเทียบกับการผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบดั้งเดิม และทราบผลผลิตที่ได้จากการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดจากการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกัน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การผลิตเห็ดสามารถแบ่งปัจจัยในการผลิตออกเป็น 2 ระยะ คือ 1. ระยะการผลิตก้อนเชื้อ และ 2. ระยะการเปิดดอก เมื่อพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการเปิดดอก พบว่าปัจจัยในช่วงการเปิดดอกประกอบไปด้วย 8 ปัจจัย นอกจากนั้นการถ่ายเทอากาศสามารถใช้การควบคุมความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระบบการควบคุมที่ทำให้การถ่ายเทอากาศในโรงเรือนดีไปด้วย สำหรับปัจจัยน้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำแปรผันกับความชื้นสัมพันธ์ กล่าวคือเมื่อควบคุมปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนได้แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยจำนวนครั้งในการรดน้ำ เพียงแต่ในการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน จำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดและมีค่าความเป็นกรด-เบสเป็นกลาง ค่า pH ประมาณ 7.0 ดังนั้น เมื่อพิจารณาปัจจัยที่เหลือจากการพิจารณาข้างต้นจะประกอบไปด้วยปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ด โดยมีปัจจัยหลักจำนวน 4 ปัจจัย คือ 1. ความชื้นสัมพัทธ์ 2. อุณหภูมิ 3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4. แสง และมีปัจจัยรองจำนวน 1 ปัจจัย คือ 1. การจัดเรียงก้อนเห็ด โดยแสดงภาพโรงเรือนอัจฉริยะในภาพที่ 1 และแสดงตารางผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งได้ปรับปรุงจากผลการศึกษาของศิวัตม์ กมลคุณานนท์ และคณะ (2565) (Kamonkunanon et al., 2022)

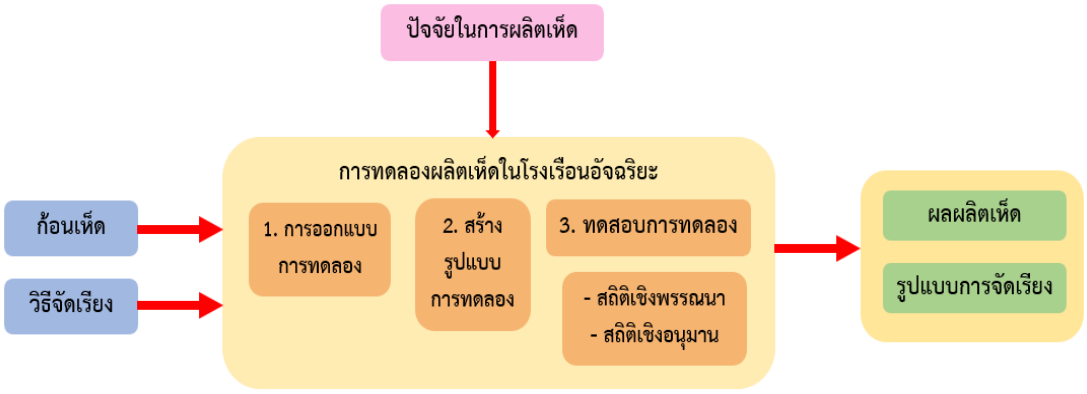
ภาพที่ 1 ภายนอกและภายในโรงเรือนอัจฉริยะ

ตารางที่ 1 ผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ด

ผลกระทบ/ขั้นตอนการผลิต / ปัจจัย	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดกลุ่มเย็น				ระยะการผลิต	
	ด้านการเจริญเติบโต	ด้านความชื้นของดอก	ด้านจำนวนผลผลิต	ด้านระยะเวลา	ขั้นตอนการผลิตก้อนเห็ด	ขั้นตอนการเปิดดอก
1. ความชื้นสัมพัทธ์	○	●	●	●	✓	✓
2. อุณหภูมิ	●	●	●	●	✓	✓
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	○	●	●	●		✓
4. แสง	○	●	●	●		✓
5. ธาตุอาหารหลัก	●	●	●	●	✓	
6. ธาตุอาหารรอง	○	●	●	●	✓	
7. การถ่ายเทอากาศ		○				✓
8. น้ำและจำนวนครั้งในการรดน้ำ		○				✓
9. การจัดเรียงก้อนเห็ด	○	○	●			✓
10. การดูแลอื่น ๆ (โรค แมลง)		●	○			✓

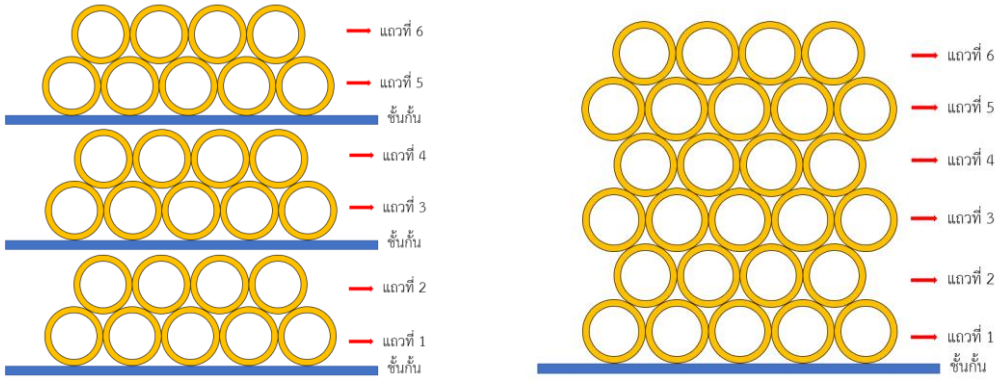
ที่มา: (Kamonkunanon et al., 2022)

เมื่อทราบปัจจัยที่สำคัญ โดยมีปัจจัยที่สำคัญมาก 4 ปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง และ 1 ปัจจัยรองคือการจัดเรียงก้อนเชื้อเห็ด จึงนำไปสู่การออกแบบกระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่ได้ศึกษาและคัดสรรเทคโนโลยี นำมาสู่ขั้นตอนการออกแบบ สร้าง และทดสอบการทดลองผลิตเห็ดนางฟ้า เพื่อให้ทราบผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะและรูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ ดังแสดงขั้นตอนการวิจัยในภาพที่ 2



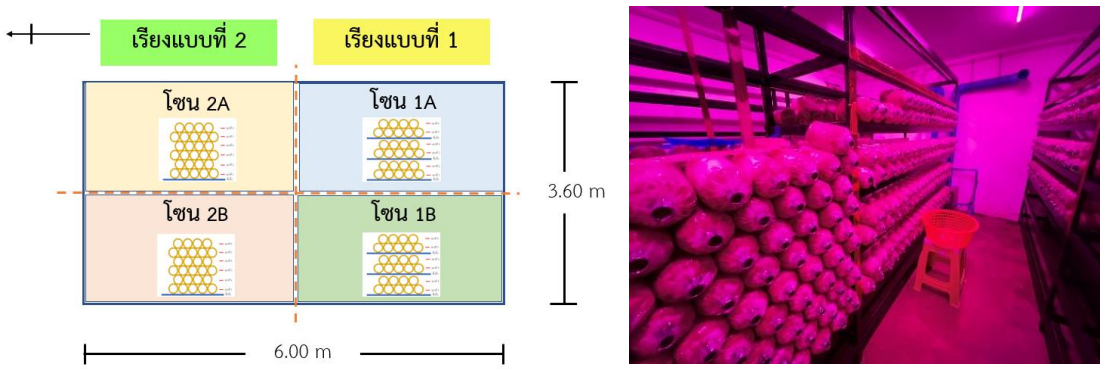
ภาพที่ 2 วิธีการดำเนินการทดลอง

จากภาพที่ 2 แบ่งการทดลองผลิตเห็ดนางฟ้าในโรงเรือนอัจฉริยะออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) การออกแบบการทดลองการผลิตเห็ด 2) การสร้างรูปแบบการทดลองการผลิตเห็ด และ 3) การทดสอบการทดลองการผลิตเห็ด โดยมีผลลัพธ์ 2 ส่วนคือ 1) ผลผลิตเห็ดที่ได้ และ 2) รูปแบบการจัดเรียงที่ส่งผลต่อผลผลิต ผู้วิจัยได้การออกแบบการทดลองโดยแบ่งพื้นที่ในโรงเรือนออกเป็น 2 โซน ตามความยาวของโรงเรือน เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยการผลิตเห็ดจำนวน 2 ชุด คือ อุปกรณ์ตรวจวัด A และอุปกรณ์ตรวจวัด B และในแต่ละโซนจะแบ่งครึ่งเพื่อจัดเรียงก้อนเห็ดโดยจะมีการจัดเรียง 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เป็นการจัดเรียงก้อนเห็ดโดยวางก้อนเห็ด 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น การจัดเรียงในลักษณะนี้เป็นการจัดเรียงโดยวางก้อนเห็ดซ้อนทับกัน 2 ชั้นในแนวตั้ง เว้น 1 ชั้น แล้วจัดเรียงก้อนเห็ดแบบเดิมอีก 2 ชั้น วางต่อกันไปในแนวตั้งแบบเดิม เพื่อให้ก้อนเห็ดได้มีผิวสัมผัสกับอุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง ในโรงเรือนอัจฉริยะเหมือนกันในทุก ๆ ก้อน ดังแสดงในภาพที่ 3A และแบบที่ 2 เป็นการจัดเรียงก้อนเห็ดโดยไม่มีการเว้นระยะ การจัดเรียงในลักษณะนี้จะจัดเรียงโดยวางก้อนเห็ดซ้อนทับกันขึ้นไปในแนวตั้ง เพื่อให้ก้อนเห็ดรับน้ำหนักกันเอง ซึ่งเป็นรูปแบบดั้งเดิมที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผลิตเห็ด ดังแสดงในภาพที่ 3B โดยจะทดลองเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมที่ควบคุมปัจจัยการผลิต โดยใช้วัสดุในการเป็นฉนวนความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิใช้การรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น ใช้แสงไฟนีออนในโรงเรือนเพื่อเพิ่มแสงในการผลิตเห็ด และใช้การระบายอากาศด้วยการเปิดโรงเรือนในบางช่วงเวลา และจัดวางเรียงก้อนเชื้อเห็ดแบบวางทับกันในแนวดิ่ง เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดได้ กับผลผลิตที่ได้จากโรงเรือนแบบดั้งเดิมที่ควบคุมปัจจัยการผลิตได้บางส่วน



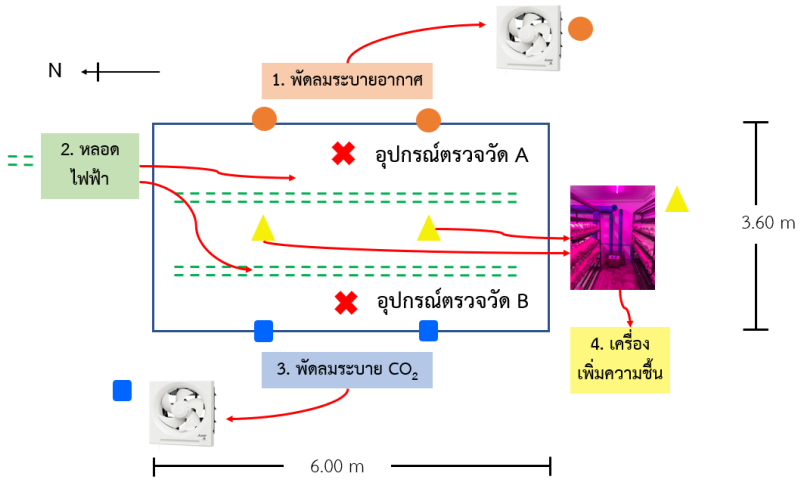
ภาพที่ 3A และ 3B การจัดเรียงแบบที่ 1 และแบบที่ 2

เมื่อพิจารณาการทดลองทั้งโรงเรือนผลิตเห็ด พบว่ามีการแบ่งโซนในการทดลองจำนวน 4 โซน คือโซน A1, A2, B1 และ B2 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4

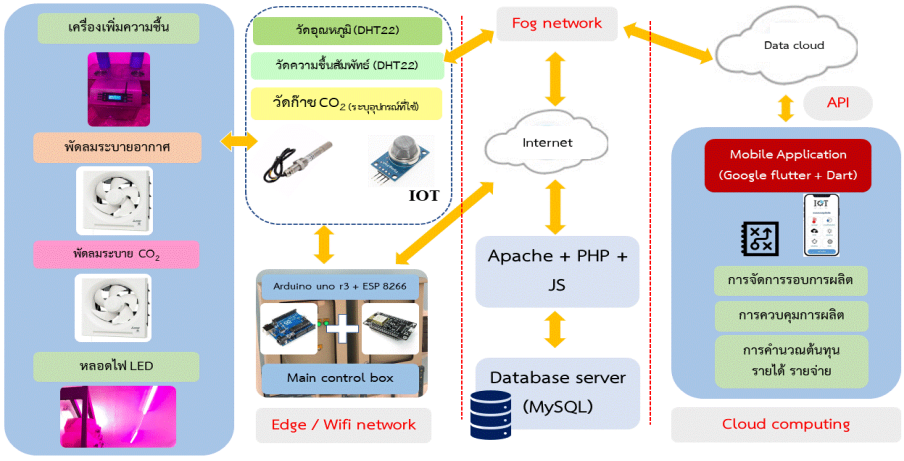


ภาพที่ 4 การจัดโซนในโรงเรือนเพื่อการทดลองผลิตเห็ด

จากภาพที่ 4 แสดงโซนการผลิตจำนวน 4 โซน ในโรงเรือนอัจฉริยะที่ควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ประกอบไปด้วย 1. ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 70 - 90 (Subedi, Luitel, Baskota & Acharya, 2019) 2. อุณหภูมิ 28 - 32°C (Youngkerd & Sangdee, 2015; Singjaroen & Sakaew, 2016) 3. CO_2 ไม่เกิน 1,500 ppm (Jeznabadi, Jafarpour & Eghbalsaied, 2016) และ 4) แสง ไม่เกิน 100 lux (Prikupets L. B, 2022) ในการทดลองได้ทำการบันทึกผลผลิตเห็ดแต่ละโซน เพื่อเปรียบเทียบวิธีการจัดเรียงที่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะ โดยการติดตั้งระบบอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดจะแสดงในภาพที่ 5 และแสดงสถาปัตยกรรมของโรงเรือนอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด



ภาพที่ 6 สถาปัตยกรรมของโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

จากภาพที่ 6 ผู้วิจัยได้ออกแบบโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการควบคุมปัจจัยการผลิต โดยติดตั้งอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องเพิ่มความชื้น พัดลมระบายอากาศ และหลอดไฟแอลอีดี โดยรับ-ส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ไปยังระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนแพลตฟอร์ม Fog Networking ซึ่งเชื่อมต่อข้อมูลผ่านโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Apache, PHP และ Java Script การจัดเก็บ ประมวลผลผ่านระบบการจัดการฐานข้อมูล My SQL และแสดงผลข้อมูลให้กับผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน โดยข้อมูลที่แสดง ได้แก่ การจัดการรอบการผลิต การควบคุมการผลิต การคำนวณต้นทุน รายได้ และรายจ่าย

4. ผลการวิจัย

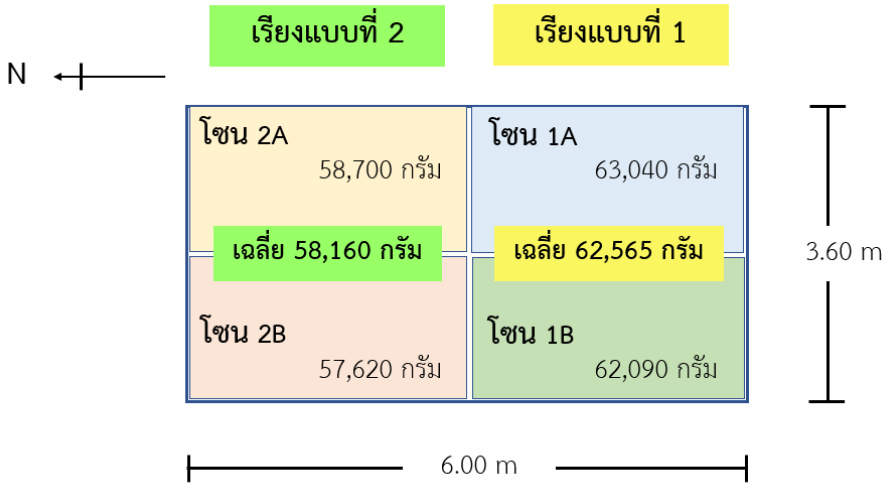
ผลการศึกษาการผลิตเห็ดนางฟ้าใน 1 ฤดูกาลในช่วงฤดูร้อน ทดลองผลิตเห็ดในแต่ละโซน จำนวน 250 ก้อน และทดลองผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมจำนวน 250 ก้อน รวมก้อนเห็ดในการทดลองทั้งหมด 1,250 ก้อน ทำการผลิตเห็ดจำนวน 160 วัน บันทึกผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซนในทุก ๆ วัน ที่มีการเก็บผลผลิตเห็ด ทำการชั่งและบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ในแต่ละโซน ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการผลิตเห็ดในแต่ละโซน

โซน	โซน 1A	โซน 1B	โซน 2A	โซน 2B	โรงเรือนดั้งเดิม
จำนวนก้อนเห็ด (ก้อน)	250	250	250	250	250
จำนวนวันที่ผลิต (วัน)	108	108	108	108	108
ผลผลิตรวม (กรัม)	63,040	62,090	58,700	57,620	46,400
ผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อน (กรัม)	252.16	248.36	234.80	230.48	185.60
ผลผลิตเฉลี่ยต่อวัน (กรัม)	583.70±852.38	574.91±785.67	543.52±830.04	533.52±834.10	429.63± 424.16
ผลผลิตที่สูงขึ้นจากโรงเรือนแบบดั้งเดิม (%)	35.86	33.81	26.51	24.18	0.00

จากตารางที่ 2 ผลผลิตรวมในโซน 1A, 1B, 2A, 2B เท่ากับ 63,040 กรัม, 62,090 กรัม, 58,700 กรัม และ 57,620 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตจากการจัดเรียงของแบบที่ 1 และแบบที่ 2 พบว่า การจัดเรียงแบบที่ 1 มีผลผลิต 63,040 กรัม และ 62,090 กรัม เฉลี่ย 62,565 กรัม การจัดเรียงแบบที่ 2 มีผลผลิต 58,700 กรัม และ 57,620 กรัม เฉลี่ย 58,160 กรัม แสดงว่าผลผลิตเห็ดจากการจัดเรียงแบบที่ 1 มากกว่าแบบที่ 2 เฉลี่ย 4,405 กรัม คิดเป็นผลผลิตที่มากขึ้นร้อยละ 7.57 และและเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมพบว่าการผลิตทั้ง 4 โซน ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อก้อนสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมที่ผลิตได้ 185.6 กรัม อยู่ร้อยละ 35.86, 33.81, 26.51 และ 24.18 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตเห็ดจากการเรียงก้อนเห็ดในรูปแบบเดียวกันกล่าวคือ การจัดเรียงก้อนเห็ดแบบที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดในโซน 1A และ 1B ซึ่งมีรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดเหมือนกัน (แบบเรียง 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น) พบว่าผลผลิตเห็ดที่ได้ในโซน 1A มากกว่าในโซน 1B ร้อยละ 1.53 และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตเห็ดในโซน 2A และ 2B ซึ่งมีรูปแบบการเรียงก้อนเห็ดเหมือนกัน (แบบเรียงทับกันในแนวตั้งพบว่า ผลผลิตเห็ดที่ได้ในโซน 2A มากกว่าในโซน 2B ร้อยละ 1.87 แสดงให้เห็นว่าโซนการผลิตไม่ได้มีผล แต่การจัดเรียงที่แตกต่างกันส่งผลให้ผลผลิตเห็ดแตกต่างกันถึงร้อยละ 7.57 ดังแสดงผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการทดลองผลิตเห็ดที่ผลิตได้ในแต่ละโซน

จากการทดสอบทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดเรียงที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ด้วยการทดสอบ Two-way ANOVA ที่นัยยะสำคัญ .05 ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการผลิตเห็ดด้วยวิธีการจัดเรียงก้อนเห็ดที่แตกต่างกันโดยการทดสอบโดย Two-way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Product

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	189245.139[a]	3	63081.713	.092	.964
Intercept	134949311.343	1	134949311.343	197.836	.000
Alignment	179666.898	1	179666.898	.263	.608
Sensor	9539.120	1	9539.120	.014	.906
Alignment * Sensor	39.120	1	39.120	.000	.994
Error	291950343.519	428	682126.971		
Total	427088900.000	432			
Corrected Total	292139588.657	431			

a. R Squared = .001 (Adjusted R Squared = -.006)

จากตารางที่ 3 แสดงการทดสอบทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยการผลิตที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้จาก 2 เครื่อง และรูปแบบการจัดเรียงที่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้ พบว่าเซ็นเซอร์ตรวจวัดปัจจัยการผลิต 2 ตำแหน่ง ในโรงเรือนและรูปแบบการจัดเรียงไม่มีผลต่อผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) ซึ่งแสดงว่าถึงแม้ว่าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 ปัจจัย ในโรงเรือนจะมีความแตกต่างกันไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non-homogenous) แต่ไม่ส่งผลต่อการผลิตเห็ดในโรงเรือน นอกจากนั้นรูปแบบการจัดเรียงทั้ง 2 แบบ ไม่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้อย่างมีนัยยะสำคัญ

ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้ทางสถิติจะแสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงก้อนเชื้อเห็ดไม่มีผลต่อการผลิตเห็ด แต่ในกรณีที่ผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะการจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ส่งผลให้ได้ผลผลิตเห็ดเพิ่มขึ้นจากการจัดเรียงแบบดั้งเดิมร้อยละ 7.57 ซึ่งเกษตรกรสามารถนำรูปแบบการจัดเรียงไปใช้ในการผลิตได้เพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการผลิตของตนเอง

5. สรุปผล

จากการทดลองผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการควบคุมปัจจัยการผลิต เมื่อควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญ 4 ปัจจัย คือความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสงพบว่าผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้สูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 24.18 - 26.51 และเมื่อปรับการจัดวางก้อนเชื้อเห็ดเป็นการจัดวางแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น พบว่าผลผลิตที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 33.81 - 35.86

เมื่อผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง แต่เปลี่ยนการจัดเรียงจากวางทับซ้อนกั้นเป็นการจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น การจัดเรียงแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ให้ผลผลิตสูงกว่าการจัดเรียงแบบดั้งเดิมร้อยละ 7.57

ในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการควบคุมปัจจัยการผลิต ถึงแม้ว่าการควบคุมปัจจัย จะไม่สามารถทำให้ทั้งโรงเรือนมีปัจจัยการผลิตที่เหมือนกันในทุกตำแหน่งของโรงเรือนเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) แต่ค่าปัจจัยที่ควบคุมได้ยังอยู่ในช่วงที่กำหนดทั้ง 4 ค่าปัจจัย และตำแหน่งของการผลิตไม่ส่งผลต่อผลผลิตเห็ดที่ผลิตได้

6. อภิปรายผล

เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ในโรงเรือนอัจฉริยะเปรียบเทียบกับการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมของเกษตรกรที่ผลิตได้โดยเฉลี่ย 185.60 กรัมต่อก้อน พบว่าการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะด้วยการจัดเรียงแบบที่ 1 มีผลผลิตเฉลี่ย 250.26 กรัมต่อก้อน และด้วยการจัดเรียงแบบที่ 2 มีผลผลิตเฉลี่ย 232.64 กรัมต่อก้อน แสดงว่าโรงเรือนอัจฉริยะได้ผลผลิตเห็ดสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมร้อยละ 34.83 และ 25.34 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยในการผลิตในโรงเรือนอัจฉริยะ สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งทั้ง 4 ปัจจัยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสง (Kamonkunanon et al., 2022) ซึ่งเป็นปัจจัยในการผลิตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด แต่การผลิตในโรงเรือนแบบดั้งเดิมของเกษตรกรไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตเห็ดให้เหมาะสมได้ตลอดเวลา (Sumonphan et al., 2021) และยังอาจพบปัจจัยก้อนเห็ดติดเชื้อโรคจากแมลงในโรงเรือนผลิตเห็ด สอดคล้องกับผลการทดลองในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนผลิตเห็ด ทำให้เห็ดออกดอกให้ผลผลิตที่ดีได้ผลผลิตเฉลี่ยก้อนละ 1.506 กิโลกรัม สูงกว่าโรงเรือนปกติที่ได้ผลผลิตเฉลี่ยก้อนละ 1.206 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 24.8 (Fongngen et al., 2018) โดยในงานวิจัยดังกล่าวได้ควบคุมปัจจัยการผลิตจำนวน 2 ปัจจัย คือความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ส่วนปัจจัยเรื่องก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแสง ในการทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างในโรงเรือน และติดตั้งเครื่องระบายอากาศซึ่งทำให้สามารถควบคุมปัจจัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแสงไปโดยปริยาย

จากผลการทดลองผลิตเห็ดที่มีการจัดเรียงแบบที่ 1 (วางซ้อน 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น) ให้ผลผลิตเห็ดมากกว่าการจัดเรียงแบบที่ 2 (วางซ้อนทับกันในแนวดิ่ง) คิดเป็นร้อยละ 7.57 นอกจากนั้น การผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะที่มีการจัดเรียงก้อนเชื้อเห็ดแบบ 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ยังให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตในโรงเรือนและการจัดเรียงแบบดั้งเดิมร้อยละ 34.84 เนื่องจากรูปแบบการจัดเรียงแบบวางซ้อน 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น ทำให้ก้อนเห็ดสัมผัสกับปัจจัยการผลิตได้ดี สามารถระบายความร้อนได้ดี แต่กรณีที่จัดเรียงแบบทับซ้อนกัน จะส่งผลให้ก้อนเห็ดส่วนใหญ่ที่อยู่ตรงกลางเกิดการสะสมความร้อนและระบายความร้อนได้ยากเนื่องจากถูกก้อนเห็ดก้อนอื่น ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ปิดกั้นไว้ นอกจากนั้น ความชื้นจากไอน้ำที่ผลิตได้จากเครื่องเพิ่มความชื้นยังเข้าถึงก้อนเชื้อเห็ดตรงกลางได้ยากอีกด้วย

ผลการผลิตเห็ดจากรูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดในแบบที่ 1 (วางซ้อน 2 ชั้น เว้น 1 ชั้น) ในโซน 1A มากกว่าในโซน 1B ร้อยละ 1.53 และผลการผลิตเห็ดจากรูปแบบการจัดเรียงก้อนเห็ดในแบบที่ 2 (วางซ้อนทับกันในแนวตั้ง) ในโซน 2A มากกว่าในโซน 2B ร้อยละ 1.87 ซึ่งทั้งสองรูปแบบการจัดเรียงมีผลผลิตในโซน A สูงกว่าในโซน B เล็กน้อย แสดงว่าโซนในการผลิตไม่มีผลต่อผลผลิตเห็ด เนื่องจากในโรงเรือนอัจฉริยะ สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมต่อการผลิตเห็ด การผลิตในจุดต่าง ๆ ภายในโรงเรือนมีปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด จึงไม่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตเห็ด ถึงแม้ว่าปัจจัยในทุกจุดในโรงเรือนจะไม่เท่ากันแบบเป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะกับการผลิตเห็ดในโรงเรือนแบบดั้งเดิมพบว่าผลผลิตที่ได้จากโรงเรือนอัจฉริยะสูงกว่าในโรงเรือนแบบดั้งเดิมมากกว่าร้อยละ 25.34 - 34.83 ทั้งนี้เนื่องจากในโรงเรือนอัจฉริยะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตที่สำคัญได้ เห็ดสามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่เหมาะสมจึงให้ผลผลิตที่มากกว่า สอดคล้องกับการวิจัยเรื่อง Intelligent Mushroom Monitoring System (Raja, Rozario, Nagarani & Kavitha, 2018) ซึ่งมีการออกแบบระบบการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนผลิตเห็ด โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoTs และเซ็นเซอร์ในการควบคุม 3 ปัจจัยคือ 1) อุณหภูมิ2) ความชื้น และ 3) คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อทดลองผลิตเห็ดในช่วง 30 วัน พบว่าเห็ดที่ผลิตเห็ดในโรงเรือนอัจฉริยะให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตเห็ดในโรงเรือนทั่วไปร้อยละ 19.96 และสอดคล้องกับการทดลองผลิตเห็ดในโรงเรือนที่ควบคุมปัจจัยการผลิตที่สามารถผลิตเห็ดได้เพิ่มร้อยละ 22.33 (Toomthong et al., 2021) แต่จะให้ผลผลิตต่ำกว่า เมื่อทดลองผลิตในตู้ผลิตเห็ดที่ควบคุมปัจจัยการผลิตที่มีขนาดตู้บรรจุไม่เกิน 300 ก้อน ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าการผลิตแบบดั้งเดิมร้อยละ 29.3 (Payommai & Wangkhuntod, 2023) และร้อยละ 48.78 (Thongyothee et al., 2023) ตามลำดับ เนื่องจากการผลิตเห็ดในตู้ทดลองที่มีขนาดเล็ก จะสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ง่าย และมีความสม่ำเสมอกว่าการผลิตในโรงเรือนจริง

7. เอกสารอ้างอิง

Chieochan, O., Saokaew, A. & Boonchieng, E. (2017). IOT for smart farm: A case study of the Lingzhi mushroom farm at Maejo University. *Paper presented at the 2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE).*

Fongngen, W., Pechhan, S. & Yajor, R. (2018). Application with the Internet of Things Technology Control in Smart Farms Mushroom. *Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University*, 5(1), 172-182. (in Thai)

Hongyont, S. (2019). Cost Analysis and Finance Return of Oyster Mushroom Farm in Ubon Ratchathani. *Journal of Graduate School, Pitchayatat, Ubon Ratchathani Rajabhat University,* 14(2), 189-196. (in Thai)

Jeznabadi, E. K., Jafarpour, M. & Eghbalsaied, S. (2016). King oyster mushroom production using various sources of agricultural wastes in Iran*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 17-24.

Kamonkunanon, S., Songneam, N., Supawantanakul, D. & Siringam, T. (2022). *A Study of Factor of Production for Cool Group of Mushrooms in Smart Farm Using Internet of Things Technology*. Loei Rajabhat University Research Conference 8th: Loei Rajabhat University. (in Thai)

Khambun, A., Singkhleewon, N., Thanasin, K. & Puttala, S. (2021). The Development of an Intelligent Mushroom Cabinet with Solar Energy. *Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology,* 16(1), 27-40. (in Thai)

Office of the Royal Development Projects Board. (2012). *Guide to growing economic mushrooms and native mushrooms (2nd Edition).* Bangkok: Mind Create Advertising company Limited.

Payommai, T. & Wangkhuntod, S. (2023). Development of smart mushroom farm to increase the efficiency and value of mushrooms by using smartphone control for community enterprises in mushroom farming. *Agriculture and Technology Journal,* 4(2), 59-73. (in Thai)

Prikupets, L. B. (2018). *Technological lighting for agro-industrial installations in Russia. Light & Engineering,* 26(1), 7-17.

Raja, S. P., Rozario, A. R, Nagarani, S. & Kavitha, N. (2018). Intelligent Mushroom Monitoring System. *International Journal of Engineering & Technology,* 77(2.33), 1238-1242.

Sangpakornkij, T. (2013). *Oyster mushroom*. Bangkok: SE-ED Publishing. (in Thai)

Satun College of Agriculture and Technology. (2014). *Mushrooms and the importance in mushroom production.* [online], Available: http://www.satunatc.ac.th/lms/course/view.php?id=3. access on December 8, 2023. (in Thai)

Singjaroen, B. & Sakaew, S. (2016). *Temperature and Humidity Control System in Mushroom Greenhouse.* The 1st Ralamangala University of Technology Suvarnabhumi National Conference, 176-183. (in Thai)

Subedi, A., Luitel, A., Baskota, M., & Acharya, T. D. (2019). *IoT Based Monitoring System for White Button Mushroom Farming.* Paper presented at the Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.

Sumonphan, E., Thongchai R., Khamchuen, C. & Viriyarattanakul, S. (2021). Controlling System of Bhutan Oyster Mushroom's Growth and Alert by Image Processing and Internet of Things. *Science Technology and Innovation*, 2(3), 1-10. (in Thai)

The National Science and Technology Development Agency. (2021). *Collection of data on production and marketing of economic mushrooms and wild edible mushrooms in Thailand.* [online], Available: https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf. access on February 15, 2023. (in Thai)

Thongyothee, S., Dangton, W., Jeepetch, V., Wongniyom, A., Lomchangkhum, C. & Thongothee, C. (2023). Design of Temperature and Relative Humidity Test Kit for Grey Oyster Mushrooms Cultivation. *Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal*, 16(2), 24-34. (in Thai)

Toomthong, P., Sakaew, S., Niyomtong, P., Keeratiyadathanapat, N. & Suvarnakuta, N. (2021). A Study of Evaporative and Fogging Cooling System for Mushroom House. *Industrial Technology Journal,* 6(2), 33-40. (in Thai)

Youngkerd, N. & Sangdee, P. (2015). *Mushroom production for sale*. Bangkok: MIS Publishing. (in Thai)

การใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากสับปะรดสำหรับผลิตเอทานอล

A study of Ethanol Production Using Agricultural Waste from Pineapples

โศภิษฐพร ศิลปภิรมย์สุข[1], อภิศักดิ์ จักรบุตร[2], เยาวเรศ ชูศิริ[3], ศิวัช ตั้งประเสริฐ[4], สมศักดิ์ ก๋าทอง[5] และธีราภรณ์ พรหมอนันต์[6*]

Sopittaporn Sillapapiromsuk[1], Apisak Jukkraboot[2], Yaowares Chusiri[3], Siwat Thungprasert[4], Somsak Gathong[5] and Theeraporn Promanan[6*]

[1,2,3,4,5,6*]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
โทร 0 5424 1052 โทรสาร 0 5424 1052 E-mail: Theeraporn.lpru@gmail.com

[1,2,3,4,5,6*]Faculty of Science, Lampang Rajabhat University
119 Moo 9, Chompoo Subdistrict, Mueang District, Lampang Province, Thailand 52100
Tel. +66 5424 1052 Fax. +66 5424 1052 E-mail: Theeraporn.lpru@gmail.com

วันที่รับบทความ 13 มีนาคม 2567 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 13 มิถุนายน 2567 **วันที่ตอบรับบทความ** 18 มิถุนายน 2567

Received: Mar. 13, 2024 **Revised:** Jun. 13, 2024 **Accepted:** Jun. 18, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยใช้กระบวนการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 3 5 7 และ 15 วัน จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณเอทานอลที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโกปี นอกจากนี้ทำการศึกษาปริมาณน้ำตาลจากเปลือกและแกนสับปะรดที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ผลการทดลองพบว่าการหมักโดยการใช้ยีสต์ขนมปังให้ปริมาณเอทานอลมากกว่าการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติทั้งในเปลือกและแกนสับปะรด โดยปริมาณเอทานอลมากที่สุดพบในเปลือกสับปะรดที่หมักด้วยยีสต์ขนมปัง คิดเป็นร้อยละ 18.92 เมื่อหมักนาน 15 วัน ปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้ โดยในเปลือกสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรด จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเปลือกและแกนสับปะรดมาใช้ในการผลิตเอทานอลได้ และการใช้ยีสต์ขนมปังร่วมกับยีสต์ธรรมชาติ ทำให้ได้ปริมาณเอทานอลมากกว่าวิธีการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติเพียงอย่างเดียว โดยปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักโดยวิธียีสต์ธรรมชาติ และการใช้ยีสต์ขนมปังก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน และเมื่อคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นจะเห็นได้ว่าการผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรดปริมาณ 10 กิโลกรัม สามารถคิดเป็นผลกำไรเท่ากับ 32.90 บาท

คำสำคัญ: เอทานอล, เปลือกและแกนสับปะรด

Abstract

This research studied ethanol production from core and peel of pineapple using natural and baker yeast fermentation. Both fermentations were studied at room temperature for 3, 5, 7 and 15 days. Then, the ethanol content was determined using

the UV- Visible spectroscopy technique. The Brix value of the core and peel of pineapple after cellulose digestion using cellulase enzyme was then measured. The amount of ethanol showed that ethanol production from baker yeast was higher than that of natural yeast from both the peel and the core of pineapple. The baker's yeast produced the highest ethanol content (18.92% after 15 days of pineapple peel fermentation). Ethanol content was measured using the Brix percentage with that of pineapple peel being higher than of pineapple core. All results suggested that pineapple peel and core can be used for ethanol production, and the combination with natural and baker yeast can produce ethanol content higher than that of natural yeast. The ethanol contents from core and peel of pineapple were significantly different ($p < 0.05$), and the ethanol contents from natural and baker yeast were also significantly different ($p < 0.05$). Additionally, the basic economic value calculation shows that the profit on ethanol production from 10 kg of pineapple peel is 32.90 baht.
Keywords: Ethanol, Peel and Core Pineapple

1. บทนำ

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดลำปางมีหลายชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง กระเทียม สับปะรด และกาแฟ เป็นต้น (Lampang provincial agricultural extension office, 2020) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับปะรด จังหวัดลำปางเป็นจังหวัดที่มีร้อยละและปริมาณการเก็บเกี่ยวสับปะรดสูง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เศษวัสดุทางการเกษตรจากสับปะรด อาทิเช่น เปลือกและแกนมีจำนวนมาก การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นการลดขยะทางการเกษตร การนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับชุมชน เป็นการพึ่งพาตนเองในลักษณะเศรษฐกิจพอเพียงซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับประชาชนทั้งในเมืองและชนบท จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจทำการวิจัยและพัฒนานำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากสับปะรดมาผลิตเป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เป็นการเพิ่มมูลค่าและเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากในจังหวัดลำปางให้เกิดประโยชน์

อนึ่ง จากแผนอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงาน (Energy Efficiency Plan: EEP2015) ที่มีเป้าหมายลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 ในปี 2579 (เมื่อเทียบกับปี 2553) และเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศ ภายใต้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) นำมาสู่แผนยุทธศาสตร์แห่งชาติที่จะให้เกิดงานวิจัยและการพัฒนาพลังงานทางเลือก เพื่อนำพลังงานภายในประเทศมาใช้ให้มากที่สุด (Department of alternative energy development and efficiency, 2016) การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวข้างต้น

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เกิดจากการนำเอาพืชมาย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์

โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย และทำให้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยการกลั่น เอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบ 3 ประเภท คือ วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ธัญพืช ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล บีตรูต ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น (Papaphai et al., 2020) วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด รำข้าว เศษไม้ เศษกระดาษ ขี้เลื่อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น (Choonut & Sangkharak, 2016) โดยการผลิตเอทานอลนั้น จะมี 2 วิธีการหลัก ๆ คือ การสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบเป็นสารเคมีคือ เอทิลีน (Ethylene) จะเรียกว่า เอทานอลสังเคราะห์ (Synthetic ethanol) และการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (การหมัก) โดยใช้วัตถุดิบ ทางการเกษตรที่มีแป้ง น้ำตาล หรือเส้นใย เป็นแหล่งคาร์บอนให้แก่จุลินทรีย์ได้ผลผลิตเป็น ไบโอเอทานอล (Bio-ethanol) ซึ่งการหมักด้วยยีสต์จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์และใช้ต้นทุน ในการผลิตต่ำ (Kongjindamunee, 2013)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตเอทานอลแบบต้นทุนการผลิตต่ำ ด้วยการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุ เหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาถูกหรือแทบจะไม่มีราคา คือเศษวัสดุเหลือทิ้งจากสับปะรด อาทิเช่นเปลือกและแกนสับปะรดที่มีอยู่จำนวนมากในจังหวัดลำปาง ศึกษาขั้นตอนการปรับสภาพ ด้วยการย่อยจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ และการย่อยด้วยเอนไซม์ จากนั้นทำการหมัก ด้วยยีสต์ขนมปัง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นจากการหมักทั้งสองแบบ โดยงานวิจัยนี้ ทำให้ได้กระบวนการผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง รวมถึงเป็น องค์ความรู้ในการวิจัยนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุเหลือทิ้ง ชนิดอื่น ๆ อีกทั้งเอทานอลที่ได้ยังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทน พลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด เพื่อช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน รวมทั้งลดปัญหาการกำจัด เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตจังหวัดลำปางที่มีร้อยละ และปริมาณการเก็บเกี่ยวสับปะรดสูง จึงเหมาะที่จะนำมาปรับเปลี่ยนเพื่อเพิ่มมูลค่า และลดปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกและแกนสับปะรด

2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลจากกระบวนการหมักเปลือกและแกนสับปะรด ด้วยยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรด ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยกระบวนการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปัง รวมถึงการวัดค่าความหวาน (%brix) ของเปลือกและแกนสับปะรด การสร้างกราฟมาตรฐานของเอทานอลเพื่อหาปริมาณเอทานอล ในน้ำหมักสับปะรด มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวัดค่าความหวานของเปลือกและแกนสับปะรด

1) การวัดค่าความหวานของเปลือกสับปะรด

ชั่งเปลือกสับปะรดที่ปั่นละเอียด 100 กรัม นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) โดยวัดทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนค่าความหวานคงที่ เพื่อตรวจสอบค่าความหวานสูงสุดของเปลือกสับปะรด และนำค่าความหวานที่ได้ไปสร้างกราฟค่าความหวานของเปลือกสับปะรด

2) การวัดค่าความหวานของแกนสับปะรด

ชั่งแกนสับปะรดที่ปั่นละเอียด 100 กรัม แล้วเติมเอนไซม์เซลลูเลส 1 มิลลิกรัม พร้อมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน โดยวัดทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนค่าความหวานคงที่ เพื่อตรวจสอบค่าความหวานสูงสุดของแกนสับปะรดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ในการย่อยแกนสับปะรด จากนั้นนำค่าความหวานที่ได้ไปสร้างกราฟความหวานของแกนสับปะรด

3.2 การหมักเปลือกและแกนสับปะรดโดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติและใช้ยีสต์ขนมปัง

1) การหมักเปลือกสับปะรด

(1.1) การหมักเปลือกสับปะรดโดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติ

นำเปลือกสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เก็บไว้ในที่มืดทิ้งไว้ 1 คืน เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปใส่ขวดสีชา จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาเพื่อหมักต่อโดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปกรองเอาเศษเปลือกสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

(1.2) การหมักเปลือกสับปะรดโดยใช้ยีสต์ขนมปัง

นำเปลือกสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เก็บไว้ในที่มืดทิ้งไว้ 1 คืน เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดให้เติมยีสต์ขนมปังลงไป 1 กรัม จับเวลา 10 นาที แล้วนำไปใส่ขวดสีชาและเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาเพื่อหมักต่อโดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปกรองเอาเศษเปลือกสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

2) การหมักแกนสับปะรด

(2.1) การหมักแกนสับปะรดโดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติ

นำแกนสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เติมเอนไซม์เซลลูเลสลงไปในถุง ๆ ละ 1 มิลลิกรัม พร้อมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปใส่ขวดสีชา และเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาหมักต่อโดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปกรองเอาเศษแกนสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

(2.2) การหมักแกนสับปะรดโดยใช้ยีสต์ขนมปัง

นำแกนสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เติมเอนไซม์เซลลูเลสลงไปในถุง ๆ ละ 1 มิลลิกรัม พร้อมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดให้เติมยีสต์ขนมปังลงไป 1 กรัม จับเวลา 10 นาที แล้วนำไปใส่ขวดสีชาและเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาเพื่อหมักต่อ โดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนด นำไปกรองเอาเศษแกนสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณเอทานอล

นำสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ 95 %v/v มาทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ 2 4 6 8 และ 10 %v/v ตามลำดับ แล้วปิเปตสารละลายที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโน (Yosyingyong, 2017*)* บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐานของเอทานอล

3.4 การหาปริมาณเอทานอลในน้ำหมักสับปะรด

นำน้ำหมักจากเปลือกและแกนสับปะรดที่เตรียมได้จากข้อ 3.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณเอทานอลด้วยกราฟมาตรฐาน

4. ผลการวิจัย

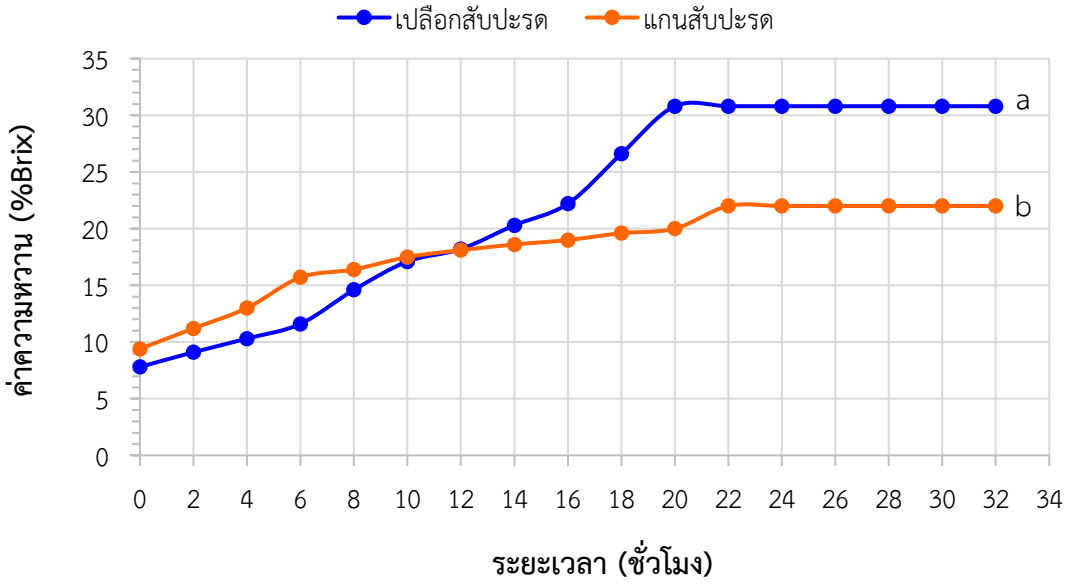
การผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรด เบื้องต้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลของเปลือกและแกนสับปะรดด้วยเครื่องวัดความหวาน จากนั้นศึกษาวิธีการผลิตเอทานอลโดยวิธีการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง และทำการหาปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโกปี รวมถึงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรด ได้ผลการวิจัย ดังนี้

4.1 ค่าความหวานของเปลือกและแกนสับปะรด

การวัดค่าความหวานของเปลือกและและแกนสับปะรดทุก 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 32 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) ได้ผลการวิจัยดังภาพที่ 1 พบว่าค่าความหวานของเปลือกสับปะรดมีค่าเริ่มต้นที่ 7.8 และมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 0 - 20 ชั่วโมง จนค่าความหวานสูงสุดและคงที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 20 ชั่วโมง ถึง 32 ชั่วโมง โดยมีค่าความหวานอยู่ที่ 30.8 เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส ในการย่อยเซลลูโลสให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลในเปลือกสับปะรด เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 20 สำหรับค่าความหวานของแกนสับปะรด

มีค่าเริ่มต้นที่ 9.4 และมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 0 - 22 ชั่วโมง จนค่าความหวานสูงสุดและคงที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 22 ชั่วโมง ถึง 32 ชั่วโมง โดยมีค่าความหวานอยู่ที่ 22.0 เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสย่อยเซลลูโลสในแกนสับปะรดให้กลายเป็นน้ำตาลไปเรื่อย ๆ จนคงที่ กล่าวคือระยะเวลาที่เกิดกระบวนการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 22 เป็นต้นไป

จากการศึกษาจะเห็นว่า เมื่อปริมาณน้ำตาลมีค่าคงที่ เปลือกสับปะรดจะมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรด (Chaokaur et al., 2014) อาจเป็นเพราะกระบวนการเตรียมเปลือกสับปะรดมักมีเนื้อของสับปะรดปนติดมาด้วย ทำให้ในกระบวนการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลเกิดขึ้นได้ดีและมากกว่าแกนสับปะรด แม้ว่าแกนสับปะรดจะใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการช่วยย่อยแล้วก็ตาม และสามารถกล่าวได้ว่าความหวานที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



[a, b] = Significant difference ($p < 0.05$)

ภาพที่ 1 ค่าความหวานของเปลือกและแกนสับปะรด

เมื่อนำค่าความหวานที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรดมาเทียบค่าเพื่อประมาณร้อยละของเอทานอล (Ribéreau-Gayon et al., 2018) ดังตารางที่ 1 พบว่า หากค่าความหวานที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงขึ้น ปริมาณเอทานอลจะสูงขึ้นตามไปด้วย โดยได้ปริมาณเอทานอลจากเปลือกสับปะรดมากที่สุด ร้อยละ 19.00 และได้ปริมาณเอทานอลจากแกนสับปะรดมากที่สุด ร้อยละ 12.93

ตารางที่ 1 ร้อยละของปริมาณเอทานอลที่ได้จากการเทียบค่าความหวาน

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความหวานจากเปลือกสับปะรด	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)*	ความหวานจากแกนสับปะรด	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)*
0	7.80	-	9.40	-
2	9.10	-	11.20	5.83
4	10.30	5.27	13.00	6.99
6	11.60	6.14	15.70	8.775
8	14.60	8.02	16.40	9.17
10	17.10	9.715	17.50	9.93
12	18.20	10.40	18.10	10.315
14	20.30	11.805	18.60	10.70
16	22.20	13.10	19.00	10.90
18	26.60	16.11	19.60	11.30
20	30.80	19.00	20.00	11.60
22	30.80	19.00	22.00	12.93
24	30.80	19.00	22.00	12.93
26	30.80	19.00	22.00	12.93
28	30.80	19.00	22.00	12.93
30	30.80	19.00	22.00	12.93
32	30.80	19.00	22.00	12.93

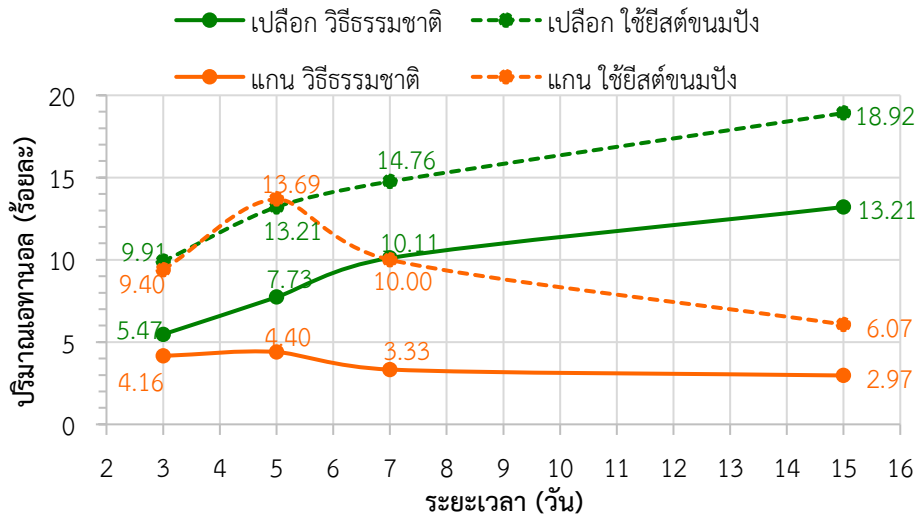
* Ribéreau-Gayon et al. (2018)

4.2 ปริมาณเอทานอลจากการหมักเปลือกและแกนสับปะรด โดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง

เมื่อนำน้ำหมักจากเปลือกและแกนสับปะรดที่ได้จากยีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปัง ระยะเวลาการหมัก 3 5 7 และ 15 วัน มาตรวจวัดและวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล ได้ผลการวิจัยดังภาพที่ 2 พบว่า ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักเปลือกสับปะรดโดยยีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปังจะมีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ จากการหมัก 3 วัน จนถึง 15 วัน ซึ่งการหมักเปลือกสับปะรดโดยยีสต์ธรรมชาติมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 5.47 หลังจากหมักได้ 3 วัน หลังจากนั้นมีค่ามากขึ้นเป็น 7.73 10.11 และ 13.21 เมื่อหมักครบ 15 วัน ส่วนการหมักเปลือกสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 9.91 หลังจากหมักได้ 3 วัน หลังจากนั้นมีค่ามากขึ้นเป็น 13.21 14.76 และ 18.92 เมื่อหมักครบ 15 วัน จะสังเกตเห็นว่าการหมักเปลือกสับปะรด โดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นมากกว่าวิธียีสต์ธรรมชาติประมาณ 2 เท่า และหลังจากหมักครบ 15 วัน การหมักเปลือกสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลมากกว่าวิธียีสต์ธรรมชาติประมาณ 1 เท่า

ส่วนปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักแกนสับปะรด โดยวิธียีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปังจะมีค่ามากขึ้นหลังจากหมักได้ 3 วัน และมีค่าสูงสุดเมื่อหมักได้ 5 วัน จากนั้นปริมาณเอทานอลมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อหมักได้ 7 และ 15 วันตามลำดับ โดยปริมาณเอทานอลมีค่าน้อยที่สุดเมื่อหมักนาน 15 วัน และมีค่าน้อยกว่าเอทานอลเริ่มต้น การหมักแกนสับปะรดโดยวิธียีสต์ธรรมชาติมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 4.16 หลังจากหมักได้ 3 วัน และมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 4.40 เมื่อหมักได้ 5 วัน จากนั้นปริมาณเอทานอลมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 3.33 และ 2.97 เมื่อหมักได้ 7 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ ส่วนการหมักแกนสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 9.40 หลังจากหมักได้ 3 วัน และมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 13.69 เมื่อหมักได้ 5 วัน จากนั้นปริมาณเอทานอลมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 10.00 และ 6.07 เมื่อหมักได้ 7 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าการหมักแกนสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นมากกว่าวิธียีสต์ธรรมชาติประมาณ 2 เท่า และหลังจากหมักครบ 15 วัน การหมักแกนสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลมากกว่าวิธียีสต์ธรรมชาติประมาณ 2 เท่าเช่นกัน

หากเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรดพบว่า เมื่อเวลาหมักผ่านไป 15 วัน ปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกสับปะรดทั้งหมักด้วยวิธียีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปังจะมีค่ามากกว่าปริมาณเอทานอลจากแกนสับปะรด ประมาณ 2 - 6 เท่า



ภาพที่ 2 ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักเปลือกและแกนสับปะรด โดยวิธียีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปัง

งานวิจัยนี้ได้ปริมาณเอทานอลมากที่สุดจากเปลือกสับปะรด โดยวิธีการหมักด้วยยีสต์ขนมปังร้อยละ 18.92 เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกสับปะรด

กระบวนการผลิตเอทานอล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)	อ้างอิง
หมักด้วยยูเรียและปุ๋ย NPK	9.00	Chamidy H. et al. (2004)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	5.38	Tengrang U. (2014)
หมักด้วยยีสต์	3.90	Tropea A. et al. (2014)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	11.20	Babu P. et al. (2019)
หมักด้วยยีสต์	10.80	Wandono E. H. et al. (2020)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	4.5	Omoolorun et al. (2023)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	13	Saragih et al. (2023)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	**18.92**	**งานวิจัยนี้**

4.3 มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผลิตเอทานอล จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกสับปะรด

จากการวิจัยจะเห็นว่าเมื่อนำเปลือกสับปะรด 200 กรัม มาเติมยีสต์ขนมปัง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วหมักไว้ 15 วัน จะได้ปริมาณเอทานอลร้อยละ 18.92 คิดเป็นความเข้มข้นเท่ากับ 37.85 %v/v ต้องการเตรียมเอทานอล 95 %v/v นำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นความจุ 15 ลิตร กำลังไฟฟ้า 1,800 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 1.5 หน่วย จึงจะได้ปริมาณเอทานอล 39.84 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบการใช้เปลือกสับปะรดปริมาณ 10 กิโลกรัม จะได้เอทานอล 95 %v/v ปริมาณ 1,992 มิลลิลิตร โดยราคาต้นทุนของวัตถุดิบกับราคาขายของเอทานอล 95 %v/v แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อนำมาคำนวณผลกำไรจะได้เท่ากับ 32.90 บาท คิดเป็นร้อยละ 20.26 ต่อเปลือกสับปะรด 10 กิโลกรัม ทั้งนี้ปริมาณรวมของวัตถุดิบต้องไม่เกิดความจุของเครื่องกลั่น 15 ลิตร

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ต้นทุน	ปริมาณ	ราคาที่ใช้ (บาท)
ต้นทุน		
เปลือกสับปะรด*	10 กิโลกรัม	0
ยีสต์ขนมปัง**	50 กรัม	22.8
น้ำประปา*** (ณ วันที่ 24 มีนาคม 2567)	5 ลิตร	0.015
ค่าไฟฟ้า**** (ณ วันที่ 24 มีนาคม 2567)	1.5 หน่วย	6.27
ค่าแรง*****	2 ชั่วโมง	40
รวม		162.32
ราคาขาย**** เอทานอล 95 %v/v**	1,992 มิลลิลิตร	195.22
กำไร		**32.90 (คิดเป็น 20.26%)**

*เปลือกสับปะรดเหลือทิ้งจากตลาด ไม่คิดราคา
**ยีสต์ขนมปัง ยี่ห้อเพอร์เฟค ขนาด 34 กรัมราคา 52 บาท (Perfect instant Yeast, n.d.)
***น้ำประปา หน่วยละ 10.2 บาท (1 หน่วย = 1,000 ลิตร) (Metropolitan waterworks authority, n.d.)
****ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 4.18 บาท) (ThaiPBS, 2024)
*****ค่าแรง ชั่วโมงละ 40 บาท ต่อคน (Thailand Development Research Institute (TDRI), 2022)
******เอทานอล 95 % v/v จากกรุงเทพเคมี (1 ลิตร ราคา 98 บาท) (Krungthepchemi, n.d.)

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า การผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกและแกนสับปะรด สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคตได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยสามารถเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้อย่างไม่จำกัด ทดแทนพลังงานฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไป (Papaphai et al., 2020) อีกทั้งยังเป็นเชื้อเพลิงสะอาดลดการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นวัตกรรมเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งเป็นนวัตกรรมยานยนต์ในอนาคต (Thungprasert et al., 2024) เป็นแนวทางในการลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานที่มีประสิทธิภาพด้วยปัจจัยของประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งวัสดุหรือผลิตผลเหลือใช้ทางการเกษตร ส่วนใหญ่มักถูกทำลายหรือปล่อยทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ แต่การผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนดังกล่าวจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียเหล่านั้น กลายเป็นการสร้างรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยเปรียบเทียบการหมักด้วยวิธียีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหวานจากการหาปริมาณน้ำตาลในเปลือกและแกนสับปะรด พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้จากเปลือกสับปะรดมีค่าความหวานสูงสุด ร้อยละ 30.8 ส่วนแกนสับปะรดมีค่าสูงสุด ร้อยละ 22.0 จะเห็นได้ว่าเปลือกสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรด และเมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความหวานกับเอทานอลที่เกิดขึ้น (Ribéreau-Gayon et al., 2018) พบว่า เมื่อร้อยละของค่าความหวานสูง เอทานอลที่ได้จะมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 1

$$(C_6H_{12}O_6)_n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6 \rightarrow 2nC_2H_5OH + 2nCO_2 \qquad (1)$$

จากการเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เตรียมได้จากการหมักด้วยวิธียีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง พบว่าปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักด้วยยีสต์ขนมปังมีค่ามากกว่ายีสต์ธรรมชาติทั้งจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยเปลือกสับปะรดที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลมากที่สุด ร้อยละ 18.92 เนื่องจากการเติมยีสต์ขนมปังทำให้มีปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพของการหมักภายใต้สภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน สำหรับการเตรียมเอทานอลได้ดีขึ้น เนื่องจากยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลเป็นอาหาร เพื่อการเจริญและเพิ่มจำนวนเซลล์ในขณะเดียวกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ดียิ่งขึ้น (Tengrang, 2014)

หากเปรียบเทียบเปลือกและแกนสับปะรดในการเตรียมปริมาณเอทานอลที่ได้พบว่า เปลือกสับปะรดมีปริมาณเอทานอลมากกว่าแกนสับปะรด เนื่องจากส่วนเปลือกสับปะรดที่เหลือทิ้งมักมีเนื้อสับปะรดติดปนมาด้วย ซึ่งเนื้อสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรดที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ (Chaokaur et al., 2014) โดยทั่วไปสับปะรดจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง ร้อยละ 80 - 85 น้ำตาล ร้อยละ 12 - 15 กรด ร้อยละ 0.6 โปรตีน ร้อยละ 0.4 เถ้า ร้อยละ 0.5 ไขมัน ร้อยละ 0.1 ส่วนที่เหลือเป็นเส้นใยและวิตามิน (Salvi et al., 1995 & Sarochwikasit et al., 2011) น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลอย่างง่าย เช่น ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งน้ำตาลซูโครสมีมากถึง 2 ใน 3 ส่วนของน้ำตาลทั้งหมด ที่เหลือจะเป็นน้ำตาลรีดิวส์ ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสและฟรุกโตส (Camara, 1995) อย่างไรก็ตามสามารถกล่าวได้ว่า ปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมัก โดยวิธียีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปังก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกสับปะรด สามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลและเพิ่มมูลค่า โดยคิดเป็นกำไร 32.90 บาท (ร้อยละ 20.26) ต่อเปลือกสับปะรด 10 กิโลกรัม รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคตได้เป็นอย่างดี

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรนำเอทานอลที่หมักได้มาทำการกลั่น เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

6.2 ควรนำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนต่อยอดการผลิตเอทานอลในถังหมักขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้ปริมาณเอทานอลที่มากขึ้นและมีประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

8. เอกสารอ้างอิง

Babu, P. R., Mastan, M., Charan, K. & Vaishnav, V. (2019). Optimization of ethanol production from pineapple peel by Saccharomyces cerevisiae. *InternationalJournal of Advanced Scientific Research and Management*, 4(5), 355-358.

Camara, M., Diez, C. & Torija, E. (1995). Chemical characterization of pineapple juices and nectars, principle component analysis. *Food Chemistry*, 54(1), 93-100.

Chamidy, H. N., Saripudin. & Permanasari, A. R. (2004). Effect of nutrient on the bio-ethanol production from pineapple peel fermentation. *Journal Serambi Engineering*, 9(1), 8343-8348.

Chaokaur, A., Laikhonburi, Y., Kunmee, C., Santhong, C. & Chimthong, S. (2014). Evaluation of nutritive value and sugar soluble carbohydrate of pineapple residue. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42 SUPPL. 1, 301-306. https://ag2.kku.ac.th/kaj/pub/P09.pdf.

Choonut, A. & Sangkharak, K. (2016). The production of ethanol and the utilization of wastes from ethanol industry. *Thaksin University Journal*, 19(2), 1-8.

Department of alternative energy development and efficiency (2016, 28 July). *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015.* https://oldwww.dede.go.th.

Kongjindamunee, W. (2013). *Ethanol production from corncob.* [Master of Engineering in Chemical Engineering]. Prince of Songkla University.

Krungthepchemi. (n.d.). Ethanal 95%. https://xn--12cgi8d9atj3mva5fc.com/index.php?route=product/product&product_id=1245.

Lampang provincial agricultural extension office. (2020, 30 September). *Important economic crops in Lampang Province.* http://www.lampang.doae.go.th.

Metropolitan waterworks authority. (n.d.). *Water tariff*. https://www.pwa.co.th/contents/service/table-price.

Omoolorun, J. B., Afolabi, F. T., Olufemi, S. E. & Adeyemo, S. M. (2023). Bioethanol production from decaying oranges and pineapple juice using ethanol tolerant-yeast. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 26(11), 33-49. https://doi.org/10.9734/JABB/2023/v26i11665.

Papaphai, A., Buntha, P., Saosompop, M. & Ketwong, C. (2020). Ethanol production from sugar cane fermentation. *Journal of Science and Technology, RajabhatMaha Sarakham University*, 3(1), 31-44.

Perfect instant Yeast. (n.d.). https://www.bigc.co.th/product/perfect-instant-yeast-34g.84932.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B. & Lonvaud, A. (2018). *Handbook of enology* (7th ed.). John Wiley & Sons Ltd.

Salvi, M. J. & Rajput, J. C. (1995). Pineapple. In Salunkhe, D. K., Kadam, S. S. (Eds.). *Handbook of fruit science and technology: production composition, Storage, and Processing*. (pp. 171-182) Macel Dekker, New York.

Saragih, H. T. M., Sembiring, J. H. & Ginting, E. (2023). Conversion of pineapple peel glucose into bioethanol using simultaneous saccharification and fermentation (SSF) method and separate hydrolysis and fermentation (SHF) method. *Journal Kimia Riset*, 8(2), 167-174. https://doi.org/10.20473/jkr.v8i2.50581.

Sarochwikasit, S. & Tangduangdee, C. (2011). Effect of drying temperature and drying aids on qualities of spray dried pineapple juice. *KMUTT Research & Development Journal*, 34(3), 203-215.

Tengrang, U. (2014). *Bio-ethanol production from pineapple peels using baker's yeast [*Master of Engineering in Chemical Engineering*]*. Prince of Songkla University.

Thailand Development Research Institute (TDRI). (2022, 26 August). *Wages and salaries per hour worked.* https://tdri.or.th/2020/08/wages-and-salaries-per-hour-worked/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR21fySHNZ8dL5xtUTGdBla0q_Te1Z2OpOQtRl5dDigkU6kUE5klOlPNRm4_aem_AaGARwjha3N4CCPCf4dm_9LlwUmMnxdkMN_8Pl2am2-sFOhiJv3JcRRESajpANpG5iatq9X2fNs3duQf7Scwvd1m.

ThaiPBS. (2024, 10 January). *Electricity tariff*. https://www.thaipbs.or.th/news/content/335821.

Thungprasert, S., Jaikaung, J., Promanan, T., Narakaew, S. & Chaisenaand, A. (2024). Silver and silver alloy on carbon-supported catalysts for cathodes in PEMFC and DEFC. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports (AJSTR) Journal Abbreviation*, 27(1), 15-23. https://doi.org/10.55164/ajstr.v27i1.250827.

Tropea, A., Wilson, D., La Torre, L. G., Lo Curto, R. B., Saugman, P., Troy-Davies, P., Dugo, G. & Waldron, K. W. (2014). Bioethanol production from pineapple wastes. *Journal of Food Research*, 3(4), 60-70.

Wandono, E. H., Kusdiyantini, E. & Hadiyanto. (2020). Analysis of potential bioethanol procuction from pineapple (Ananas Comosus L. Merr) peel waste Belik District-Pemalang-Central Java. *International Conference on Science and Applied Science* (pp. 1-8). https://doi.org/10.1063/5.0030343, https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/6132/1/56920124.pdf.

Yosyingyong, K. (2017). *Determination of ethanol in alcoholic products by the simple colorimetric method [*Master's thesis*]*. https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/6132/1/56920124.pdf.

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

Development of a Basic Digital Mobile Application for Computer Technology Students

สามารถ ยืนยงพานิช[1*] และภาคภูมิ ธรรมใจ[2]
Samart Yeunyongphanit[1*] and Phakphum Tarmjai[2]
[1*,2]มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด 222 ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 63110
โทร 09 9985 0065 E-mail: samat_y@kpru.ac.th
[1*,2]Kamphaeng Phet Rajabhat University, Maesot 222 Maepa Subdistrict, Maesot District, Tak Province, Thailand 63110 Tel. +669 9985 0065 E-mail: samat_y@kpru.ac.th

วันที่รับบทความ 5 มีนาคม 2567 **วันที่รับแก้ไขบทความ** 20 พฤษภาคม 2567 **วันที่ตอบรับบทความ** 4 มิถุนายน 2567
Received: Mar. 5, 2024 **Revised:** May. 20, 2024 **Accepted:** Jun. 4, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ตามเกณฑ์ 80/80 และ 2) เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชัน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด ปีการศึกษา 2565 จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น แบบประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบแอปพลิเคชัน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มีประสิทธิภาพ 81.13/82.96 ตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้ และ 2) ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ หลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สูงกว่าก่อนใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: แอปพลิเคชัน, Glide App, ดิจิตอลเบื้องต้น

Abstract

The objectives of this study were: 1) to develop and investigate the efficiency of a Basic Digital mobile application for Computer Technology students to attain the criteria of 80/80; and 2) to assess the learning achievement of Computer Technology students before and after using the mobile application. The sample population was ten first year Computer Technology students at Kamphaengphet Rajabhat University, Maesot, studying in the academic year 2022. The research instruments used were: 1) the Basic Digital Glide mobile application; 2) the evaluation form of components for

application; and 3) the student learning achievement form. Results showed that the development and efficiency investigation of the Basic Digital mobile application for Computer Technology students attained the criteria of 81.13/82.96, and the learning achievement assessment of Computer Technology students after using the Basic Digital mobile application was significantly higher than before ($p < 0.05$).
Keywords: Application, Glide App, Basic Digital

1. บทนำ

การพัฒนาของเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าไปอย่างไม่หยุดนิ่ง มีการพัฒนาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสะดวกต่อการพกพาและการใช้งาน และยังสามารถเป็นเครื่องมือในการช่วยลดเวลาการดำเนินงานและช่วยในการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน ก็ถือเป็นการช่วยเสริมสร้างผู้ใช้งานให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีศักยภาพและมีคุณภาพในการทำงานต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น (Sungson, 2022) ยกระดับการทำงานต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่เพิ่มมากขึ้น และยังสามารถช่วยในการแก้ไขปัญหา หรือลดโอกาสในการเกิดปัญหาขึ้นระหว่างการทำงาน (Suthisanuwat, 2022) ด้านการศึกษาเองก็มีการนำมาใช้ในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ ด้วยการพัฒนาออกมาในรูปแบบของแอปพลิชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งแอปพลิเคชันเองเป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมในกลุ่มนักศึกษา หรือกลุ่มเยาวชนคนรุ่นใหม่ เพราะการใช้งานแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ สามารถใช้งานผ่าน Smart Phone หรือ Tablet ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการใช้ติดต่อสื่อสารที่กลุ่มเยาวชนคนรุ่นใหม่สามารถพกพาติดตัวได้ จึงเรียกได้ว่าการพัฒนาสื่อการเรียนรู้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ สามารถช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ให้กับนักศึกษาได้อย่างสะดวก และสามารถกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ของนักศึกษาได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิไลวรรณ วงศ์จินดา และคณะ (2566) ได้ศึกษา การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมทักษะ Reskill & Upskill และเตรียมความพร้อมรองรับการทำงานในอนาคตหลังวิกฤตการระบาดของโรค COVID-19 ผลการศึกษาความพึงพอใจ พบว่า ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อแอปพลิเคชันเพื่อเสริมทักษะ Reskill & Upskill อยู่ในระดับมาก

Glide App เป็นโปรแกรม Mobile App ซึ่งเป็นเครื่องมือในการสร้างแอปพลิเคชันช่วยในการจัดการการแสดงข้อมูลเพื่อแสดงผลบน Smart Phone หรือ Tablet ซึ่งสามารถเลือกรูปแบบการแสดงผลได้อย่างหลากหลายตามที่ผู้ใช้งานต้องการ (Buathet et al., 2020) สอดคล้องกับงานวิจัยของ พาตีฮะห์ แซนา และคณะ (2565) (Saena et al., 2023) ได้ศึกษาการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยแอปพลิเคชัน เรื่องอัลกอริทึมเบื้องต้นในรายวิชาวิทยาการคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้ Glide App ขึ้นมาเป็นการจัดการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน เพื่อที่ผู้เรียนจะได้พัฒนาการใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ให้ทันสมัยและเพิ่มความน่าสนใจผลการศึกษาพบว่า 1) แอปพลิเคชัน เรื่องอัลกอริทึมเบื้องต้น โดยภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดี 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องอัลกอริทึมเบื้องต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านตะโละหะลอ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ 0.05 และ 3) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันโดยภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับมาก การเรียนรู้ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น เป็นความรู้พื้นฐานสำคัญของการเรียนรู้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ต่อไป หากนักศึกษาสามารถเรียนรู้ได้อย่างเข้าใจ และมีช่องทางการเรียนรู้ที่ช่วยกระตุ้นความสนใจ และสามารถทบทวนเรื่องที่เรียนรู้ได้ตามที่ต้องการ จะช่วยให้นักศึกษาเกิดเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ เพื่อเตรียมความพร้อมในการเรียนในเนื้อหาที่ยากขึ้นต่อไปได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้หาแนวทางในการพัฒนาสื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด ให้มีประสิทธิภาพและส่งเสริมการเรียนรู้ของนักศึกษาให้สูงขึ้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ตามเกณฑ์ 80/80

2.2 เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด จ.ตาก ชั้นปีที่ 1 - 4 ที่กำลังศึกษาอยู่ในปีการศึกษา 2565 จำนวน 47 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด จ.ตาก ชั้นปีที่ 1 ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 ได้จากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 1 ห้องเรียน นักศึกษา จำนวน 10 คน

2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่ แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่อง ดิจิตอลเบื้องต้น

ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

3. ขอบเขตด้านเนื้อหา

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้นนี้ เป็นการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้วยแอปพลิเคชันผ่าน Glide App ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มในการสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ได้ทั้งระบบ iOS และ Android โดยมีเนื้อหาในแอปพลิเคชันตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด ระดับชั้นปีที่ 1 โดยแบ่งออกเป็นกิจกรรมการเรียนรู้จำนวน 14 ครั้ง ๆ ละ 4 ชั่วโมง ประกอบด้วย ครั้งที่ 1 - 2 ระบบตัวเลขฐาน ครั้งที่ 3 ลอจิกเกต ครั้งที่ 4 - 5 การเชื่อมต่อลอจิกเกต ครั้งที่ 6 - 7 การลดรูปสมการลอจิก ครั้งที่ 8 - 9 การออกแบบวงจรคอมบิเนชั่นลอจิกเกต ครั้งที่ 10 วงจรรวมทีทีแอล

ครั้งที่ 11 วงจรซีมอส ครั้งที่ 12 วงจรฟลิปฟลอป ครั้งที่ 13 วงจรนับ และครั้งที่ 14 วงจรเลื่อนข้อมูล มีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) คู่มือการใช้แอปพลิเคชัน
2) ชื่อบทเรียน
3) จุดประสงค์การเรียนรู้
4) กิจกรรมการเรียนรู้
(1) ใบความรู้
(2) ใบกิจกรรม
(3) แบบฝึกหัด

4. ขอบเขตด้านเวลา

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 14 ครั้ง

5. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

1) สถิติที่ใช้ในการหาความเหมาะสมในองค์ประกอบต่าง ๆ ของสื่อแอปพลิเคชัน มีดังนี้

(1) ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean)
(2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) สถิติในการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน ได้แก่ สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ใช้สูตรของ ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ (2540) (Promwong et al., 1997)

3) สถิติในการหาคุณภาพแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(1) ดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC)
(2) ค่าความยากง่าย
(3) ค่าอำนาจจำแนก

4) สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

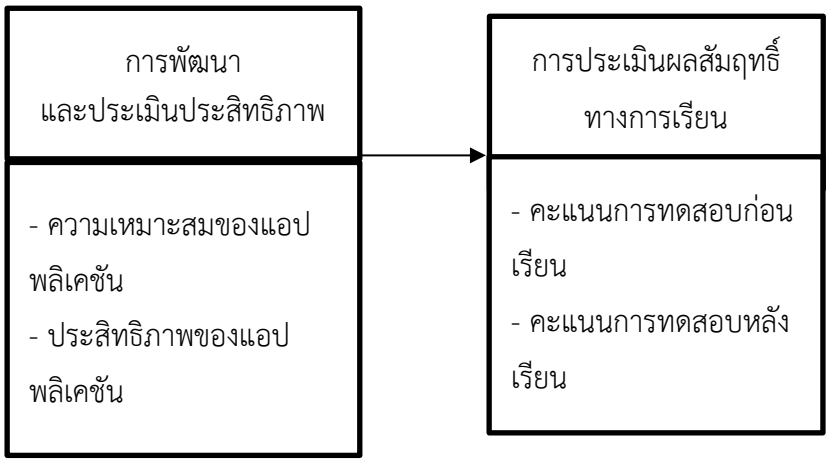
(1) One Sample t-test
(2) สถิติทดสอบค่าที (t-test for dependent samples)

6. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น ที่สามารถใช้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ได้แก่ Smart Phone หรือ Tablet

2) แบบประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อแอปพลิเคชัน
3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

7. กรอบความคิด

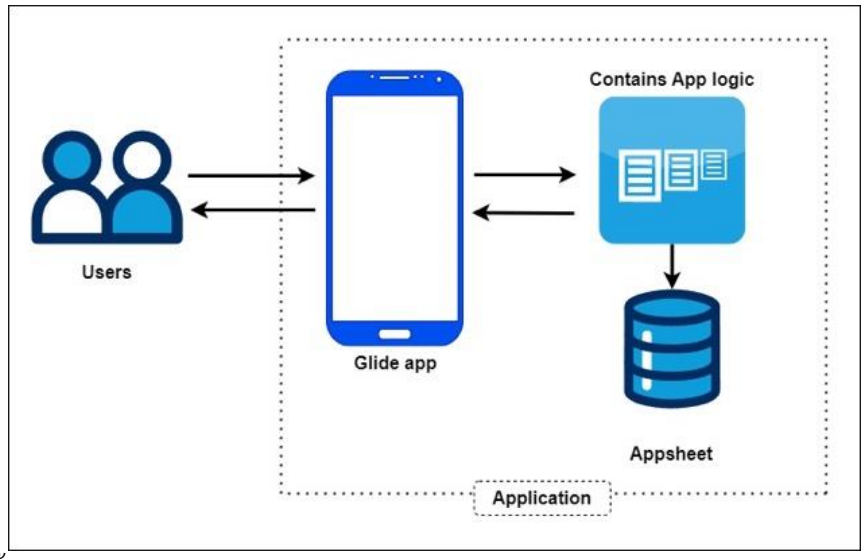


ภาพที่ 1 กรอบความคิด

8. วิธีดำเนินการวิจัย

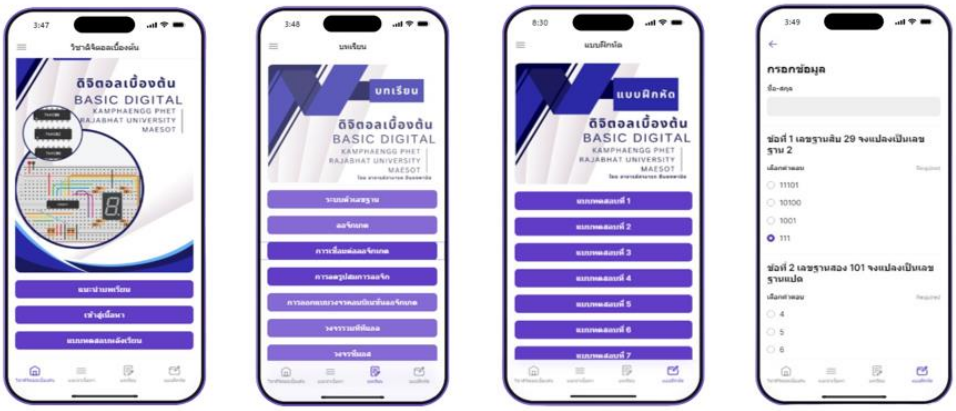
ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ตามเกณฑ์ 80/80

1. สร้างแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น จำนวน 10 บทเรียน



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน โดยผู้ใช้ (Users) สามารถใช้งานแอปพลิเคชันผ่าน Glide App โดยที่ Glide App ทำหน้าที่ช่วยในการเก็บข้อมูลบทเรียนและแบบฝึกหัดในรูปแบบของแอปพลิเคชัน ซึ่งมีความทันสมัยและสะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้



ภาพที่ 3 เมนูการใช้งานแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 3 แสดงเมนูการใช้งานแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย คู่มือการใช้แอปพลิเคชัน ชื่อบทเรียน จุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ ใบความรู้ ใบกิจกรรม และแบบฝึกหัด โดยผู้ใช้สามารถลงทะเบียนการเข้าใช้งานและบันทึกข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นได้ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวกผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ได้แก่ Smart Phone หรือ Tablet และผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานทบทวนบทเรียนได้ตามที่ต้องการ

2. นำแอปพลิเคชันที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เสนอให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสมของสื่อแอปพลิเคชัน

3. นำแอปพลิเคชันมาปรับปรุงแก้ไขในส่วนของเนื้อหาให้เป็นไปตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

4. นำแอปพลิเคชันที่ปรับปรุงแก้ไขไปหาประสิทธิภาพ โดย E_1 เป็นการหาประสิทธิภาพของกระบวนการจากคะแนนการทำแบบฝึกหัดของทุกบทเรียน และ E_2 เป็นการหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์จากคะแนนการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังต่อไปนี้

4.1 ทดลองใช้สอนกับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร ปีการศึกษา 2565 ภาคเรียนที่ 1 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ชั้นปีที่ 1 จำนวน 3 คน โดยใช้กับนักศึกษาที่เรียนเก่ง ปานกลาง อ่อน อย่างละ 1 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพ 81.93/82.55 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

4.2 ทดลองกลุ่มเล็กกับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร ปีการศึกษา 2565 ภาคเรียนที่ 1 ชั้นปีที่ 1 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 9 คน โดยใช้กับนักศึกษาที่เรียนเก่ง ปานกลาง อ่อน อย่างละ 3 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพ 80.15/81.46 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

4.3 ทดลองกลุ่มใหญ่กับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร ปีการศึกษา 2565 ภาคเรียนที่ 1 ชั้นปีที่ 2 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 1 ห้อง นักศึกษา จำนวน 29 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพ 81.13/82.96 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การสร้างแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยจะคำนวณหาค่าความเหมาะสมของสื่อแอปพลิเคชันโดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) คือ

1.1 นำแบบประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อแอปพลิเคชันที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มาตรวจให้คะแนน

1.2 นำแบบประเมินมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยกำหนดค่าเฉลี่ยไว้ 5 ระดับ

1.3 เกณฑ์ในการพิจารณาว่าสื่อแอปพลิเคชันมีความเหมาะสม คือ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 1.00

2. การหาประสิทธิภาพของสื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น ผู้วิจัยจะดำเนินการตามสูตร E_1/E_2 ดังนี้

2.1 หาค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนที่นักศึกษาได้จากการทำแบบฝึกหัดระหว่างเรียน

2.2 หาค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนที่นักศึกษาได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ก่อนและหลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น

1. สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น จำนวน 80 ข้อ โดยผู้วิจัยกำหนดเนื้อหาของแบบทดสอบตามที่เรียน เป็นแบบทดสอบแบบเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียง 1 ตัวเลือกจากจำนวน 4 ตัวเลือก ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนน คือ ตอบถูกข้อละ 1 คะแนน มีคะแนนรวมทั้งสิ้น 40 คะแนน ใช้เวลาในการทดสอบ 120 นาที

2. นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ และหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) โดยข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 สามารถนำไปใช้ได้ และนำข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องต่ำกว่านั้นมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

3. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แล้วไปทดลองใช้กับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร ปีการศึกษา 2565 ภาคเรียนที่ 1 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างและเรียนเนื้อหามาแล้วเพื่อดูความเหมาะสม จากนั้นนำผลการตรวจมาวิเคราะห์แบบทดสอบมีความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.50 - 0.80 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.50 - 0.90 และหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เพื่อตรวจสอบผลการวัดที่สม่ำเสมอ และคงที่ของแบบทดสอบที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 80 ข้อ โดยวิธีการของ Kuder-Richardson จากสูตร KR-20 พบว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา มีค่าอำนาจจำแนกมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ทุกข้อและมีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.76 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างได้

4. จัดทำแบบทดสอบฉบับจริง เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์ และรายละเอียดเกี่ยวกับกิจกรรมให้นักศึกษาได้รับทราบ

2. ผู้วิจัยทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ก่อนการใช้แอปพลิเคชันด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น

3. ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการทดลองเอง จำนวน 14 ครั้ง ประกอบด้วย

ครั้งที่ 1 - 2 ระบบตัวเลขฐาน	เวลา 8 ชั่วโมง
ครั้งที่ 3 ลอจิกเกต	เวลา 4 ชั่วโมง
ครั้งที่ 4 - 5 การเชื่อมต่อลอจิกเกต	เวลา 8 ชั่วโมง
ครั้งที่ 6 - 7 การลดรูปสมการลอจิก	เวลา 8 ชั่วโมง
ครั้งที่ 8 - 9 การออกแบบวงจรคอมบิเนชั่นลอจิกเกต	เวลา 8 ชั่วโมง
ครั้งที่ 10 วงจรรวมทีทีแอล	เวลา 4 ชั่วโมง
ครั้งที่ 11 วงจรซีมอส	เวลา 4 ชั่วโมง
ครั้งที่ 12 วงจรฟลิปฟลอป	เวลา 4 ชั่วโมง
ครั้งที่ 13 วงจรนับ	เวลา 4 ชั่วโมง
ครั้งที่ 14 วงจรเลื่อนข้อมูล	เวลา 4 ชั่วโมง

4. ผู้วิจัยทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา หลังการใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น ชุดเดียวกันกับก่อนเรียน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนและหลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น โดยการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาด้วย t-test for dependent samples

4. ผลการวิจัย

4.1 การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของสื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ผู้วิจัยได้พัฒนาสื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น แบ่งออกเป็นกิจกรรมการเรียนรู้จำนวน 14 ครั้ง และเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน โดยใช้แบบประเมินความเหมาะสมของสื่อแอปพลิเคชัน

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อแอปพลิเคชัน

รายการประเมิน	$\overline{X}$	*S.D.*	ความเหมาะสม
1. คู่มือการใช้แอปพลิเคชันมีคำชี้แจงที่อธิบายให้เข้าใจง่าย	4.51	0.40	มากที่สุด
2. เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4.47	0.88	มาก
3. ภาษาที่ใช้ในแอปพลิเคชันเข้าใจง่าย และเหมาะสมกับระดับชั้นของผู้เรียน	4.45	0.65	มาก
4. กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหาและเหมาะสมกับเวลาในการเรียนรู้	4.20	0.84	มาก
5. แบบฝึกหัดมีความสอดคล้องกับเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้	4.43	0.67	มาก
รวมเฉลี่ยทั้งหมด	**4.41**	**0.69**	**มาก**

จากตารางที่ 1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อสื่อแอปพลิเคชัน อยู่ในระดับเหมาะสมมาก ($\overline{X}$ = 4.46) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด คือ คู่มือการใช้แอปพลิเคชัน ($\overline{X}$ = 4.51) และมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก คือ เนื้อหา ($\overline{X}$ = 4.47) ภาษา ($\overline{X}$ = 4.45) แบบฝึกหัด ($\overline{X}$ = 4.43) และกิจกรรมการเรียนรู้ ($\overline{X}$ = 4.20) โดยมีผลการประเมินประสิทธิภาพของสื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น พบว่า สื่อแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพของกระบวนการ เท่ากับ 81.13 มีประสิทธิภาพของผลลัพธ์เท่ากับ 82.96 แสดงว่าสื่อแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพ 81.13/82.96 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

4.2 การประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ก่อนและหลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น โดยการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ด้วย t-test for dependent samples แสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ก่อนและหลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น

การทดลอง	จำนวนนักศึกษา (n)	คะแนนเต็ม	$\overline{X}$	*S.D.*	df	t	p
ก่อนเรียน	10	30	10.30	2.50	9	8.22*	0.00
หลังเรียน	10	30	22.10	4.43			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ก่อนการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น มีคะแนนเฉลี่ย 10.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.50 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา หลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น มีคะแนนเฉลี่ย 22.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.43 เมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา หลังการใช้สื่อแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สูงกว่าก่อนการใช้สื่อแอปพลิเคชัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 ผู้วิจัยได้พัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น สำหรับนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มีประสิทธิภาพ 81.13/82.96 ตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้ ปรากฏผลเช่นนี้เพราะผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันผ่าน Glide App ที่ช่วยลดขั้นตอนการพัฒนา Mobile App ได้อย่างสะดวกในมุมของผู้พัฒนา และสามารถสร้างบทเรียนให้มีองค์ประกอบครอบคลุม และสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีเนื้อหาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ระดับชั้นปีที่ 1 และมีความเหมาะสมของคู่มือการใช้ กิจกรรมการเรียนรู้ ภาษา และแบบฝึกหัด โดยการประยุกต์ใช้สำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ได้ใช้อย่างสะดวกในมุมของผู้ใช้งานหรือนักศึกษาอีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ เบญจมาศ พึ่งน้ำ และอัมพร วัจนะ (2563) (Phurngnam & Watjana, 2020) ที่ได้ศึกษาผลการเรียนด้วย แอปพลิเคชันสำหรับการเรียนรู้ด้วยตนเองบนสมาร์ทโฟน วิชาวิทยาการคำนวณ เรื่องแนวคิดเชิงคำนวณ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนตกพรมวิทยาคาร จังหวัดจันทบุรี พบว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนด้วยแอปพลิเคชันสำหรับการเรียนรู้ด้วยตนเองบนสมาร์ทโฟน มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 75.64/76.15 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ 75/75 จากการที่ผู้วิจัยได้สร้างบทเรียนด้วยแอปพลิเคชันสำหรับการเรียนรู้ด้วยตนเองบนสมาร์ทโฟนขึ้น ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย จัดลำดับขั้นตอนของกิจกรรมไว้อย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับธรรมชาติของวิชา

5.2 การประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น โดยการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ด้วย t-test for dependent samples นักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จำนวน 10 คน พบว่า นักศึกษามีคะแนนสูงขึ้นจากก่อนการใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 100 โดยมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการใช้แอปพลิเคชันเท่ากับ 10.30 และหลังการใช้แอปพลิเคชันเท่ากับ 22.10 เมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ก่อนและหลังการใช้แอปพลิเคชัน พบว่า นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้สูงกว่าก่อนการใช้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นได้ชัดว่านักศึกษามีพัฒนาการในการเรียนรู้เรื่องดิจิตอลเบื้องต้น หลังการใช้แอปพลิเคชันที่ดีขึ้น ซึ่งถือเป็นพัฒนาการในการเรียนรู้ที่สำคัญที่จะช่วยนำไปสู่การเรียนรู้เรื่องอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ต่อไปได้ สอดคล้องกับคณิศร จี้กระโทก และคณะ (2565) (Jeekartok et at., 2022) ได้ศึกษาการพัฒนาแอปพลิเคชัน

สื่อการเรียนรู้บนสมาร์ทโฟน เรื่องแนวคิดเชิงคำนวณ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้วยการใช้สื่อแอปพลิเคชันช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเข้าใจ

6. เอกสารอ้างอิง

Buathet, K. et al. (2020). *Drug Management Application for Department by Glide*. Professional Certificate Program, Digital Business Technology. Rayong Technical College. (in Thai)

Isrokatun, I. et al. (2023). The Development of Android-Based Learning Mobile App to Practice Critical Thinking Skills for Elementary School Students. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13, Febuary 2023, 161-172.

Jeekartok, K., Chaichitwanidchakol, P., Burat, C. & Tasarin, S. (2022). The development of learning media application smartphones on computational thinking for Mathayomsuksa 4, *Journal of Humanities, Social Sciences, and Arts*, 1, January 2022, 21-27. (in Thai)

Promwong, Ch. et al. (1997). *Educational Technology and Communication*. Bangkok: Agricultural Cooperative Community of Thailand. (in Thai)

Phurngnam, B. & Watjana, A. (2020). *Grade 10 students' learning sesults with applications for Self-learning on a smartphone in Computational Science at Tokpromwitthayakharn School Chantaburi,* The 7th National Conference Nakhonratchasima College Nakhonratchasima. (in Thai)

Saena, Ph. et al. (2023). *A Study of Learning Achievement Through the Application on Introduction to Algorithm Topic in Computation Science Course for Grade 7 Students.* Computer Education Program, Faculty of Technology Science and Agriculture. Yala Rajabhat University. (in Thai)

Sungson, N. (2022). *The development of a mobile application for the management of imported goods: a study of DD 1971 Company Limited and associate companies*. M.S. Thesis in Entrepreneur Technology and Innovation Management – (Type A1): Naresuan University. (in Thai)

Suthisanuwat, N. (2022). *The mobile application development for storing the construction daily report*. Department of Information Technology, College of Innovative Technology and Engineering. Dhurakij Pundit University. (in Thai)

Wonjinda, W., Sukachat, N. & Nusso, T. (2023). Development of Application to Enhance Reskill & Upskill and Prepare for Future Work after COVID-19 pandemic, *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 30, May 2023, 114-127. (in Thai)

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์ของวารสารวิชาการ เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตรวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. กำหนดออกวารสาร

วารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม ด้วยระบบ Online: ThaiJo

4. การพิจารณาบทความ

4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 3 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 3 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 3 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้ง กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ltech และนำส่งเอกสารได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 ม.9 ถ.ลำปาง – แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)
ชื่อเรื่อง (English)

ชื่อ นามสกุล[1*], ชื่อ นามสกุล[2] และ ชื่อ นามสกุล[3] (ภาษาไทย)
ชื่อ นามสกุล[1*], ชื่อ นามสกุล[2] และ ชื่อ นามสกุล[3] (ภาษาอังกฤษ)
[1*] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY
[2] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์
[3] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาไทย)
[1*] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY
[2] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์
[3] ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาอังกฤษ)

วันที่รับบทความ XXXXXXXXXX **วันที่รับแก้ไขบทความ** XXXXXXXXXX **วันที่ตอบรับบทความ** XXXXXXXXXX
Received: XXXXXXXXXX **Revised:** XXXXXXXXXX **Accepted:** XXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

An article of research to composes with abstract to specify importance of subject, object, method to study, result and summary. Both Thai and English abstracts are required. The length of each should not exceed 300 words. Also, the keywords should not be used more than 5 words.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

วารสารฉบับเต็มควรประกอบด้วย ชื่อบทความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ คำสำคัญ วัตถุประสงค์ เนื้อหาโดยสมบูรณ์ของบทความ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง โดยในส่วนของเนื้อหาของบทความ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก หัวข้อย่อย และอาจแบ่งถึงหัวข้อย่อยลงมา ทั้งนี้ตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ทุกส่วนให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarababunPSK ขนาด 16 ตัวหนาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องมีการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 (8¼ × 11¾ นิ้ว) โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	1	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านขวา	1	นิ้ว

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ และบันทึกไฟล์ข้อมูลด้วย Microsoft Word 2016 เท่านั้น

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง) สำหรับชื่อผู้เขียนบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยต์ ในขณะที่ส่วนของที่อยู่ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 พอยต์ โดยที่อยู่ควรประกอบไปด้วย

สำหรับบุคลากรภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำแหน่งทางวิชาการ สาขาวิชาที่สังกัด เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และ E-mail ที่สามารถติดต่อได้ กรณีผู้เขียนมากกว่าหนึ่ง สามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียด ผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ และ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

สำหรับบุคลากร ภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ซึ่งสามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ

เบอร์โทรศัพท์ เบอร์โทรสารและ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

3. บทคัดย่อและคำสำคัญ

การพิมพ์บทคัดย่อและคำสำคัญให้พิมพ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ และจัดรูปแบบอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้พิมพ์ชื่อหัวข้อ “**บทคัดย่อ**” และ “**Abstract**” เป็นแบบตัวหนา

4. เนื้อหาของบทความ

บทความวิจัยควรประกอบด้วย บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหานำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผล และอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ส่วนของเนื้อหาบทความ กำหนดตัวอักษรที่ใช้ในเนื้อหาให้มีขนาด 16 พอยต์ รวมถึงไม่ต้องมีการเว้นบรรทัดระหว่างย่อหน้า (ไม่ต้องเคาะบรรทัดเมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่) สำหรับรูปแบบตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์หัวข้อกำหนดดังนี้

4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ห่างจากริมซ้ายของคอลัมน์ 0.5 นิ้ว

5. รูปภาพ ตาราง และสมการ

5.1 รูปภาพและตาราง

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่าหน้ากระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพและอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้

พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

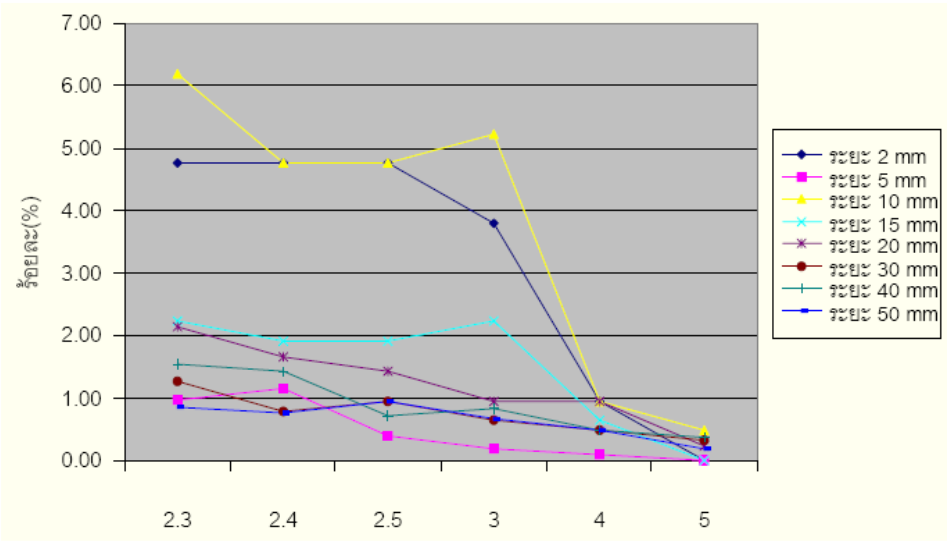
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1)กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม 2)ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	1)กระเบื้องดินเผามีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว 2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุดเมื่อใช้งาน 3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งานหรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่งแสดงถึงความไม่คงทนแข็งแรง

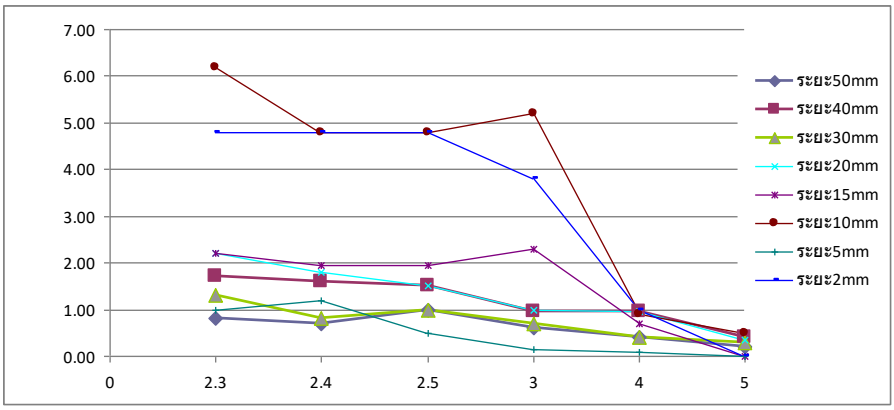
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม 2) ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	1) กระเบื้องดินเผามีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว 2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุด เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

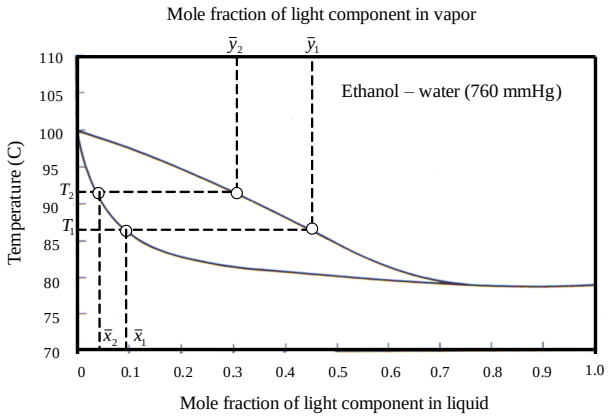


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นรูปที่และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1, ภาพที่ 1 – 3, ตารางที่ 1, ตารางที่ 1 - 3 เป็นต้น



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลของของผสมไอ – ของเหลวที่มี 2 องค์ประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ๆ ของประไทย (หน่วย: ล้านลิตร)

ภาคเศรษฐกิจ	ปี	
	2545	2546
1. เกษตรกรรม	3,509	3,827
2. เหมืองแร่	19	26
3. อุตสาหกรรม	4,821	4,937
4. ไฟฟ้า	703	757
5. การก่อสร้าง	169	172
6. ที่พักอาศัยและการพาณิชย์	2,729	2,792
7. คมนาคมขนส่ง	23,980	25,475
Total	35,930	37,986

5.2 สมการ

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากต้องการเขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนได้ โดยให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง เช่น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาแทรกไว้ในเนื้อหาและท้ายบทความ โดยระบุเป็น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การอ้างอิงในเนื้อหา เป็นการวงเล็บระบุแหล่งที่มาอย่างกว้าง ๆ แทรกอยู่ในเนื้อหาของบทความวิชาการ ส่วนรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแหล่งข้อมูลจะแสดงใน “เอกสารอ้างอิง” ในส่วนท้ายของบทความวิชาการ การอ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความให้เป็นระบบ APA 7th

7.1 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงในเนื้อหา

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(ผู้แต่งคนแรก และผู้แต่งคนที่สอง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(ผู้แต่งคนแรก และคณะ, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, ไม่มีเลขหน้า)
(หน่วยงาน, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)
(นามแฝง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

7.2 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงท้ายบทความ

ให้อ้างอิงรายการลำดับตามอักษรตัวแรกของผู้แต่ง ตามการเรียงลำดับตัวอักษรของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

(1) บทความจากวารสาร (Journal)

Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins foradsorption chillers, *Applied Thermal Engineering,* vol.29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สวนมาลี. (2519). ความสามารถในด้านการเงินของเทศบาล กรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์, 16, เมษายน 2519,* หน้า 231 – 254.

(2) บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power Generation Systems, *paper presented in the Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2001,* Chiang Mai, Thailand.

มารุต บูรพา, ณัฐนี วรยศ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย,* มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

Division of Technical Services and Planning. (2003). *Chiang Mai City Municipality.* Annual Report.

จุฬาพร โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ตันธุวนิตย์ และปนัทดา เพ็ชรสิงห์. (2529). *รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.* ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เฉลิมพลานุภาพ. (3535). *พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย.* วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(4) หนังสือ

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments,* New York: John Wiley & Sons,.

Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). *Principles of Solar Engineering, 2nd edition.* ISBN: 1-56032-714-6, Philadephia: Taylor & Francis,

วีกูล วีรานุวัติ และกนกนาถ ชูปัญยา. (2525). *เคมีคลินิก.* กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

(5) วิทยานิพนธ์

สุรจิตร ทีบัว. (2538). *การศึกษาสภาพการใช้แหล่งชุมชนประกอบการสอนวิชาสังคมศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษา ของจังหวัดขอนแก่น.* วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Herbert-Cheshire, L. (1997). *Living by the sea*. Unpublished honours thesis, Central Queensland University, Rockhampton, GLD, Australia.

(6) เว็บไซต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2554). *"คู่มือการศึกษาปีการศึกษา 2554".* [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.psu.ac.th/handbook/ สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2554.

Brown, H. (1994). *"Citing computer references".* [online], Available: http://neal.ctstateu.edu /history/cite.html. access on April 3, 1995.

(7) การสัมภาษณ์

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

(สุวิมล ติรกานันท์, 2553) (Tirakanan, 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ติรกานันท์. (2553). *การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Tirakanan, S. (2011). *Multivariate variables analysis in social science research*. Bangkok: Chaulalongkorn University Printing House. (in Thai)

1.2 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นบทความ

ป่าน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสารนักบริหาร*, 34(1), 130-135.

Jindapon, P. (2014). Entrepreneurship and risk attitudes. *Executive Journal,* 34(1), 130-135. (in Thai)

สุวรรณ ลัคนวณิช. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาที่ใช้ชีวิตในที่พักเอกชน ย่านรังสิต จังหวัดปทุมธานี. *BU Academic Review,* 13(1), 13-16.

Luckanavanich, S. (2014). Personal relationship, living behaviors, and academic achievement of university students in the private residence, rangsit area, Pathumthani. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16. (in Thai).

1.3 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). *สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศขาเข้าในปี 2555.* [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.

Tourism Authority of Thailand. (2013). *Inbound foreign tourists situation in 2012.* [online], Available: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php. access on February 9, 2014. (in Thai)

****

ท่านสามารถดาวโหลดรูปแบบบทความได้ที่ http://www.journal.itech.lpru.ac.th

หรือ ติดต่อสอบถามที่ **ผู้ประสานงาน** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง **โทร** 0 5423 7399 ต่อ 1339

Tel.: 08 0502 8598 **E-mail**: journalitech@gmail.com

ปรับปรุงเมื่อ 10 มกราคม 2562