

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Industrial Technology
Lampang Rajabhat University Journal

ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566
Volume 16 No.2 July - December 2023

ISSN: 1906-5337 (Print) / E-ISSN: 2672-9539 (Online)

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>

**คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนางกิตติกร รองศาสตราจารย์บุญชาติ เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ ผาภา รองศาสตราจารย์ธิดิมา คุณยศยิ่ง
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์	นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. สมชาย	ชื่นวัฒนาประณีติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ก้องกิติ	พูสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ตรีนท	เหล่าศิริพงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สายัณห์	จันทวีรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สุมาลี	อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร. ธนารักษ์	ธีระมันคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์			พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร. ปริญญา	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ. สุวิ	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. आयวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. สุพล	อนันดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. จิรพัฒน์	วณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร. วัฒนวงศ์	รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ผศ.ดร. นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศ.ดร. อภิรัฐ	ศิริธรวาตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. นิวัตร	พัฒน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. กวิน	สนธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. เกียรติศักดิ์	เขียมมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา	ผศ.ดร. ศักดิพล	เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ชิตชัย	อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. ชวงโชติ	พันธุ์เวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. ดรณี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร. อภิชาติ	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. ธีรศิลป์	ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี	ผศ.ดร. ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร

รศ.ดร. นกค	อุทัยภักดี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. นพมณี	โทปัญญาพันธ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร. นัฐพร	ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร. ปรงศักดิ์	อัมพม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
รศ.ดร. พิระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. พงศ์	หรรดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. มนตรี	ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

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

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

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

รศ.ดร. วัฒนพงศ์	รักษวิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา
รศ.ดร. วิชัย	แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. สรา	อาภรณ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร. เอกรัฐ	บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ. นิลวัฒน์	พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
รศ. ยืน	ภู่วรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ. วิชัย	พฤกษ์ธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ. วิชัย	ฤกษ์ภูริทัต	มหาวิทยาลัยนเรศวร

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ISSN: 1906-5337 (Print) / E-ISSN: 2672-9539 (Online)

เป็นวารสารระดับชาติที่ทุกบทความได้รับการกลั่นกรองจากคณะกรรมการ และตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายในและภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความวิชาการทั่วไป 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/itech>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ด้วยความมุ่งมั่นและความตั้งใจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งดำเนินการมาเป็นปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานและคุณภาพของวารสารวิชาการ และเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการ เข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่น และการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไป อย่างยั่งยืน

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ และขออวยพรให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประสบความสำเร็จ พัฒนาวารสารวิชาการให้เข้มแข็งและมีกำลังใจ เพื่อผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
รักษาราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ฉบับนี้ ดำเนินการมาเป็นปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลาง การเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และประชาสัมพันธ์ผลงานที่เกี่ยวข้องกับบทความวิชาการ บทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และผลการดำเนินงานของคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ซึ่งได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จนได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม คณะทำงานมีความมุ่งมั่น และตั้งใจที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารให้ได้มาตรฐานของวารสาร ที่ได้รับการยอมรับในระดับอาเซียนต่อไป

จากผลการดำเนินการของ วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏลำปาง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จนเป็นที่รู้จักและยอมรับในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเพื่อ ส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ การใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง หายนี้ ขอขอบคุณ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากทุกฝ่าย ที่ทำให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง และพร้อมที่จะพัฒนาสู่วารสารที่มีคุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ ผาภา

บรรณาธิการ วารสารวิชาการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

ระบบบำบัดน้ำเสียครัวเรือนต้นทุนต่ำสำหรับชุมชนริมแม่น้ำวัง จังหวัดลำปาง ประสงค์ หน่อแก้ว, สมพร ตี๋ขัด, นิวัติ กิจไพศาลสกุล, เอกรัฐ อินต๊ะวงศา, ณัฐสินี ตั้งศิริไพบุลย์, ณรงค์ เครือกันทา, วินัย ต๊ะแสง, ศิวัช ลาวัลย์วดีกุล, กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์ และเชาว์วุฒิ สิงห์แก้ว	1
การประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ วิรัชพัชร พรหมจรรย์, จิตรภรณ์ นางหิน และนวัณชัย เพ็งบุล	12
การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเมล็ดกาแฟกะลาโดยใช้เทคนิค ECRS และการยศาสตร์ กรณีศึกษาเกษตรกรบ้านแม่จันทหลวง จังหวัดเชียงราย สุภาพร คำเตจา, จินตนา ราวิชัย, ประเวศ อนันต์เอื้อ, เสกสรรค์ วินยางค์กุล, วิภาพ ใจแข็ง, ชยากร พุทธกำเนิด และนคร ไชยวงศ์ศักดิ์ดา	28
การพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ โดยใช้สารอินทรีย์ อดิสร ถมยา	41
การออกแบบและพัฒนาเครื่องรีดผักตบชวา อนาวิล ทิพย์บุญราช, ณรงค์ฤทธิ์ บุตรดำ, ทินกรณ พรมแก้ว, ธนกฤต ผิ่วผ่อง และอัจฉรา ไชยยา	56
ภาคผนวก ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	68

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

Page

Low-cost household wastewater treatment for communities along
the Wang River Lampang Province 1

*Prasong Norkaew, Somporn Tiebkhad, Niwat Kitpaisansakul, Aekarath Intawongsa,
Natsinee Tangsiripaiboon, Narong Krueganta, Winai Tasaeng, Siwat Lawanwadeekul,
Kittisak Samuttharak and Chaowoot Singkaew*

Application of Forecasting Method for Reducing Storage Costs:
Case Study of an Automotive Product Company 12

Wirunpuch Prommachan, Jitrathorn Nangtin and Nawatchai Pengbun

Improving The Efficiency of Parchment Coffee Sorting using ECRS
Technique and Ergonomics: A Case Study of Farmers in Mae Chan Luang
Village, Chiang Rai Province 28

*Supaporn Kamtaeja, Jintana Rawichai, Prawet Anan-ue, Seksan Winyangkul,
Wipob Jaikang, Chayakorn puttakamnerd and Nakorn Chaiwongsakda*

Development of Energy Storage Technology using Organic Redox Battery 41

Adisorn Thomya

Design and Development of Water Hyacinth Rolling Machine 56

*Anawin Thipboonraj, Narongrit Butta, Tinnakorn Promkeaw, Thanakit Phewpong
and Atchara Chaiya*

Appendix 68

Standard requirements for academic journals

ระบบบำบัดน้ำเสียครัวเรือนต้นทุนต่ำสำหรับชุมชนริมแม่น้ำวัง จังหวัดลำปาง

Low-cost Household Wastewater Treatment for Communities along the Wang River Lampang Province

ประสงค์ นน่อแก้ว¹, สมพร ตีบขัด², นิวัติ กิจไพศาลสกุล³, เอกรัฐ อินตะวงศา⁴, ณัฐสินี ตั้งศิริไพบูลย์⁵,
ณรงค์ เครือกันทา⁶, วินัย ต๊ะแสง⁷, ศิวัช ลาวลย์วดีกุล⁸, กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์⁹ และเชาว์วุฒิ สิงห์แก้ว^{10*}

Prasong Norkaew¹, Somporn Tiebkhad², Niwat Kitpaisansakul³, Aekarath Intawongsa⁴,

Natsinee Tangsiripaiboon⁵, Narong Krueganta⁶, Winai Tasaeng⁷, Siwat Lawanwadeekul⁸,

Kittisak Samuttharak⁹ and Chaowoot Singkaew^{10*}

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง ลำปาง 52100

^{10*}คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง ลำปาง 52100

โทร 0 5423 7399 e-mail: chaowoot.s@g.lpru.ac.th

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9}Faculty of Industry Technology Lampang Rajabhat University

^{10*}Faculty of Science Lampang Rajabhat University

119 Moo 9, Lampang - Mae Tha Road, Chompoo Subdistrict, Mueang Lampang District, Lampang Province,

Thailand 52100 Tel. +665 4237 399 e-mail: chaowoot.s@g.lpru.ac.th

วันที่รับบทความ 14 ตุลาคม 2566

วันที่รับแก้ไขบทความ 22 ธันวาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 25 ธันวาคม 2566

Received: Oct. 14, 2023

Revised: Dec. 22, 2023

Accepted: Dec. 25, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียครัวเรือนต้นทุนต่ำสำหรับชุมชนริมแม่น้ำวัง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชน โดยสำรวจการปล่อยน้ำเสียในครัวเรือนที่ไม่ผ่านการบำบัดลงสู่แม่น้ำและเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์คุณภาพในห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันโดยใช้ถ่านไม้และเชรามิกพูน ออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียสำหรับครัวเรือนแล้วคำนวณหาประสิทธิภาพ จากการศึกษาพบว่าค่าบีโอดีหรือความสกปรกของน้ำเสียจากครัวเรือนโดยเฉลี่ยในรูปสารอินทรีย์ คือ 240 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 1,488 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับไขมันและน้ำมัน พบว่าถ่านไม้ ขนาด 0.5 เซนติเมตร สามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 91.17 ในขณะที่เชรามิกพูนทุกขนาดสามารถดูดซับน้ำมันได้โดยเฉลี่ยคือ ร้อยละ 25 การผสมถ่านไม้และเชรามิกพูนที่ดูดซับน้ำมันดีที่สุด พบว่าที่อัตราส่วน 4:1 1:0.5 และ 2:1 มีความสามารถดูดซับน้ำมันได้ถึงร้อยละ 99.82 ร้อยละ 99.78 และร้อยละ 98.29 ตามลำดับ และผลจากการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดและในส่วนของการศึกษาเครื่องบำบัดน้ำเสียครัวเรือนในครั้งนี้ พบว่าราคาที่ทำการศึกษาค่อนข้างต่ำกว่าราคาทั่วไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นวัสดุที่หาง่ายโดยทั่วไปและผู้ใช้สามารถประกอบเองได้

คำสำคัญ: ระบบบำบัดน้ำเสีย, น้ำเสียครัวเรือน, ชุมชนริมแม่น้ำวัง, แหล่งน้ำ, ลำปาง

Abstract

This research aimed to construct a low-cost household wastewater treatment machine for the community along the Wang River in Mueang District, Lampang Province, and to assess the efficiency of the community wastewater treatment machine. The study involved surveying the discharge of untreated household wastewater into the river, collecting wastewater samples for laboratory analysis, and testing the efficiency of oil absorption using wood charcoal and porous ceramic. The study also included designing and constructing a household wastewater treatment machine, with subsequent calculations of its efficiency. The study found that the average Biochemical Oxygen Demand (BOD) value, representing the organic content of household wastewater, was 240 milligrams per liter. The values for oil and fat were measured at 1,488 mg/L. The results of the study on the efficiency of wood charcoal in absorbing fat and oil revealed that a charcoal depth of 0.5 centimeters achieved the highest oil absorption at 91.17%. At the same time, porous ceramics of all sizes demonstrated an average oil absorption rate of 25%. The optimal combination of charcoal and porous ceramic was determined through various ratios. Ratios of 4:1, 1:0.5, and 2:1 exhibited the ability to absorb oil up to 99.82%, 99.78%, and 98.29%, respectively. Additionally, a comparison of the production costs of household wastewater treatment machines in the study with those available in the market showed that the prices in the study were somewhat lower, possibly due to the ease of finding materials and users' ability to assemble the machines.

Keywords: Wastewater treatment system, Household wastewater, Community along the Wang River, Water source, Lampang

1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางน้ำเป็นปัญหาร้ายแรงที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทำลายสิ่งแวดล้อม จากการดำเนินงานร่วมกับภาคีเครือข่าย พบว่าปัญหามลพิษทางน้ำส่วนใหญ่มาจากการปล่อยน้ำเสียของครัวเรือนโดยไม่ผ่านการบำบัด (Pollution Control Department, 2017) ส่งผลให้ชุมชนริมแม่น้ำ ต้องเผชิญกับผลกระทบจากปัญหามลพิษน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณชุมชนริมแม่น้ำที่ประชากรแออัด ปัญหาของแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการประกอบอาชีพ กิจกรรมในครัวเรือน เช่น ทำอาหาร ทำความสะอาด และอื่น ๆ กิจกรรมเหล่านี้มีการปลดปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

ปี 2560 - 2564 จังหวัดลำปางพบว่าคุณภาพของแม่น้ำวังลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่ลดลงในฤดูแล้งทำให้เกิดน้ำขัง ทั้งยังมีน้ำเสียจากชุมชนริมแม่น้ำวังในเขตอำเภอเมืองลำปาง ส่วนใหญ่มาจากครัวเรือนและร้านอาหาร โดยเฉพาะลักษณะของน้ำเสียมีการปนเปื้อนไขมันและน้ำมันที่ถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำโดยไม่ผ่านการบำบัด ส่งผลตรงกับข้อมูลในปี 2561 ที่แสดงว่าในน้ำทิ้งในเขต

เทศบาลนครลำปางเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด การแก้ไขปัญหานี้ก็จึงเป็นเรื่องสำคัญมาก โดยเฉพาะในชุมชนริมแม่น้ำวังในจังหวัดลำปาง (Jiwasantikan, 2022)

ปัจจุบันการจัดการน้ำเสียโดยวิธีการบำบัดมีหลากหลายวิธี เช่น การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเคมี กระบวนการชีวภาพ และกระบวนการทางชีวภาพ แต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่าง หนึ่งในปัจจัยคือการออกแบบให้เหมาะสมและราคาต้นทุนในการจัดการ การเลือกใช้วิธีการบำบัดทางกายภาพ โดยใช้วัสดุดูดซับสังเคราะห์หรือจากธรรมชาติเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากกระบวนการไม่ซับซ้อน ทำได้รวดเร็วและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการจัดการน้ำเสียได้

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งได้ข้อมูลและความต้องการของชุมชน คณะวิจัยจึงดำเนินพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้ในชุมชนบริเวณโดยรอบแม่น้ำวัง โดยคำนึงถึงการทำลายและความต้องการเฉพาะของชุมชนท้องถิ่น มีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนก่อนนำมาใช้งาน เพื่อจัดการน้ำเสียในครัวเรือนบริเวณชุมชนริมแม่น้ำวัง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนราคาประหยัดที่เหมาะสมกับชุมชนริมแม่น้ำวัง จังหวัดลำปาง

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียสำหรับชุมชน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ช่วงใหญ่ คือ ช่วงการเก็บข้อมูล ช่วงการออกแบบและการเลือกวัสดุดูดซับ และช่วงการติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 เก็บข้อมูลวิจัย

1) คณะวิจัย จัดประชุมร่วมกับภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เทศบาลเขลางค์นคร และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 2 (ลำปาง) เพื่อรับทราบปัญหาเบื้องต้น และร่วมตัดสินใจในการหาวิธีการแก้ไข

2) ลงพื้นที่เพื่อการสำรวจเชิงลึก สังเกตกระบวนการการปล่อยน้ำเสียในครัวเรือนที่เกิดขึ้นในชุมชนริมแม่น้ำวัง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ปัญหาและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3) สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากครัวเรือนบริเวณชุมชนริมแม่น้ำวัง จำนวน 5 ครัวเรือน โดยวิธีแบบจ้วงใส่ขวดพลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน ขนาด 2 ลิตร โดยพิจารณาความเหมาะสมในการเก็บตัวอย่างจากจุดปลายท่อปล่อยน้ำลงแม่น้ำวัง จุดบ่อกัก และจุดอ่างชำระล้างจานภายในครัวเรือน ดังแสดงในภาพที่ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของน้ำเสียเหล่านั้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำมาเป็นปัจจัยอ้างอิงการเกิดน้ำเสียและทำการเริ่มออกแบบ และสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนราคาประหยัดที่เหมาะสมกับชุมชนริมแม่น้ำวัง

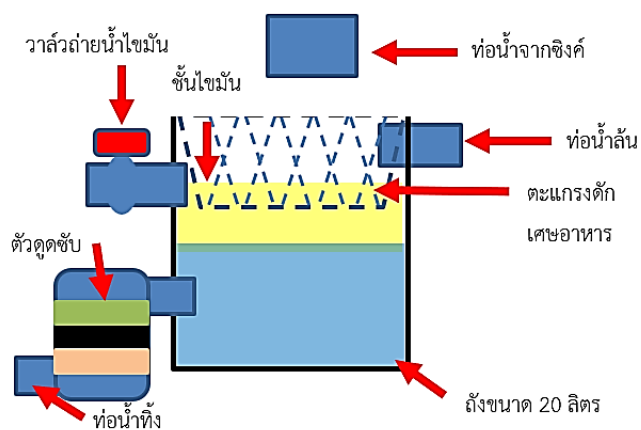


ภาพที่ 1 การลงพื้นที่และการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ บริเวณชุมชนริมแม่น้ำวัง (a) ถึงดักไขมันภายในร้านอาหาร (b) ท่อที่เชื่อมต่อจากครัวเรือนลงสู่แหล่งน้ำ (c) การลงพื้นที่พร้อมกับภาคีเครือข่ายและนักศึกษา (d) ภาพถ่ายมุมสูงชุมชนริมแม่น้ำวัง และ (e) บ่อซึมที่พบภายในร้านอาหาร

4) วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากครัวเรือน ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (Total Dissolved Solids; TDS) ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease; O&G) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) และบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

3.2 การออกแบบและการเลือกวัสดุดูดซับ

1) วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น พบว่าครัวเรือนที่ทำการสุ่มบางส่วนมีถังดักไขมันและมีการแยกเศษอาหาร ครัวเรือนที่ไม่มีถังดักไขมันและแยกเศษอาหารจะมีค่าไขมันและค่าซีโอดีสูง เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการสำรวจเชิงลึกพบว่า ครัวเรือนส่วนใหญ่มีพื้นที่จำกัดในการวางถังดักไขมัน ส่งผลให้คณะวิจัยได้ทำการออกแบบต้นแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียภายในพื้นที่จำกัดดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวคิดและต้นแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือน

2) ทำการเลือกวัสดุดูดซับที่นำมาใช้ในเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือน คณะวิจัยมุ่งเน้นวัสดุที่หาง่ายและสามารถเปลี่ยนหรือทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม คณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ถ่านไม้ไผ่ (Nyika & Dinka, 2022) และเซรามิกพรุน (Khuntyotying, 2012) (Zereffa & Bekalo, 2017) สมบัติเบื้องต้นของวัสดุดูดซับมี ดังนี้

(1) ถ่านไม้ไผ่มีคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้น รูพรุน และจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในถ่านไม้สามารถดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่าง ๆ ช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์และนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนก่อนปล่อยสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ ถ่านไม้ไผ่มีสมบัติที่ไม่เป็นพิษภัยต่อพืชและสัตว์จึงสามารถใช้ทดแทนสารเคมีราคาแพงได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้เลือกใช้ถ่าน 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ 2 เซนติเมตร ขนาดกลาง 1 เซนติเมตร และขนาดเล็ก 0.5 เซนติเมตร

(2) เซรามิกพรุนผลิตจากดินแดงเกาะคาจังหวัดลำปาง ผสมถ่านที่ผ่านการคัดขนาด 2 มิลลิเมตร เติมปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปผ่านการเผา เซรามิกพรุนในงานวิจัยนี้มี 3 ขนาด เช่นกัน คือ ขนาดใหญ่ 2 เซนติเมตร ขนาดกลาง 1 เซนติเมตร และขนาดเล็ก 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3

สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเม็ดดินเผา

รูพรุนปรากฏ	ร้อยละ 42.00	ความหนาแน่น	0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
การดูดซึมน้ำ	ร้อยละ 41.69	ความแข็ง	7 เมกะปาสคาล



ภาพที่ 3 ลักษณะของเซรามิกพรุนขนาดต่าง ๆ

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับ

น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบตลอดการทดลอง เป็นน้ำมันพืชชนิดทำมาจากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์ม ผสมกันในอัตราส่วน 1 : 1

1) การศึกษาประสิทธิภาพของขนาดวัสดุดูดซับน้ำมันที่เหมาะสมที่สุด

(1) ซั่งตัวอย่างวัสดุ ได้แก่ ถ่านไม้ ขนาด 2 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร และ 0.5 เซนติเมตร และเซรามิกพรุน ขนาด 2 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร และ 0.5 เซนติเมตร ปริมาณตัวอย่างละ 100 กรัม ใส่ชุดกรวยกรองที่เตรียมไว้กับฐานขาตั้ง

(2) ตวงน้ำมัน 100 กรัม จากนั้นนำมาเทผ่านตัวอย่างวัสดุที่เตรียม ปล่อยให้ไขมันไหลผ่านชั้นวัสดุจนหมด จากนั้นรองรับหยดน้ำมัน ที่ผ่านชั้นวัสดุจนกว่าจะหยุดไหล แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

(3) คำนวณค่าที่ได้คือปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุตัวอย่างที่ศึกษา

2) การศึกษาประสิทธิภาพระหว่างอัตราส่วนของวัสดุกับการดูดซับน้ำมันที่เหมาะสม

(1) นำวัสดุตัวอย่าง (ถ่านไม้และเชรามิกพูน) ตามขนาดเหมาะสมที่ได้จากการศึกษาเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างถ่านไม้: เชรามิกพูน ได้แก่ 1:0.5 1:1 1:2 2:1 และ 4:1 โดยการศึกษาครั้งนี้จะใช้วัสดุตามอัตราส่วน ได้แก่ 50:25 กรัม 50:50 กรัม 50:100 กรัม 100:50 กรัม และ 100:25 กรัม โดยนำบรรจุใส่ชุดกรวยกรองให้ถ่านไม้อยู่ชั้นด้านล่าง แล้วตามด้วยดินเผาอยู่ชั้นด้านบน

(2) ชั่งน้ำหนักของน้ำมัน ที่ได้จากศึกษาปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับไว้มากที่สุดที่เหมาะสม ใส่ในปิเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเทใส่ชุดกรวยกรองที่มีถ่านไม้และเชรามิกพูนที่เตรียมไว้ รองรับของเหลวที่ผ่านชุดกรวยกรองด้วยปิเกอร์

(3) นำตัวอย่างของเหลว ที่ผ่านชุดกรวยกรองมาสกัดเพื่อหาปริมาณน้ำมัน ด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย (liquid - liquid extraction)

(4) จัดบันทึกและคำนวณผลที่ได้ค่าประสิทธิภาพของปริมาณวัสดุที่ดูดซับน้ำมัน

3.4 การติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพวัสดุดูดซับ

1) ติดตั้งชุดเครื่องบำบัดที่ออกแบบเข้ากับอ่างล้างจาน

2) เตรียมตัวอย่างน้ำมันที่ทดสอบ โดยใช้ไขมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม ในส่วนผสมอัตราส่วน 1:1

3) เทน้ำมันที่ผสมแล้ว ประมาณ 500 กรัม ลงถังขนาด 50 ลิตร จากนั้นเติมน้ำสะอาดผสมลงในถังปริมาณ 20 ลิตร

4) นำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมลงในอ่างล้างจาน ที่มีการติดตั้งชุดเครื่องบำบัดน้ำ โดยจำลองเหมือนสภาพการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน ปล่อยให้ไขมันไหลผ่านชุดบำบัดจนหมด ทำการนำสะอาดตามลงอ่างอีกรอบปริมาณ 1 ลิตร เมื่อไขมันจนหมดนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำมาหาปริมาณน้ำมันเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ

4. ผลการวิจัย

เพื่อตอบวัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัย ในการออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนราคาประหยัดที่เหมาะสมกับชุมชนริมแม่น้ำวัง จังหวัดลำปาง คณะวิจัยได้แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียครัวเรือน การทดสอบประสิทธิภาพวัสดุดูดซับ และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือน ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

4.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียจากครัวเรือน

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อวิเคราะห์สมบัติ พบว่า ค่าความสกปรกของน้ำที่พบอยู่ในรูปสารอินทรีย์หรือบีโอดีโดยเฉลี่ย คือ 240 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 1,488 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการสำรวจคุณภาพน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยและอาคารชนิดต่าง ๆ พบว่าน้ำเสียจากครัวเรือนบ้านพักอาศัยมีปริมาณค่าน้ำมันและไขมันประมาณ 500 มิลลิกรัม/ลิตร และจากครัวรวมกับส่วนอื่น ๆ ของร้านอาหารภัตตาคารมีค่าปริมาณค่าน้ำมันและไขมันประมาณ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร (Pollution Control Department, 2003) โดยการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ค่าบีโอดีไม่ควรเกิน 200 มิลลิกรัม/

ลิตร ค่าน้ำมันและไขมันไม่ควรเกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร (Ministry of Science Announcement Technology and Environment, 1994)

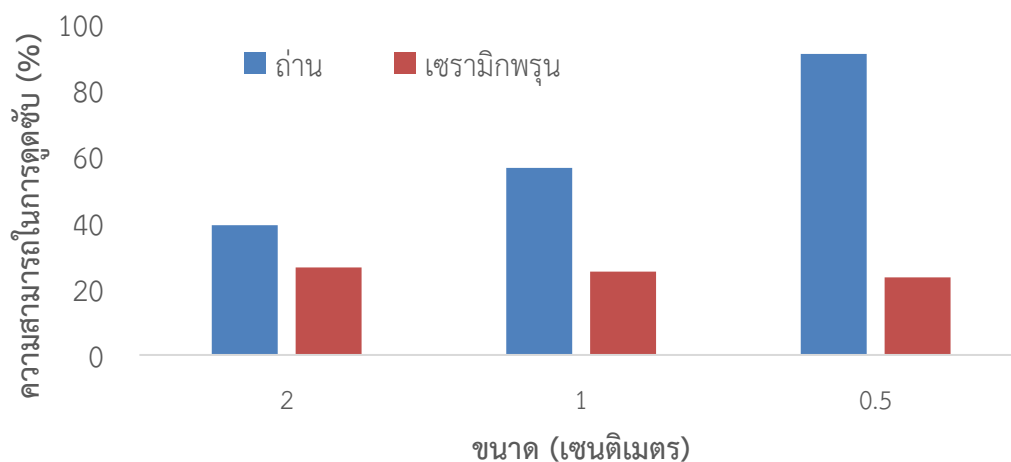
เมื่อพิจารณาผลที่วิเคราะห์ พบว่าค่าน้ำมันและไขมันมีค่าเกินมาตรฐานถึง 140 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 1 การที่ผลการทดสอบมีค่าสูงเนื่องจากกิจกรรมการใช้น้ำในครัวเรือน โดยเฉพาะหลายแห่งไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งสาธารณะ มีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ และระบบนิเวศบริเวณโดยรอบได้ เมื่อได้ผลการทดสอบคณะวิจัยมีการประชุมร่วมกับภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง และมีแนวคิดตรงกันว่าควรขจัดน้ำมันและไขมันเป็นอันดับแรก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำทิ้งจากครัวเรือนเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท จ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน
พีเอช (pH)	-	5.02	5.5-9.0
ปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (Total Dissolved Solids; TDS)	mg/l	1,250	-
น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease; O&G)	mg/l	1,488	ไม่เกิน 100
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	mg/l	9,980	-
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	mg/l	240	ไม่เกิน 200

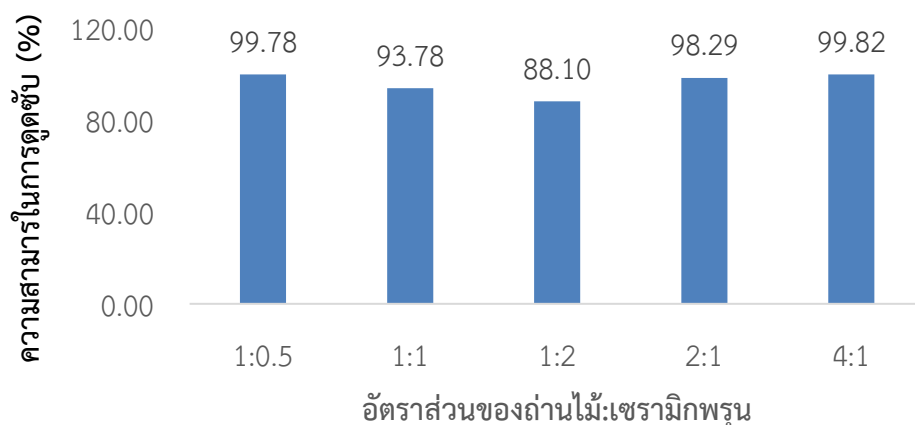
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่ทำการติดตั้งในเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือน โดยมุ่งเป้าขจัดน้ำมันและไขมัน สามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด โดยการเทน้ำเสียปริมาตร 100 กรัม ให้ไหลผ่านตัวกรองที่บรรจุวัสดุดูดซับขนาดต่าง ๆ เพื่อดูผลของขนาดตัวดูดซับ พบว่าถ่านไม้ผุ ขนาด 2 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร และ 0.5 เซนติเมตร สามารถดูดซับได้ร้อยละ 39.28 ร้อยละ 56.66 และร้อยละ 91.17 ตามลำดับ พบว่าถ่านไม้ที่ขนาด 0.5 เซนติเมตร สามารถดูดซับน้ำมันไว้ได้มากที่สุด ในขณะที่เซรามิกพรุนขนาดต่าง ๆ สามารถดูดซับได้ประมาณร้อยละ 25 พบ เซรามิกพรุนที่ขนาด 0.5 เซนติเมตร สามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่น้ำมันและไขมันลดลงเนื่องจากไปอุดตันในรูพรุนขนาดเล็กของตัวดูดซับ (Kaji et al., 1986)



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านไม้และเซรามิกพูนขนาดต่าง ๆ

การทดสอบอัตราส่วนของการผสมวัสดุดูดซับ คณะผู้วิจัยผสมถ่านไม้ไฟและเซรามิกพูนในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 1:0.5 1:1 1:2 2:1 และ 4:1 และใช้น้ำเสียปริมาตร 100 กรัม เพื่อทดสอบหาการดูดซับที่ดีที่สุด ซึ่งผลการศึกษพบว่า ที่อัตราส่วน 4:1 1:0.5 และ 2:1 มีความสามารถดูดซับน้ำมันได้ถึงร้อยละ 99.82 ร้อยละ 99.78 และร้อยละ 98.29 ตามลำดับ และที่ดูดซับได้น้อยที่สุดคืออัตราส่วน 1:2 สามารถดูดซับได้ร้อยละ 88.10 เพราะมีส่วนผสมของดินเผามากกว่า อย่างไรก็ตามจากการศึกษามีผลที่ได้ดีที่สุดที่ผสมมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ค่อนข้างสูงทุกอัตราส่วนดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านไม้และเซรามิกพูนในอัตราส่วนต่าง ๆ

4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและราคาเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนกับงานวิจัยอื่น ๆ

1) ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับน้ำมันและไขมันของเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือน นำมาเปรียบเทียบกับแหล่งอื่นที่เคยศึกษามาก่อน มีการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ ได้แก่ ดอกธูปฤาษี ชานอ้อย ผักตบชวา ถ่านไม้ เป็นต้น พบว่าการศึกษาจากแหล่งต่าง ๆ มีประสิทธิภาพ

ปานกลางถึงสูงตั้งแต่ร้อยละ 77.60 - 99.77 และคณะผู้ศึกษารังนี้ ใช้วัสดุดูดซับผสมกันระหว่าง ถ่านไม้และเชรามิกพูน มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ถึง ร้อยละ 99.77 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียประเภทไขมันและน้ำมันจากครัวเรือน

ผู้ทำการศึกษา	ปีที่ทำการศึกษา	ผลการศึกษา
Khaiket, B. et al.	2011	ร้อยละ 77.60 – 99.77
Kiddee, P. et al.	2018	ร้อยละ 96.22 - 98.97
Sariphan, K.	2018	ร้อยละ 78.14 – 99.54
คณะผู้ศึกษา	ปัจจุบัน	ร้อยละ 99.35 – 99.77

2) เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระบบบำบัดน้ำมันและไขมันของเครื่องบำบัดน้ำเสียในครัวเรือนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งเป็นระบบสำเร็จรูปไม่มีวัสดุดูดซับในตัว สามารถเลือกขนาดให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำเสียได้ เป็นเพียงการแยกชั้นของไขมันและน้ำมัน และราคาจะขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ และในส่วนของเครื่องบำบัดน้ำเสียครัวเรือนในครั้งนี้ พบว่าราคาที่ทำการศึกษาค่อนข้างต่ำกว่าราคาทั่วไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นวัสดุที่หาง่ายโดยทั่วไปและผู้ใช้สามารถประกอบเองได้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบราคาตามท้องตลาดและชุดบำบัดน้ำเสียที่ศึกษา

ขนาด (ลิตร)	ราคาโดยประมาณ (บาท)	หมายเหตุ
20	1,300	ราคาตามท้องตลาดร้านค้าทั่วไป*
30	1,600	ราคาตามท้องตลาดร้านค้าทั่วไป*
40	2,000	ราคาตามท้องตลาดร้านค้าทั่วไป*
60	2,300	ราคาตามท้องตลาดร้านค้าทั่วไป*
120	3,500	ราคาตามท้องตลาดร้านค้าทั่วไป*
ระบบบำบัดที่ศึกษารังนี้	500 – 1,000	ขึ้นกับอัตราส่วนที่นำมาใช้ในระบบ

* สืบจากแหล่งราคาตามท้องตลาดจากร้านค้าทั่วไปเมื่อ ปี พ.ศ.2566

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียครัวเรือนต้นทุนต่ำสำหรับชุมชนริมแม่น้ำวัง อ.เมือง จ.ลำปาง พบว่าลักษณะคุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัด มีค่าไขมันและไขมันปริมาณ 1,488 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานสำหรับครัวเรือนที่กำหนดให้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดีโดยเฉลี่ยปริมาณ 240 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการศึกษาการดูดซับของวัสดุ ได้แก่ ถ่านไม้ และเชรามิกพูน พบว่าถ่านไม้ ขนาด 0.5 เซนติเมตร สามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด โดยเฉลี่ยร้อยละ 91.17 และเชรามิกพูนทุกขนาดสามารถดูดซับได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 25 และผลการผสมระหว่างถ่านไม้และเชรามิกพูน ที่อัตราส่วนพบว่าที่อัตราส่วน 4:1 1:0.5 และ 2:1 มีความสามารถดูดซับน้ำมันได้ถึงร้อยละ 99.82 ร้อยละ 99.78 และร้อยละ 98.29

ตามลำดับ ประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียครัวเรือนประเภทไขมันและน้ำมันอยู่ระหว่างร้อยละ 99.35 – 99.77 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณค่าไขมันและน้ำมันในน้ำออกของถังดักไขมันกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดค่ามาตรฐานน้ำมันและไขมันของอาคารประเภท จ. ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งพบว่าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งยังมีต้นทุนการผลิตต่ำเพียง 500 – 1,000 บาท ต่อ 1 เครื่อง

6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้สร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบต้นทุนต่ำ โดยได้ออกแบบรูปทรงระบบเพียงแบบเดียวเท่านั้น จึงอาจทำให้ผลประสิทธิภาพการทดสอบได้เพียงแบบเดียว จึงควรมีการศึกษารูปแบบของระบบบำบัดที่หลากหลายขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพการนำวัสดุดูดซับไขมันที่อยู่ส่วนระบบบำบัดด้วยการนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณปี 2565 จากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

8. เอกสารอ้างอิง

- Jiwasantikan, K. (2022, October). *Mayor of Lampang Municipality*, personal communication.
- Kaji, R., Muranaka, Y., Otsuka, K., & Hishinuma, Y. (1986). Water absorption by coals: effects of pore structure and surface oxygen. *Fuel*, 65(2), 288-291.
- Khaiket, B., Angsungnoen, S., Kaewdam, J., & Bunprom, P. (2011). Efficiency of Grease Trap from Recycled Material as Wastewater Treatment in Soi Soda Community, Bangkok. *Journal of Environmental Management*, 7(1).
- Kiddee, P., Chanchaiprasert, U., Thongnuaykhan, W. & Chaicharoen, C. (2018). Efficiency of Hanguana malayana (Jack) Merr for Oil Adsorption. *PSRU Journal of Science and Technology*, 3(2), pp.35-45.
- Khunytong, T. (2012). Clay body for ceramic filter instrument use for potable water filtration by using kaolin waste as compound for enhances porosity in clay body. *Industrial Technology Journal, Lampang Rajabhat University*, pp.65-77.
- Ministry of Science Announcement Technology and Environment. (1994). Setting standards for controlling wastewater drainage from certain types and sizes of buildings, published in the Royal Gazette. *General announcement*, V. 111, special section 9N.
- Nyika, J., & Dinka, M. (2022). Activated bamboo charcoal in water treatment: A mini-review. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1904-1907.

- Pollution Control Department. (2003). *Guidelines for managing sludge from Wastewater treatment system Project to create criteria and guidelines for waste management Sediment from wastewater treatment systems*.
- Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment. (2017). *Reducing and utilizing solid waste*. Guidelines and prerequisites.
- Sariphan, K. (2018). The adsorption of oil by agricultural waste and the briquette production from adsorbent. *Journal of Renewable Energy for Community*, pp. 10-16.
- Tantichuwet, P. (2010). *General education and desirable graduate characteristics in Malaysia and Singapore. Study by comparison with Thailand*. In Sirichai Kanchanawasi (Editor), *Driving the Quality of Thai Education* [Proceeding]. National Academic Conference and Dissemination of Research Results. pp. 97–102.
- Zereffa, E. A., & Bekalo, T. B. (2017). Clay Ceramic Filter for Water Treatment. *Material Science & Applied Chemistry*, 34(1).

การประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

Application of Forecasting Method for Reducing Storage Costs: Case Study of an Automotive Product Company

วิรัชพัชร พรหมจรรย์^{1*}, จิตรภรณ์ นางทิน² และนวัฒน์ชัย เพ็งบุล³

Wirunpuch Prommachan^{1*}, Jitrathorn Nangtin² and Nawatchai Pengbun³

^{1*,2,3}สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

^{1*,2,3}Department of Industrial Technology and Innovation, Faculty of science and technology

Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand Email: Wirunpuch.p@pit.ac.th

วันที่รับบทความ 8 ธันวาคม 2566

วันที่รับแก้ไขบทความ 19 ธันวาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2566

Received: Dec. 8, 2023

Revised: Dec. 19, 2023

Accepted: Dec. 20, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางการพยากรณ์ความต้องการสินค้า และการคาดการณ์ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าด้วยวิธีการพยากรณ์ simple moving average (SMA) กระบวนการวิจัยเริ่มจากการนำข้อมูลการขายสินค้าทั้งหมดของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง มาคัดกรองเพื่อเลือกสินค้าที่มีขนาดใหญ่โดยได้กำหนดขนาดไว้โดยสินค้ากลุ่มนี้มีจำนวน 10 รายการ จากนั้นจึงนำข้อมูลการขายของสินค้าดังกล่าว ไปคัดเลือกหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูลจากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ารูปแบบของวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูล คือ มีสินค้า 5 รายการ ข้อมูลเหมาะสมกับวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีการ moving average แบบ 6 เดือน สินค้าอีก 4 รายการ ควรใช้วิธี moving average แบบ 2 เดือน และสินค้าอีก 1 รายการ ควรใช้วิธี moving average แบบ 4 เดือน สรุปค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าลดลงอยู่ที่ประมาณ 9,729.70 บาทต่อปี

คำสำคัญ: ความต้องการสินค้า, ต้นทุนการจัดเก็บ, วิธีการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย, การจัดการสินค้าคงคลัง

Abstract

This aim of this research was to create a comprehensive guide for predicting product requirements and managing storage costs through the application of the simple moving average (SMA) forecasting method. The investigation, initiated by filtering data from the total sales of a specific business, aimed to identify large- sized products within a designated product group, amounting to a total of 10 items. Subsequently, an in-depth analysis of the sales data for these products was conducted to identify a suitable forecasting method based on the observed data patterns. Following the analysis, it was determined that the optimal forecasting method for five of the products was the 6-month moving average, while the 2-month moving average was recommended for another four

products. Additionally, one product was advised to utilize the 4-month moving average. The derived conclusion suggests that implementing these forecasting methods would result in an estimated annual reduction of approximately 9,729.70 Thai Baht per year in the overall cost of inventory management.

Keywords: Product Requirement, Storage Cost, Simple Moving Average Forecasting Method, Inventory Management

1. บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจในประเทศไทยมีหลากหลายประเภท มีจำนวนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอดีตทำให้เกิดสภาวะการแข่งขันด้านการตลาดสูง ดังนั้นองค์กรต่าง ๆ จึงต้องนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยให้ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำ รวดเร็ว และทันสมัย เพื่อสนับสนุนในการบริหารการวิเคราะห์ การตรวจสอบและการตัดสินใจของผู้ประกอบการต่าง ๆ ขององค์กรนั้น

ธุรกิจประเภทนำเข้าและจัดจำหน่าย มีความจำเป็นต้องสั่งซื้อสินค้าเข้ามาจัดเก็บเพื่อให้สินค้าเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า จึงต้องมีการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าที่ดี ซึ่งธุรกิจประเภทนี้ มักมีความผันผวนของตลาดสูง ทำให้การคาดคะเนสินค้าให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าได้ยาก ปัญหาที่มักพบ แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่มีการจัดเก็บสินค้ามากเกินไปจนเกิดต้นทุนจมและสูญเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ อีกกรณีที่มีการจัดเก็บสินค้าปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้สูญเสียโอกาสและรายได้ทางการขาย

การพยากรณ์ความต้องการสินค้า สามารถนำมาช่วยกำหนดตารางการใช้ทรัพยากรในปัจจุบันและทำให้ทราบว่าทรัพยากรในองค์กรที่มีอยู่ เช่น เครื่องจักร แรงงาน เงินสดหมุนเวียนมีการใช้ไปเท่าใด ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ และมีลักษณะการใช้อย่างไร ส่งผลให้องค์กรไม่เสียเวลาและเสียงบประมาณไปกับสิ่งที่ไม่จำเป็น ทำให้องค์กรสามารถแสวงหาทรัพยากรอื่น ๆ มาเพิ่มจากข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันกับระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแผน นอกจากนั้นการพยากรณ์ความต้องการสินค้า สามารถนำไปใช้ในการวางแผนช่องทางการจัดจำหน่ายให้กับลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในอนาคต เพื่อให้มีสินค้าเพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค และสามารถต่อสู้กับคู่แข่ง รวมทั้งรักษาส่วนแบ่งตลาดได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นแล้วการพยากรณ์สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลการดำเนินงาน เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการหรือกลยุทธ์ที่องค์กรใช้อยู่เป็นวิธีที่เหมาะสมหรือไม่ หรือใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน โดยประเมินสถานการณ์และสร้างความคาดหวังในอนาคต ส่งผลให้ผู้ที่เกี่ยวข้องมีความกระตือรือร้นในการทำงานมากขึ้น (Tubpond et al., 2018)

สำหรับปัจจัยหลักที่สนับสนุนการสร้างควมพึงพอใจให้แก่ลูกค้าประกอบด้วย คุณภาพสินค้า ที่ถูกต้องตามความต้องการของลูกค้า การบริการและการส่งมอบที่ตรงต่อเวลา แต่เนื่องจากความผันผวนของอุปสงค์หรือความต้องการของลูกค้าในตลาด จึงทำให้ยากต่อการคาดการณ์ความต้องการสินค้าและระดับสินค้าคงคลัง ดังนั้นจึงเกิดปัญหาความไม่สมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทานด้วยเหตุนี้การพยากรณ์ความต้องการสินค้าจึงมีความสำคัญมาก หากมีสินค้าคงคลังไม่เพียงพอที่จะทำธุรกิจ

สินค้าคงคลังทำให้สูญเสียพื้นที่สำหรับการจัดเก็บ เกิดความเสื่อมสภาพและส่งผลให้เกิดการล้าสมัยของสินค้าคงคลัง ส่งผลกระทบให้สินค้าไม่พอต่อการส่งมอบและสูญเสียความน่าเชื่อถือทางธุรกิจ (To-In, 2013)

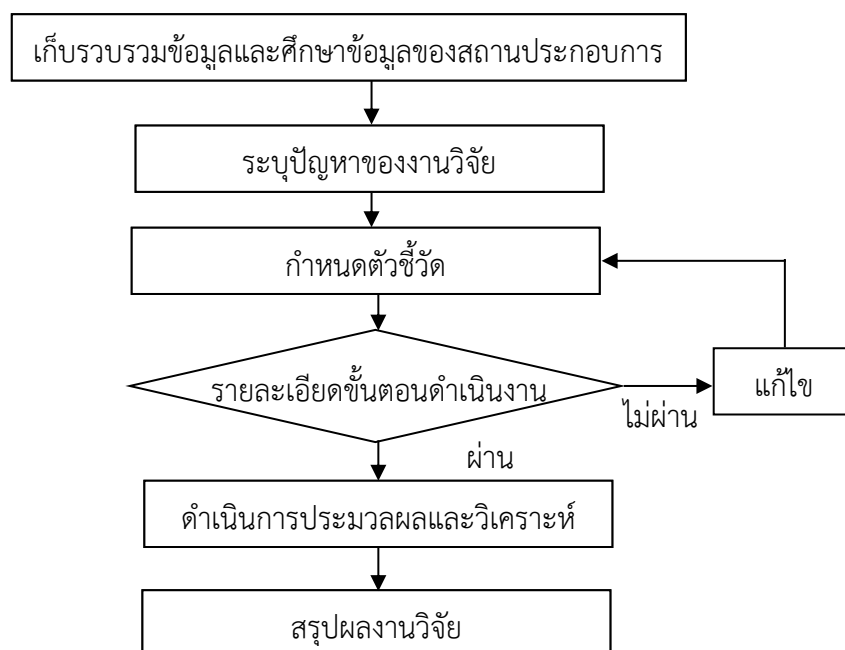
ด้วยเหตุนี้อุปสงค์ของตลาดจึงเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผู้บริหารคลังสินค้าจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งต่อการติดตามอุปสงค์ของลูกค้า รวมทั้งตรวจสอบระดับสินค้าคงคลังอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและต้นทุนที่เหมาะสม ความสำคัญดังกล่าวหากมีการจัดการการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าและการจัดการคลังสินค้า เพื่อเป็นข้อมูลตัดสินใจด้านการบริหารจัดการจึงมีความสำคัญยิ่งในภาคธุรกิจ หน้าที่ของการพยากรณ์ต้องมีข้อมูลความต้องการของลูกค้าย้อนหลัง เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและพยากรณ์ความต้องการสินค้าของลูกค้า รวมไปถึงระดับการจัดเก็บสินค้าคงคลังเพื่อให้เกิดการผิดพลาดต่อการบริหารจัดการน้อยที่สุด กระบวนการเหล่านี้เป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการคลังสินค้า และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าในการส่งมอบให้ตรงต่อเวลา เพื่อสร้างความสมดุลในห่วงโซ่อุปทานโดยป้องกันความไม่แน่นอนของกระบวนการผลิตและการผันผวนของความต้องการลูกค้า

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อหาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมของสินค้ากลุ่มตัวอย่างของกรณีศึกษา
- 2.2 เพื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูลสินค้า พบปัญหาด้านการจัดเก็บสินค้า การสั่งซื้อไม่มีการวางแผน ทำให้จำนวนสินค้ามากเกินความต้องการของลูกค้า และสินค้าบางชนิดมีขนาดใหญ่ ทำให้เปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บ



ภาพที่ 1 แสดงผังการดำเนินงานวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลของสถานประกอบการ

1) ข้อมูลทั่วไป

สถานประกอบการที่เลือกศึกษา เป็นสถานประกอบการประเภทซื้อมาขายไปขนาดเล็ก เพื่อจำหน่ายชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์และอุปกรณ์ต่าง ๆ มีสินค้าที่จัดจำหน่ายในกิจการประมาณ 40 รายการ เนื่องจากเป็นสถานประกอบการที่เพิ่งเปิดบริการได้เพียง 3 ปี

2) วิธีการสั่งซื้อสินค้าคงคลังในสถานประกอบการ

วิธีการสั่งซื้อสินค้าคงคลัง มีการสั่งซื้อใหม่เมื่อสินค้าใกล้หมด และใช้การพยากรณ์แบบง่าย หรือการหาค่าแบบตรง (Naive Forecast) หมายถึง การพยากรณ์ปริมาณความต้องการหรืออุปสงค์ในอนาคต จากข้อมูลในปัจจุบัน เช่น ยอดขายเดือนมกราคมขายได้ 350 กล่อง ใช้เป็นฐานข้อมูลพยากรณ์ได้ว่าเดือนกุมภาพันธ์ น่าจะขายได้ 350 กล่อง เช่นเดียวกัน

3.2 ระบุปัญหาของงานวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสินค้าคงคลังของสถานประกอบการ พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการที่เป็นปัจจัยสำคัญ คือ ปัญหาด้านการจัดเก็บสินค้า ปัญหาการขาดการวางแผนการสั่งซื้อสินค้า ทำให้การจัดเก็บและจำนวนสินค้ามากเกินความต้องการ ทั้งนี้สินค้าบางชนิดมีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดการใช้พื้นที่เกิน ข้อมูลการเก็บรวบรวมระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2565 – ตุลาคม 2566 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดของสินค้าของสถานประกอบการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

ลำดับ	ชื่อสินค้า	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	รวม	Size กล่อง
1	ไฟเบรก (Brake light)	10	9	10	29	NM A1
2	ไฟฉุกเฉิน (Hazard lights)	11	9	11.5	31.5	NM A1
3	ไฟหน้า (Headlamp)	11	9	10.5	30.5	NM A1
4	ไฟเลี้ยว (Indicators)	12	9.5	12	33.5	NM A1
5	ไฟเตือน (Warning light)	12	9.5	13	34.5	NM A1
6	หัวเทียน (Spark plug)	12.5	10.5	15	38	NM A2
7	สายหัวเทียน (Spark plug wire)	13	11	15	39	NM A2
8	ลูกปืนคลัตช์ (Clutch bearing)	14	11	15	40	NM A2
9	ลูกปืนล้อหน้า (Front wheel bearing)	14	11	15	40	NM A2
10	มาตรวัดอุณหภูมิ (Temperature gauge)	18	11	15	44	NM A2
11	มาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel gauge)	18	11	15	44	NM A2
12	มาตรแสดงความเร็ว (speedometer)	18	12	15	45	NM A2
13	กระจกมองหลัง (Rear view mirror)	20	15	20	55	NM A3
14	ผ้าดิสเบรก (Disk brake pads)	21	16	25.5	62.5	NM A3
15	เสาอากาศรถยนต์ (Car Antenna)	22	16.5	26	64.5	NM A3
16	สายพานใบพัด (Fan belt)	22	16.5	25	63.5	NM A3
17	เข็มขัดนิรภัย (Seatbelt)	22.5	17	27	66.5	NM A3
18	สายคันเร่ง (Throttle cable)	23	17	27	67	NM A3

ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดของสินค้าของสถานประกอบการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสินค้า	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	รวม	Size กล่อง
19	สายเบรกมือ (Handbrake cable)	23	17.5	27.5	68	NM A3
20	คันเกียร์ (Gear stick)	25.5	19	28	72.5	NM A4
21	แผ่นป้ายทะเบียนรถ (Number plate)	25.5	19	28	72.5	NM A4
22	กระจกมองข้าง (Wing mirror)	27	19	28.5	74.5	NM A4
23	ก้ามเบรก (Brake shoes)	27	25	30	82	NM A5
24	จานจ่าย (Distributor)	28	26.5	30	84.5	NM A5
25	หีคลัตช์ (Clutch cover)	28.5	26.5	30	85	NM A5
26	แบตเตอรี่ (Battery)	30	30	30.5	90.5	NM A5
27	คันเร่ง (Accelerator)	33	31	31	95	NM A6
28	คลัตช์ (Clutch)	33	31	31	95	NM A6
29	จานคลัตช์/แผ่นคลัตช์ (Clutch disc)	33	31	30.5	94.5	NM A6
30	พวงมาลัย (Steering wheel)	40	35	31	106	NM A6
31	ปั๊มเบรก (Pump Brake)	45	42	34	121	NM A7
32	โช้คอัพรถยนต์ (Car shock absorber)	45	41.5	35	121.5	NM A7
33	ดิสเบรก (Disk brake)	47	42	34	123	NM A7
34	ที่ปัดน้ำฝน (Windscreen wiper)	50	43	44.5	137.5	NM A7
35	ยางนอก (Michelin tire 16)	55	40.5	45	140.5	NM A8
36	ยางนอก (Michelin tire 17)	55	40.5	45	140.5	NM A8
37	ยางนอก (Michelin tire 18)	60	45	50	155	NM A8
38	หม้อน้ำ (Radiator)	60	45	38	143	NM A8
39	ที่นั่งเด็ก (Child seat)	55	60.5	40.5	156	NM A8
40	น้ำมันเครื่อง (Motor oil)	70	65	45	180	NM A8

3.3 กำหนดแนวทางงานวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาให้กับบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยเจาะจงเป็นกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยกำหนดแนวทางของงานวิจัย ดังนี้

1. งานวิจัยนี้ต้องการที่จะพิสูจน์การเปรียบเทียบ เพื่อให้ทางสถานประกอบการ เห็นถึงผลลัพธ์ของการดำเนินการทางธุรกิจ โดยการประยุกต์ทฤษฎีทางวิชาการกับการดำเนินการจริง
2. งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการทางวิชาการเรื่องของการพยากรณ์เข้ามาช่วย ในการวางแผนการสั่งซื้อสินค้า

3. งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยนำข้อมูลการขายสินค้าในช่วงพฤศจิกายน 2565 – ตุลาคม 2566 มาคาดการณ์ค่าสั่งซื้อสินค้า ด้วยโปรแกรม Microsoft excel และใช้เทคนิคการพยากรณ์ โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average: SMA) ซึ่งเป็น 1 ใน 3 เทคนิคของวิธี ปรับให้เรียบ (Smoothing Forecast) การใช้วิธีการนี้เหมาะกับข้อมูลที่มีลักษณะแบบมีแนวโน้ม และไม่มีแนวโน้ม ฤดูกาลหรือเหตุการณ์เป็นแบบสุ่มที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ และแบบแผนที่ เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยทุกครั้งที่มีการสังเกตหรือข้อมูลใหม่ จะนำค่าสังเกตหรือข้อมูลใหม่นั้น

ไปปรับสมการพยากรณ์ มีอีก 2 วิธีที่ไม่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) รายละเอียดวิธีการดังอธิบายต่อไปนี้

วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average)

วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตจากข้อมูลหรือค่าสังเกตล่าสุด จำนวน 1 ค่า โดยให้น้ำหนักของข้อมูลเท่ากัน เมื่อได้กำหนดจำนวนเทอมที่จะเฉลี่ยค่าที่คำนวณได้จะเป็นค่าพยากรณ์ของข้อมูลในช่วงเวลาต่อไป (ณ เวลาที่ $t+1$) โดยค่า n ที่ใช้จะเป็นจำนวนคู่ หรือจำนวนใดก็ได้ แต่จะใช้ข้อมูลตั้งแต่ 3 ช่วงเวลาขึ้นไป หากใช้ข้อมูล 3 ช่วงเวลา ดังนั้น ค่าพยากรณ์ ค่าแรกก็จะเป็นค่าของช่วงเวลาที่ 4 เป็นต้น ในกรณีที่กำหนดให้ค่า $n = 3$ แล้วจะเรียกวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่นี้ว่า 3 MA (A Moving Average of Order 3 หรือ 3 MA Smoother) โดยทั่วไปแล้ววิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่นี้ไม่ได้กำหนดค่า 1 ที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยว่าต้องมีค่าเท่าใด แต่จะเลือก n ที่ทำให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด (ดูจากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่า จำนวน 1 เท่าใดที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมต่ำสุด) อย่างไรก็ตาม ถ้าข้อมูลอนุกรมเวลาที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์ค่าคงที่เคลื่อนไหวขึ้นลงช้า ก็ควรจะใช้ค่า n ต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากข้อมูลอนุกรมเวลาที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์มีค่าคงที่เคลื่อนไหวขึ้นลงเร็ว ก็ควรจะใช้ค่า n สูง และการหาค่าเฉลี่ย 12 เดือน หรือให้ $n = 12$ จะช่วยขจัดอิทธิพลของฤดูกาลออกไป สูตรคำนวณหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ดังนี้ (Tubpond et al., 2018)

$$M_t = \frac{(d_t + d_{t-1} + d_{t-2} + \dots + d_{t-n+1})}{n}$$

โดยที่ M_t = ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาต่อไป
 N = จำนวนช่วงเวลาที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย
 d_t = ค่าความต้องการจริงในช่วงเวลาปัจจุบัน

3.4 กำหนดตัวชี้วัด

การวัดระดับความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยตัวชี้วัดของงานวิจัยนี้ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อน (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) เพื่อหาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมและต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าของสินค้าทั้ง 10 รายการ (Nananok, 2010)

1. ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation; MAD) มีสูตรในการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t|$$

2. ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error; MSE) มีสูตรในการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$MSE = \left(\frac{\sum e_t^2}{n} \right)$$

3. ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) มีสูตรในการคำนวณดังสมการที่ (4)

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{e_t}{d_t} \right| \times 100}{n} \quad (4)$$

3.5 รายละเอียดขั้นตอนดำเนินการงานวิจัย

1) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาวิเคราะห์ ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2565 – ตุลาคม 2566 สถานประกอบการที่ใช้เป็นกรณีศึกษามีสินค้าที่จัดจำหน่ายทั้งหมด จำนวน 40 รายการ ผู้วิจัยได้รับอนุญาตให้ตรวจสอบข้อมูลการขายและขนาดของสินค้า เพื่อการคัดกรองสินค้า โดยทางสถานประกอบการจะแจ้งให้ทำการวิเคราะห์สินค้าที่มีขนาด 120 cm. ขึ้นไป วิธีการกำหนดขนาดของสินค้าในการวิจัยตามสูตรคำนวณ แสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดของสินค้าเพื่อใช้เป็นเกณฑ์การคำนวณตามระเบียบวิธีวิจัย

Size	ขนาดรวม cm.
A1	1 = >34
A2	35 = >51
A3	52 = >71
A4	72 = >81
A5	82 = >93
A6	94 = >119
A7	120 = >140
A8	141 = >220

เกณฑ์การคัดเลือกประเภทกล่องทางสถานประกอบการ ได้คำนวณขนาดตามคู่มือระเบียบวิธีวัดขนาดกล่องพัสดุเพื่อส่งออก (USPS products and services, 2022) สามารถคำนวณได้ โดยนำด้านยาวที่สุด รวมกับเส้นรอบวงที่ตั้งฉากกับด้านที่ยาวที่สุด รวมแล้วไม่เกิน 200 cm. ซึ่งหลังจากการคัดกรอง พบว่ามีสินค้าเพียง 10 รายการ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลชื่อและขนาดของสินค้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาที่มีขนาด 120 cm ขึ้นไป

ลำดับ	ชื่อสินค้า	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	รวม	Size กล่อง
1	ปั๊มเบรก (Pump Brake)	45	42	34	121	NM A7
2	โช้คอัพรถยนต์ (Car shock absorber)	45	41.5	35	121.5	NM A7
3	ดิสเบรก (Disk brake)	47	42	34	123	NM A7
4	ที่ปัดน้ำฝน (Windscreen wiper)	50	43	44.5	137.5	NM A7
5	ยางนอก (Michelin tire 16)	55	40.5	45	140.5	NM A8
6	ยางนอก (Michelin tire 17)	55	40.5	45	140.5	NM A8
7	ยางนอก (Michelin tire 18)	60	45	50	155	NM A8
8	หม้อน้ำ (Radiator)	60	45	38	143	NM A8
9	ที่นั่งเด็ก (Child seat)	55	60.5	40.5	156	NM A8
10	Motor oil น้ำมันเครื่อง	70	65	45	180	NM A8

2) ข้อมูลสต็อกสินค้าและปริมาณการขาย แสดงดังตารางที่ 4, 5 และ 6 เมื่อนำมาพยากรณ์ ด้วยวิธี Moving Average แบบ 2 เดือน 4 เดือน และ 6 เดือน ด้วยโปรแกรม Microsoft excel

ตารางที่ 4 ข้อมูลสต็อกสินค้าและปริมาณการขาย ระหว่าง พ.ย.2565 – ต.ค.2566

เดือน	ที่นั่งเด็ก		ใช้คอมพิวเตอร์		ดิสเบรก		ที่ปัดน้ำฝน	
	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย
พ.ย.-65	15	5	32	22	15	5	20	14
ธ.ค.-65	15	6	34	25	15	8	20	15
ม.ค.-66	10	7	30	25	15	11	25	17
ก.พ.-66	15	9	25	22	10	8	30	15
มี.ค.-66	12	5	30	27	15	13	30	14
เม.ย.-66	12	9	35	30	15	9	35	13
พ.ค.-66	15	7	25	22	20	16	20	12
มิ.ย.-66	15	8	30	28	15	11	25	13
ก.ค.-66	15	7	25	24	20	7	25	16
ส.ค.-66	10	6	30	28	15	12	25	11
ก.ย.-66	10	9	20	37	15	11	20	12
ต.ค.-66	15	9	40	34	20	12	20	12
รวม	159	87	356	324	190	123	295	164

ตารางที่ 5 ข้อมูลสต็อกสินค้าและปริมาณการขาย ระหว่าง พ.ย.2565 – ต.ค.2566 (ต่อ)

เดือน	ยางนอก 16		ยางนอก 17		ยางนอก 18		หมอน้ำ	
	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย
พ.ย.-65	80	77	80	74	80	62	15	7
ธ.ค.-65	85	71	85	60	85	63	15	5
ม.ค.-66	100	82	100	72	100	50	10	8
ก.พ.-66	75	74	75	72	75	65	10	10
มี.ค.-66	100	85	100	77	100	95	10	5
เม.ย.-66	80	76	80	74	80	76	10	9
พ.ค.-66	90	74	90	83	90	85	15	14
มิ.ย.-66	85	73	85	66	85	77	15	2
ก.ค.-66	90	71	90	70	90	84	20	6
ส.ค.-66	100	87	100	72	100	93	10	8
ก.ย.-66	100	79	100	76	100	90	10	10
ต.ค.-66	120	85	120	75	120	87	15	13
รวม	1,105	934	1,105	871	1,105	927	155	97

ตารางที่ 6 ข้อมูลสต็อกสินค้าและปริมาณการขาย ระหว่าง พ.ย.2565 – ต.ค.2566

เดือน	ปั้มเบรก		น้ำมันเครื่อง	
	สต็อก	ยอดขาย	สต็อก	ยอดขาย
พ.ย.-65	15	5	50	45
ธ.ค.-65	15	8	60	53
ม.ค.-66	15	11	55	50
ก.พ.-66	10	8	50	48
มี.ค.-66	15	12	60	50
เม.ย.-66	15	7	65	60
พ.ค.-66	20	16	50	45
มิ.ย.-66	20	10	45	40
ก.ค.-66	25	8	45	39
ส.ค.-66	15	12	45	41
ก.ย.-66	15	13	70	52
ต.ค.-66	20	11	70	49
รวม	200	121	665	572

4. ผลการวิจัย

ผลการพยากรณ์กลุ่มตัวอย่างสินค้าทั้ง 10 รายการ ของสถานประกอบการที่มีขนาด 120 cm ขึ้นไป โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม ด้วยวิธี Moving Average 2 เดือน 4 เดือน และ 6 เดือน วิเคราะห์โดยแสดงการแจกแจง ดังแสดงผลการพยากรณ์ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงตัวอย่างผลพยากรณ์ของที่นั่งเด็ก (Child seat)

ที่นั่งเด็ก พ.ย.2565 – ต.ค.2566			
เดือน	Moving Average 2 เดือน	Moving Average 4 เดือน	Moving Average 6 เดือน
พ.ย.65	*	*	*
ธ.ค.65	*	*	*
ม.ค.66	5.5	*	*
ก.พ.66	6.5	*	*
มี.ค.66	8	6.75	*
เม.ย.66	7	6.75	*
พ.ค.66	7	7.5	6.83
มิ.ย.66	8	7.5	7.17
ก.ค.66	7.5	7.25	7.50
ส.ค.66	7.5	7.75	7.50
ก.ย.66	6.5	7	7.00
ต.ค.66	7.5	7.5	7.67
รวม	71	58	44

4.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการหาค่าพยากรณ์ ด้วยโปรแกรม Microsoft excel

1) ตัวอย่างการหาค่าพยากรณ์ Simple moving average ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'การศึกษาแนวทางการสั่งซื้อสินค้าคงคลังโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์'. The main table is 'A STUDY GUIDELINES FOR ORDERING INVENTORY USING FORECASTING TECHNIQUES'. It contains columns for 'simple moving average (Child seat ที่นั่งเด็ก)', 'ค่าความคลาดเคลื่อน 2 เดือน', 'ค่าความคลาดเคลื่อน 4 เดือน', and 'ค่าความคลาดเคลื่อน 6 เดือน'. The data rows show monthly demand and the corresponding moving average values. A red box highlights the calculation of the simple moving average for 2 months, showing the formula $\text{AVERAGE}(B5:B6)$ in cell C7.

ภาพที่ 2 แสดงวิธีการหาค่าพยากรณ์ Simple moving average ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

จากภาพที่ 2 การหาค่าพยากรณ์ Simple moving average 2 เดือน คือ การนำปริมาณยอดขายจริงของ 2 เดือนก่อนหน้ามาทำการพยากรณ์มีขั้นตอน ดังนี้

วิธีที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 ให้กดไปที่ช่องที่ต้องการหาค่าพยากรณ์ คือ ช่องที่ C7

ขั้นตอนที่ 2 ให้กด = แล้วกดที่คำสั่ง AVERAGE

ขั้นตอนที่ 3 ให้กดไปที่ช่อง B5 และ B6 จากนั้นให้กด Enter จะได้ค่าผลพยากรณ์ Simple moving average 2 เดือน ดังในภาพที่ 3 จากนั้นให้ทำต่อไปจนถึงเดือนสุดท้ายที่ต้องการหาค่าพยากรณ์

วิธีที่ 2

ขั้นตอนที่ 1 ให้กดไปที่ช่องที่ต้องการหาค่าพยากรณ์ คือ ช่องที่ C7

ขั้นตอนที่ 2 ให้กด = แล้วกดที่คำสั่ง สูตรนั้นคือ $= (B5+B6)/2$

ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นให้กด Enter จะได้ค่าผลพยากรณ์ Simple moving average 2 เดือน ดังในภาพที่ 4 จากนั้นให้ทำต่อไปจนถึงเดือนสุดท้ายที่ต้องการหาค่าพยากรณ์

ขั้นตอนที่ 4 ให้ทำการ SUM ข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด จะได้ค่าพยากรณ์ที่ต้องการ

การศึกษานโยบายการคลังด้วยเทคนิคการพยากรณ์

A STUDY GUIDELINES FOR ORDERING INVENTORY USING FORECASTING TECHNIQUES

simple moving average (Child seat ชิ้นเล็ก)

เดือน	ปริมาณการขาย/ชิ้น	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	mad	mse	mape	mad	mse	mape	mad	mse	mape
พ.ย.64	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ธ.ย.64	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ม.ย.65	7	5	*	*	1.50	2.25	0.21	*	*	*	*	*	*
ก.ย.65	9	6.5	2.50	6.25	0.28	*	*	*	*	*	*	*	*
พ.ย.65	5	AVERAGE(number1, number2, ...)	3.00	9.00	0.60	1.75	3.06	0.35	*	*	*	*	*
ธ.ย.65	9	7	6.75	4.56	2.00	4.00	0.22	2.25	5.06	0.25	*	*	*
ก.ย.65	7	7	7.5	6.8	0.00	-	0.50	0.25	0.07	0.17	0.03	0.02	
ม.ย.65	8	8	7.5	7.2	0.00	-	0.50	0.25	0.06	0.83	0.69	0.10	
ก.ย.65	7	7.5	7.25	7.5	0.50	0.25	0.07	0.25	0.06	0.04	0.50	0.25	0.07
ธ.ย.65	6	7.5	7.75	7.5	1.50	2.25	0.25	1.75	3.06	0.29	1.50	2.25	0.25
ก.ย.65	9	6.5	7	7.0	2.50	6.25	0.28	2.00	4.00	0.22	2.00	4.00	0.22
พ.ย.65	9	7.5	7.7	1.50	2.25	0.17	1.50	2.25	0.17	1.33	1.78	0.15	
รวม	87	71	58	44	1.50	3.25	0.21	1.31	2.25	0.18	1.06	1.5	0.14

วิธีการหาค่า simple moving average 2 เดือน
วิธีการ นำปริมาณการขายรายสัปดาห์ของ 2 เดือนก่อนนำมาทำการพยากรณ์
วิธีที่ 1
ขั้นตอนที่ 1 ได้ค่าไปหาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ย C7
ขั้นตอนที่ 2 ได้ค่าของ - เวลาอีกสี่สัปดาห์ average
ขั้นตอนที่ 3 ได้ค่าไปหาค่าของ 85 และ 86 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมา Enter
เราจะได้ค่าของค่าเฉลี่ย simple moving average 2 เดือน คือค่า
วิธีที่ 2
ขั้นตอนที่ 1 ได้ค่าไปหาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ย C7
ขั้นตอนที่ 2 ได้ค่าของ - เวลาอีกสี่สัปดาห์ (85+86)/2
ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมา Enter
เราจะได้ค่าของค่าเฉลี่ย simple moving average 2 เดือน คือค่า
จากนั้นให้นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปใช้หาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ยการพยากรณ์

ภาพที่ 3 แสดงวิธีการหาค่าพยากรณ์ Simple moving average ที่นั่งเด็ก 2 เดือน (วิธีที่ 1)

การศึกษานโยบายการคลังด้วยเทคนิคการพยากรณ์

A STUDY GUIDELINES FOR ORDERING INVENTORY USING FORECASTING TECHNIQUES

simple moving average (Child seat ชิ้นเล็ก)

เดือน	ปริมาณการขาย/ชิ้น	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	mad	mse	mape	mad	mse	mape	mad	mse	mape
พ.ย.64	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ธ.ย.64	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ม.ย.65	7	5	2.50	6.25	0.28	*	*	*	*	*	*	*	*
ก.ย.65	9	6.5	4.06	2.67	0.22	2.25	5.06	0.25	*	*	*	*	*
พ.ย.65	5	8	6.75	4.56	3.00	9.00	0.60	1.75	3.06	0.35	*	*	*
ธ.ย.65	9	7	7.5	6.8	0.00	-	0.50	0.25	0.07	0.17	0.03	0.02	
ก.ย.65	8	8	7.5	7.2	0.00	-	0.50	0.25	0.06	0.83	0.69	0.10	
ก.ย.65	7	7.5	7.25	7.5	0.50	0.25	0.07	0.25	0.06	0.04	0.50	0.25	0.07
ธ.ย.65	6	7.5	7.75	7.5	1.50	2.25	0.25	1.75	3.06	0.29	1.50	2.25	0.25
ก.ย.65	9	6.5	7	7.0	2.50	6.25	0.28	2.00	4.00	0.22	2.00	4.00	0.22
พ.ย.65	9	7.5	7.7	1.50	2.25	0.17	1.50	2.25	0.17	1.33	1.78	0.15	
รวม	87	71	58	44	1.50	3.25	0.21	1.31	2.25	0.18	1.06	1.5	0.14

วิธีการหาค่า simple moving average 2 เดือน
วิธีการ นำปริมาณการขายรายสัปดาห์ของ 2 เดือนก่อนนำมาทำการพยากรณ์
วิธีที่ 1
ขั้นตอนที่ 1 ได้ค่าไปหาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ย C7
ขั้นตอนที่ 2 ได้ค่าของ - เวลาอีกสี่สัปดาห์ average
ขั้นตอนที่ 3 ได้ค่าไปหาค่าของ 85 และ 86 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมา Enter
เราจะได้ค่าของค่าเฉลี่ย simple moving average 2 เดือน คือค่า
วิธีที่ 2
ขั้นตอนที่ 1 ได้ค่าไปหาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ย C7
ขั้นตอนที่ 2 ได้ค่าของ - เวลาอีกสี่สัปดาห์ (85+86)/2
ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมา Enter
เราจะได้ค่าของค่าเฉลี่ย simple moving average 2 เดือน คือค่า
จากนั้นให้นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปใช้หาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ยการพยากรณ์

ภาพที่ 4 แสดงวิธีการหาค่าพยากรณ์ Simple moving average ที่นั่งเด็ก 2 เดือน (วิธีที่ 2)

2) การหาค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MED) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

การศึกษานโยบายการคลังด้วยเทคนิคการพยากรณ์

A STUDY GUIDELINES FOR ORDERING INVENTORY USING FORECASTING TECHNIQUES

simple moving average (Child seat ชิ้นเล็ก)

เดือน	ปริมาณการขาย/ชิ้น	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	mad	mse	mape	mad	mse	mape	mad	mse	mape
พ.ย.64	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ธ.ย.64	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ม.ย.65	7	5.5	1.50	2.25	0.21	*	*	*	*	*	*	*	*
ก.ย.65	9	6.5	2.50	6.25	0.28	*	*	*	*	*	*	*	*
พ.ย.65	5	8	6.75	4.56	3.00	9.00	0.60	1.75	3.06	0.35	*	*	*
ธ.ย.65	9	7	7.5	6.8	0.00	-	0.50	0.25	0.07	0.17	0.03	0.02	
ก.ย.65	8	8	7.5	7.2	0.00	-	0.50	0.25	0.06	0.83	0.69	0.10	
ก.ย.65	7	7.5	7.25	7.5	0.50	0.25	0.07	0.25	0.06	0.04	0.50	0.25	0.07
ธ.ย.65	6	7.5	7.75	7.5	1.50	2.25	0.25	1.75	3.06	0.29	1.50	2.25	0.25
ก.ย.65	9	6.5	7	7.0	2.50	6.25	0.28	2.00	4.00	0.22	2.00	4.00	0.22
พ.ย.65	9	7.5	7.7	1.50	2.25	0.17	1.50	2.25	0.17	1.33	1.78	0.15	
รวม	87	71	58	44	1.50	3.25	0.21	1.31	2.25	0.18	1.06	1.5	0.14

วิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)
ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ของ 2 เดือน
วิธีการ นำปริมาณการขายรายสัปดาห์ มาลบกับ ค่าพยากรณ์ 2 เดือน
วิธีที่ 1
ขั้นตอนที่ 1 ได้ค่าไปหาค่าของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ย C7
ขั้นตอนที่ 2 ได้ค่าของ - เวลาอีกสี่สัปดาห์ ABS
ขั้นตอนที่ 3 ได้ค่าไปหาค่าของ 87 และ C7 นั่นคือ =ABS(B7-C7)
จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมา Enter
เราจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)
simple moving average 2 เดือน คือค่า
หมายเหตุ
การหาค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)
ของ 4 เดือน และ 6 เดือน ก็ใช้วิธีการเดียวกัน

ภาพที่ 5 แสดงวิธีการหาค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MED) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

จากภาพที่ 5 การหาค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MED) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน คือ การนำปริมาณยอดการขายจริงมาลบกับค่าการพยากรณ์ 2 เดือน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้กดไปที่ช่องของที่ต้องการหาค่า (MED) คือ ช่องที่ F7

ขั้นตอนที่ 2 ให้กด = แล้วกดที่คำสั่ง ABS

ขั้นตอนที่ 3 ให้กดไปที่ช่องที่ B7 ลบ C7 นั่นคือ =ABS(B7-C7) จากนั้นให้กด Enter จะได้ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MED) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน จากนั้นให้ทำต่อไปจนถึงเดือนสุดท้ายที่ต้องการหาค่า (MED)

ขั้นตอนที่ 4 ให้ทำการ AVERAGR ข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด จะได้ค่าค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MED) ที่นั่งเด็ก 2 เดือนทั้งหมด

3) การหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'การศึกษานวทางการสั่งซื้อสินค้าคงคลังโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์'. The main content is a table for 'A STUDY GUIDELINES FOR ORDERING INVENTORY USING FORECASTING TECHNIQUES'. The table has columns for months (e.g., พ.ย.64, ธ.ค.64) and rows for different inventory items (e.g., simple moving average, Child seat). The table includes calculated values for MAD, MSE, and MAPE. A red box highlights the MSE calculation for the Child seat item, showing the formula =POWER(F8,2) in cell G8. The spreadsheet also includes a sidebar with instructions in Thai, such as 'วิธีหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (mse) ของ moving average 2 เดือน' and 'ขั้นตอนที่ 1 ให้กดไปที่ช่องของที่ต้องการหาค่า (mse) คือ ช่องที่ G7'.

ภาพที่ 6 แสดงวิธีการหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

จากภาพที่ 6 การหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน คือ การนำค่าการพยากรณ์ 2 เดือน ที่ได้มา ยกกำลังสอง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้กดไปที่ช่องของที่ต้องการหาค่า (MSE) คือ ช่องที่ G7

ขั้นตอนที่ 2 ให้กด = แล้วกดที่คำสั่ง POWER

ขั้นตอนที่ 3 ให้กดไปที่ช่องที่ F7 แล้วยกกำลัง นั่นคือ =POWER(F7,2) จากนั้นให้กด Enter จะได้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่นั่งเด็ก (Child seat) 2 เดือน จากนั้นให้ทำต่อไปจนถึงเดือนสุดท้ายที่ต้องการหาค่า (MSE)

ขั้นตอนที่ 4 ให้ทำการ AVERAGR ข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด จะได้ค่าค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือนทั้งหมด

4) การหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

เดือน	ปริมาณการขาย/ชิ้น	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	mad	mse	mape	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	mape
พ.ย.64	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ธ.ค.64	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ม.ค.65	7	5.5	*	*	1.50	2.25	0.21	*	*	*	*
ก.พ.65	9	6.5	*	*	2.50	6.25	0.28	*	*	*	*
มี.ค.65	5	8	6.75	*	3.00	9.00	0.60	1.75	3.06	0.35	*
เม.ย.65	9	7	6.75	*	2.00	4.00	0.22	2.25	5.06	0.25	*
พ.ค.65	7	7	7.5	6.8	0.00	-	-	0.50	0.25	0.07	0.17
มิ.ย.65	8	8	7.5	7.2	0.00	-	-	0.50	0.25	0.06	0.83
ก.ค.65	7	7.5	7.25	7.5	0.50	0.25	0.07	0.25	0.06	0.04	0.50
ส.ค.65	6	7.5	7.75	7.5	1.50	2.25	0.25	1.75	3.06	0.29	1.50
ก.ย.65	9	6.5	7	7.0	2.50	6.25	0.28	2.00	4.00	0.22	2.00
ต.ค.65	9	7.5	7.5	7.7	1.50	2.25	0.17	1.50	2.25	0.17	1.33
รวม	87	71	58	44	1.50	3.25	0.21	1.31	2.25	0.18	1.06

ภาพที่ 7 แสดงวิธีการหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน

จากภาพที่ 7 การหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน โดยนำปริมาณยอดการขายจริงมาหารกับค่า (MAD) ของ 2 เดือน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้กดไปที่ช่องของที่ต้องการหาค่า (MSE) คือช่องที่ H7

ขั้นตอนที่ 2 ให้กด = แล้วกดที่ช่อง F7 หารด้วย ช่อง B7 นั่นคือ =F7/B7 จากนั้นให้กด Enter จะได้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือน จากนั้นให้ทำต่อไปจนถึงเดือนสุดท้ายที่ต้องการหาค่า (MAPE)

ขั้นตอนที่ 3 ให้ทำการ AVERAGE ข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด จะได้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (MAPE) ที่นั่งเด็ก 2 เดือนทั้งหมด

ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างยอดรวมผลพยากรณ์ของที่นั่งเด็ก

สินค้า Child seat (ที่นั่งเด็ก)				
ลำดับ	วิธีการพยากรณ์	ยอดรวมผลพยากรณ์	MAPE (%)	บาท/ปี
1	Moving Average 2 เดือน	71	0.21	248.5
2	Moving Average 4 เดือน	58	0.18	203
3	Moving Average 6 เดือน	44	0.14	154

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่า MAPE ของวิธี Moving Average 6 เดือน น้อยที่สุด ซึ่งหมายความว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด จึงสรุปได้ว่าการพยากรณ์ด้วยวิธี Moving Average 6 เดือน จึงเหมาะสมที่สุด โดยผลลัพธ์แสดงดังนี้ ค่า MAPE = 0.14%, ค่าพยากรณ์ 44 ขึ้นต่อปี ค่าจัดเก็บ/ต้นทุน 154 บาทต่อปี

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด สรุปได้ว่าสินค้าที่เลือกมาวิเคราะห์ตามสูตรพยากรณ์ที่มีขนาด 120 cm ขึ้นไปทั้ง 10 รายการนั้น ควรใช้วิธีพยากรณ์ด้วยวิธี Moving Average 2 เดือน จำนวน 4 รายการ ได้แก่ โช้คอัพรถยนต์ ที่ปัดน้ำฝน ยางนอก 16 และน้ำมันเครื่อง ส่วน Moving Average 4 เดือน จำนวน 1 รายการ คือ หม้อน้ำ และ Moving Average 6 เดือน จำนวน 5 รายการ ได้แก่ ที่นั่งเด็ก ดิสเบรก ยางนอก 17 และยางนอก 18 ปัมเบรก เนื่องจากให้ค่า MAPE น้อยที่สุด

ตารางที่ 9 สรุปวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมของสินค้าแต่ละชนิดจากกรณีศึกษาครั้งนี้

ลำดับ	ชื่อสินค้า	วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม	MAPE (%)
1	ที่นั่งเด็ก (Child seat)	Moving Average 6 เดือน	0.14
2	โช้คอัพรถยนต์ (Car shock absorber)	Moving Average 2 เดือน	0.13
3	ดิสเบรก (Disk brake)	Moving Average 6 เดือน	0.22
4	ที่ปัดน้ำฝน (Windscreen wiper)	Moving Average 2 เดือน	0.13
5	ยางนอก (Michelin tire 16)	Moving Average 2 เดือน	0.06
6	ยางนอก (Michelin tire 17)	Moving Average 6 เดือน	0.06
7	ยางนอก (Michelin tire 18)	Moving Average 6 เดือน	0.10
8	หม้อน้ำ (Radiator)	Moving Average 4 เดือน	0.74
9	ปั้มเบรก (Pump Brake)	Moving Average 6 เดือน	0.19
10	น้ำมันเครื่อง (Motor oil)	Moving Average 2 เดือน	0.12

ตารางที่ 10 สรุปผลจำนวนสต็อกของสินค้าแต่ละรายการที่ใช้ศึกษา

ลำดับ	ชื่อสินค้า	สต็อกสินค้า 6 เดือน	สต็อกสินค้า การพยากรณ์	ผลต่าง
1	ที่นั่งเด็ก (Child seat)	159	64	95
2	โช้คอัพรถยนต์ (Car shock absorber)	356	260	96
3	ดิสเบรก (Disk brake)	190	44	146
4	ที่ปัดน้ำฝน (Windscreen wiper)	295	138	157
5	ยางนอก (Michelin tire 16)	1,105	771	334
6	ยางนอก (Michelin tire 17)	1,105	441	664
7	ยางนอก (Michelin tire 18)	1,105	465	640
8	หม้อน้ำ (Radiator)	155	62	93
9	ปั้มเบรก (Pump Brake)	200	62	138
10	น้ำมันเครื่อง (Motor oil)	655	475	180
ผลรวม		5,325	2,782	2,543

จากตารางที่ 10 ผลรวมสต็อกสินค้าแบบเดิม 5,325 ชิ้น เมื่อใช้การพยากรณ์ผลรวมสต็อกสินค้าประมาณ 2,782 ชิ้น จะเห็นได้ว่าสต็อกลดลง 2,543 ชิ้น

ตารางที่ 11 สรุปค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า

ลำดับ	ชื่อสินค้า	ค่าจัดเก็บ 6 เดือน	ค่าจัดเก็บ การพยากรณ์	ผลต่าง
1	ที่นั่งเด็ก (Child seat)	556.50	152.83	403.67
2	โช้คอัพรถยนต์ (Car shock absorber)	1,246	911.75	334.25
3	ดิสเบรก (Disk brake)	665	224.58	440.42
4	ที่ปัดน้ำฝน (Windscreen wiper)	1,032.50	486.50	546
5	ยางนอก (Michelin tire 16)	3,867.50	2,698.50	1,169
6	ยางนอก (Michelin tire 17)	3,867.50	1,537.67	2,329.83
7	ยางนอก (Michelin tire 18)	3,867.50	1,627.50	2,239.83
8	หม้อน้ำ (Radiator)	542.50	214.37	328.13
9	ปั๊มเบรก (Pump Brake)	700	215.25	484.75
10	น้ำมันเครื่อง (Motor oil)	665	1,660.75	995.75
ผลรวม		17,010	9,729.40	7,280.60

จากตารางที่ 11 ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าแบบเดิม 17,010 บาทต่อปี เมื่อใช้การพยากรณ์ ค่าใช้จ่ายอยู่ที่ประมาณ 9,729.70 บาทต่อปี เห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ ค่าใช้จ่ายลดลง 7,280.60 บาท

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดพบว่า การพยากรณ์สินค้า 5 รายการ ควรใช้วิธี moving average 6 เดือน และใช้วิธี moving average 2 เดือน สำหรับสินค้าอีก 4 รายการ นอกจากนี้มีสินค้า 1 รายการ ควรใช้วิธี moving average 4 เดือน การศึกษาพยากรณ์ต้นทุนโดยรวมของการจัดการสินค้าคงคลังลดลงประมาณ 9,729.70 บาทต่อปี สิ่งเหล่านี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการใช้เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม หากปรับให้เหมาะกับลักษณะเฉพาะของสินค้าแต่ละรายการ โดยท้ายที่สุดแล้วจะมีส่วนช่วยในการจัดการสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพและคุ้มต้นทุนมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลบางส่วนทางสถานประกอบการไม่สามารถให้นำไปเผยแพร่ได้ ผู้วิจัยต้องระมัดระวังในการใช้ข้อมูลต่าง ๆ อาจนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) การวิจัยครั้งนี้จึงมีประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาข้อเสนอแนะทางการวิจัยต่อยอดในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Nananok, H. (2010). *Sale Forecasting of Production Planning*. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok (in Thai).
- To-In, N. (2013). *Demand Planning and Inventory Planning for the Beverage: A Case Study of Hotel Beverage Control Section*. Bangkok: Dhurakij Pundit University (in Thai).
- Tubpond, T. et al. (2018). *Sales Forecasting and Inventory Management of Frozen Giant: Siam Makro Pubilc Company Limited*. Thonburi University (in Thai).
- USPS products and services. (2022). *Generally, commercial parcels must measure*. [online], Available: <https://www.usps.com/ship/packages.htm>. access on November 9, 2022.

การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเมล็ดกาแฟกะลาโดยใช้เทคนิค ECRS และการยศาสตร์ กรณีศึกษาเกษตรกรบ้านแม่จันทหลวง จังหวัดเชียงราย

Improving The Efficiency of Parchment Coffee Sorting using ECRS Technique and Ergonomics: A Case Study of Farmers in Mae Chan Luang Village, Chiang Rai Province

สุภาพร คำเตจา^{1*}, จินตนา ราวิชัย², ประเวศ อนันเอื้อ³, เสกสรรค์ วินยงค์กุล⁴,

วิภพ ใจแข็ง⁵, ชยากร พุทธกำเนิด⁶ และนคร ไชยวงศ์ศักดิ์⁷

Supaporn Kamtaeja^{1*}, Jintana Rawichai², Prawet Anan-ue³,

Seksan Winyangkul⁴, Wipob Jaikang⁵, Chayakorn puttakamnerd⁶

and Nakorn Chaiwongsakda⁷

^{1*,2,3,4,5,6,7} โปรแกรมวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

80 หมู่ 9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100 โทร 0 5377 6015 โทรสาร 0 5377 6015 ต่อ 111

E-mail supaporn.kamt@crru.ac.th

^{1*,2,3,4,5,6,7} Program of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University 57100

80 Moo 9 Bandu Sub District, Muang District, Chiang Rai

Tel.+66 5377 6015 Fax.+66 5377 6015 Ext. 111 E-mail: supaporn.kamt@crru.ac.th

วันที่รับบทความ 6 กรกฎาคม 2566

วันที่รับแก้ไขบทความ 11 กันยายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 5 ตุลาคม 2566

Received: Jul. 6, 2023

Revised: Sep. 11, 2023

Accepted: Oct. 5, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเมล็ดกาแฟกะลาพันธุ์อาราบิก้า โดยใช้เทคนิค ECRS และการยศาสตร์ โดยทำการศึกษากระบวนการคัดเมล็ดกาแฟกะลา และทำการศึกษาวิธีการทำงาน โดยการเขียนแผนภูมิมือซ้าย - มือขวา ในการหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้เป็นมาตรฐาน โดยนำหลักทฤษฎี ECRS คือ การกำจัด การรวมกัน การจัดใหม่ และการทำให้ง่าย รวมทั้งหลักการยศาสตร์มาปรับปรุงขั้นตอนการคัดเมล็ดกาแฟ จากการศึกษาก่อนการคัดแยกเมล็ดกาแฟกะลา ก่อนปรับปรุงพบว่ามีกระบวนการทำงาน 16 ขั้นตอน เวลาการคัดเมล็ดกาแฟเฉลี่ย 3.54 นาทีต่อกิโลกรัม การนำหลัก ECRS และการยศาสตร์มาใช้ ทำให้สามารถลดท่าทางการเคลื่อนไหวที่ไม่เหมาะสม กำจัดกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็นใช้โต๊ะ คัดเมล็ดกาแฟในการคัดแยก และทำการคัดเมล็ดกาแฟโดยใช้สองมือ ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการทำงานลดลงเหลือ 7 ขั้นตอน เวลามาตรฐานในการคัดเมล็ดกาแฟกะลาของพนักงานหลังการปรับปรุงเฉลี่ย 3.06 นาทีต่อกิโลกรัม ซึ่งลดลงจากเดิม 0.48 นาทีต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเมล็ดกาแฟได้ร้อยละ 13.6

คำสำคัญ: การคัดเมล็ดกาแฟ, การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, ECRS, การยศาสตร์

Abstract

The objective of this research was to improve the efficiency of Arabica parchment coffee sorting using the ECRS technique and ergonomics. The study focused on the process of sorting parchment coffee manually and investigated the working methods using a left-right hand diagram. The aim was to find ways to standardize the working process by applying the principles of ECRS, which include 'eliminate', 'combine', 'rearrange', and 'simplify'. Additionally, the research applied ergonomic principles to improve the parchment coffee sorting process. After studying the pre-improvement sorting process, which consisted of 16 steps, it was found that the average time taken by workers to sort parchment coffee was 3.54 minutes per kilogram. By implementing the principles of ECRS and ergonomics, unnecessary movements were reduced, unnecessary steps in the process were eliminated, a coffee bean sorting table was used, and sorting was done using both hands. The results showed that the working process was reduced to 7 steps, and the standard time for sorting parchment coffee by workers after the improvement was 3.06 minutes per kilogram, which is a reduction of 0.48 minutes per kilogram. This indicates a 13.6% increase in the efficiency of parchment coffee sorting.

Keywords: Coffee bean sorting, Motion and time study, ECRS, Ergonomics

1. บทนำ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลกชนิดหนึ่ง เกษตรกรชาวไทยปลูกกาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจทั้งภาคเหนือและภาคใต้ ภาคเหนือนิยมปลูกพันธุ์อาราบิก้าโดยเฉพาะที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง แม่ฮ่องสอน และตาก พื้นที่ที่เหมาะสมต่อคุณภาพของกาแฟอาราบิก้านี้ควรจะมีพื้นที่สูงตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 18 - 22 องศาเซลเซียส (Techanant, 2017)

จังหวัดเชียงรายถือเป็นแหล่งปลูกกาแฟอาราบิก้าที่ใหญ่ที่สุดและดีที่สุดในประเทศไทย ด้วยมีสภาพพื้นที่เหมาะสมกับการปลูกกาแฟอาราบิก้า เพราะพื้นที่ปลูกนั้นอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลกว่า 1,000 เมตร จึงมีสภาพภูมิอากาศและสภาพดินที่อุดมสมบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2563 จังหวัดเชียงรายมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวกาแฟรวมกว่า 37,710 ไร่ โดยมีปริมาณผลผลิต 5,076 ตัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 22.55 ของผลผลิตทั้งประเทศ เป็นรองเพียงจังหวัดชุมพรที่มีปริมาณผลผลิต 6,861 ตัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 30.49 ของผลผลิตทั้งประเทศ (Office of Agricultural Economics, 2021)

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่กลุ่มเกษตรบ้านแม่จันทรวง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงรายพบว่าในกระบวนการผลิตกาแฟอาราบิก้า คือวิธีเปียก เริ่มการปอกเปลือก โดยจะนำเอาผลสุกมาปอกเปลือกด้านนอกออกด้วยเครื่องลอกเปลือก มีน้ำเป็นตัวหล่อลื่น ซึ่งจะทำทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นจะทำการกำจัดเอาเมือกที่ห่อเมล็ดอยู่ออกไป เมื่อเมือกถูกกำจัดออกหมดแล้ว จะนำมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดบนลานซีเมนต์ เกลี่ยเมล็ดกาแฟให้กระจายตัว ความหนาไม่เกิน 2 นิ้ว กลับเมล็ดวันละ 2 - 4 ครั้ง ซึ่งจะช่วยให้ความชื้นออกไปได้เร็วขึ้น เมื่อกาแฟแห้งได้ที่

ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7 - 10 วัน จะเรียกว่ากาแพะลา แล้วนำเอากาแพะลาไปผ่านการสีเพื่อให้ได้สารกาแพ แล้วทำการคัดสารกาแพ ซึ่งในการคัดสารกาแพนี้จะนิยมใช้เครื่องในการคัด เพราะได้คุณภาพสม่ำเสมอตามที่ต้องการ โดยในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรรายย่อยที่ทำการขายกาแพะลาให้โครงการหลวงมีปัญหาในส่วนของการคัดเมล็ดกาแพะลา ซึ่งไม่มีเครื่องในการคัด เนื่องจากจะมีการคัดเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์มาก ๆ ออกเท่านั้น ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก โดยการคัดกาแพะลา 100 กิโลกรัม จะมีเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ประมาณ 0.5 กิโลกรัม การทำงานจึงต้องใช้แรงงานคนในการคัด ซึ่งยังมีลักษณะการทำงานยังไม่เหมาะสม ทำให้เกิดความเมื่อยล้าเมื่อทำการคัดเป็นเวลานาน ๆ การคัดเมล็ดกาแพทำได้ช้า ทำให้ได้ปริมาณการคัดที่ต่ำ ส่งผลต่อต้นทุนที่สูงขึ้น

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการคัดเมล็ดกาแพะลาโดยการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา โดยใช้เทคนิค ECRS และการยศาสตร์ เพื่อหาวิธีการในการทำงานและออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์มาช่วยคัดแยกเมล็ดกาแพะลาที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ได้วิธีการทำงานที่ดีขึ้น ได้เวลามาตรฐานในการทำงาน ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน ลดความเมื่อยล้าและต้นทุนในการคัดเมล็ดกาแพะลา ส่งผลต่อการสร้างความสามารถในการแข่งขันและผลกำไรที่มากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเมล็ดกาแพะลาโดยใช้เทคนิค ECRS และการยศาสตร์ กรณีศึกษาเกษตรกรบ้านแม่จันทอง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

3. วิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิจัย

ในการศึกษาในครั้งนี้จะทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน และหาเวลามาตรฐานโดยการจับเวลาโดยตรง ซึ่งใช้หลักการ ECRS และการยศาสตร์ โดยทำการเก็บข้อมูลการคัดเมล็ดกาแพะของเกษตรกรบ้านแม่จันทอง ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ที่ทำการขายกาแพะลาให้กับโครงการหลวงจำนวน 30 ราย คัดเลือกตัวอย่างโดยวิธีเจาะจงจำนวน 5 ราย ในช่วงเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะเริ่มจากการมีเมล็ดที่จะคัดอยู่บนโต๊ะ แล้วทำการแยกเมล็ดที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ลงกระสอบ โดยมีวิธีการศึกษา ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล

1) แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์การทำงานของพนักงาน เป็นการบันทึกการทำงานของมือซ้าย - มือขวา

2) กล้องบันทึกวิดีโอ เพื่อทำการบันทึกการเคลื่อนไหวของกระบวนการต่าง ๆ ในการคัดเมล็ดกาแพ ทำให้สามารถดูซ้ำและใช้ในการตรวจสอบข้อมูลในแบบบันทึกการทำงานของมือซ้าย - มือขวา

3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) สังเกตกระบวนการทำงานของการคัดเมล็ดกาแพและขั้นตอนต่าง ๆ ของการทำงาน สังเกตการทำงานของมือซ้าย - มือขวา ของเกษตรกรที่ทำการคัดเลือกจำนวน 5 ราย แล้วบันทึกลงในแผนภูมิมือซ้าย - มือขวา

2) สัมภาษณ์เกษตรกรหรือพนักงานที่ทำการคัดเลือกจำนวน 5 ราย ถึงวิธีในการคัดเมล็ดกาแฟกะลา ปัญหาที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น โดยมีการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ และบันทึกเสียงในการสัมภาษณ์

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) จากแผนภูมิมือซ้าย - มือขวา ของการทำงานก่อนการปรับปรุง ทำการจับเวลาเบื้องต้นจำนวน 10 ครั้ง แล้วคำนวณหาจำนวนตัวอย่างของการบันทึกเวลา หากจำนวนยังไม่เพียงพอ ก็จะมีการจับเวลาเพิ่ม

2) ทำการวิเคราะห์ปัญหาของการคัดเมล็ดกาแฟและความสูญเสียของกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็น พร้อมหาแนวทางในการแก้ปัญหาโดยนำแนวคิดหลัก ECRS คือการกำจัด การรอคอย การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำ ลดลงจากเดิม การจัดลำดับใหม่เพื่อลดการเคลื่อนที่ไม่จำเป็น และการปรับปรุงการทำงานให้ง่าย และสะดวกขึ้น และหลักการยศาสตร์ที่คำนึงถึงท่าทางหรืออิริยาบถการทำงานของคน รวมถึงการจัดสถานที่ทำงานให้เหมาะสม ซึ่งในการคัดเมล็ดกาแฟกะลานี้จะทำการคัดเลือกบนโต๊ะ จึงจะทำการออกแบบโต๊ะที่มีพื้นที่การทำงานที่เหมาะสม และลดการเคลื่อนที่ของพนักงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดีขึ้น

3) ทำการทดลอง แนวทางในการแก้ปัญหา โดยจะทำการทดลองคัดเมล็ดกาแฟวิธีใหม่ หลังการปรับปรุงบนโต๊ะที่ได้ทำการออกแบบ โดยทดลองคัดกาแฟกะลาจำนวน 1 กิโลกรัม ที่มีของเสียร้อยละ 0.5 เมื่อได้วิธีทำงานที่ปรับปรุง ทำการบันทึกลงในแผนภูมิมือซ้าย - มือขวา แล้วทำการคัดเมล็ดกาแฟกะลาและจับเวลาเบื้องต้นจำนวน 10 ครั้ง แล้วคำนวณหาจำนวนตัวอย่างของการบันทึกเวลาหากจำนวนยังไม่เพียงพอ ก็จะมีการจับเวลาเพิ่ม

4) หาค่าเฉลี่ย ประเมินค่าอัตราความเร็วของคนงานจากตารางค่าอัตราความเร็ว โดยประเมินจากคะแนนขององค์ประกอบ 4 ตัว คือ ทักษะ ความพยายาม สภาพแวดล้อมในการทำงานและความสม่ำเสมอ เพื่อนำมาคำนวณหาเวลาปกติ หลังจากนั้นทำการกำหนดเวลาเผื่อ (Rijirawanich, 2005) โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ เวลาเผื่อสำหรับบุคคล เวลาเผื่อสำหรับความล่าช้า เวลาเผื่อสำหรับความเครียดตามลักษณะงานโดยดูจากตารางเวลาเผื่อตามการศึกษาของ ILO (International Labour Organization) เมื่อได้เวลาปกติและเวลาเผื่อจึงนำมาคำนวณหาเวลามาตรฐานของการทำงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

5) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแนวทางในการแก้ปัญหากับการทำงานก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง สรุปและอภิปรายพร้อมข้อเสนอแนะในการวิจัย

4. ผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การคัดเมล็ดกาแฟก่อนการปรับปรุง

จากการศึกษาการคัดเมล็ดกาแฟของเกษตรกรตามภาพที่ 1 และตารางที่ 1 แผนภูมิมือซ้าย - มือขวา แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงแก้ไขทั้งกระบวนการทำงาน อุปกรณ์ในการทำงาน ซึ่งสามารถลดการรอคอยและการเคลื่อนที่ โดยนำหลักทฤษฎี ECRS และหลักการวิทยาศาสตร์ มาปรับปรุงในขั้นตอนที่ว่าง การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น และลักษณะการทำงานที่ทำให้เกิดอาการเมื่อยล้าได้



ภาพที่ 1 การคัดเมล็ดกาแฟของเกษตรกร

ตารางที่ 1 แผนภูมิมือซ้าย - มือขวา ของการคัดเมล็ดกาแฟก่อนการปรับปรุง

แผนภูมิมือซ้าย - มือขวา			
คัดเมล็ดกาแฟ		วิธีเดิม	
		มือซ้าย	มือขวา
การทำงาน	○	5	4
การตรวจสอบ	□	-	1
การเคลื่อนที่	➡	6	4
การรอ	D	5	7
การพักหยุด	▽	-	-
รวม		16	16
รายละเอียด			
มือซ้าย		มือขวา	
1. เคลื่อนไปใกล้กองเมล็ดกาแฟ	➡	➡	1. เคลื่อนไปที่กองเมล็ดกาแฟ
2. รอเมล็ดกาแฟ	D	□	2. เปลี่ยนเลือกเมล็ดกาแฟที่เสีย
3. รอเมล็ดกาแฟ	D	○	3. หยิบเมล็ดกาแฟที่เสีย (ทำวนขั้นตอนที่ 1 - 2 จนเต็มมือ)
4. รอเมล็ดกาแฟ	D	➡	4. เคลื่อนไปหามือซ้าย
5. รอเมล็ดกาแฟ	D	○	5. ปล่ยเมล็ดกาแฟ

ตารางที่ 1 แผนภูมิมือซ้าย - มือขวา ของการคัดเมล็ดกาแฟก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

แผนภูมิมือซ้าย - มือขวา			
รายละเอียด			
มือซ้าย		มือขวา	
6. ถีอเมล็ดกาแฟ	D	➡	6. เคลื่อนไปที่กองเมล็ดกาแฟ (ทำวนขั้นตอนที่ 2 - 5 จนกว่าเมล็ดกาแฟจะเต็มมือซ้าย)
7. นำเมล็ดกาแฟที่เสียไปใส่ในภาชนะ	➡	D	7. ว่าง
8. ปล่อยเมล็ดกาแฟลงภาชนะ (ทำวน 1 - 7 จนกว่าจะคัดหมด)	○	D	8. ว่าง (ทำวน 1-7 จนกว่าจะคัดหมด)
9. เคลื่อนไปที่กะละมังสำหรับใส่กาแฟที่สมบูรณ์	➡	D	9. ว่าง
10. จับกะละมัง	○	D	10. ว่าง
11. เคลื่อนที่ไปรอรับเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์	➡	D	11. ว่าง
12. จับกะละมังรับเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์จนหมด	○	○	12. โยกเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์ใส่กะละมังจนหมด
13. เคลื่อนกะละมังไปที่กระสอบ	➡	➡	13. เคลื่อนกะละมังไปที่กระสอบ
14. ปล่อยเมล็ดกาแฟลงกระสอบ	○	○	14. ปล่อยเมล็ดกาแฟลงกระสอบ
15. เคลื่อนที่ไปเก็บกะละมัง	➡	D	15. ว่าง
16. ปล่อยกะละมัง	○	D	16. ว่าง

จากตารางที่ 1 ในการคัดเมล็ดกาแฟละ 1 กิโลกรัม ขั้นตอนที่ 1 - 8 เป็นขั้นตอนในการคัดเมล็ดกาแฟจะใช้เวลาเฉลี่ย 2.22 นาที ส่วนขั้นตอนที่ 9 - 16 เป็นขั้นตอนในการเอาเมล็ดกาแฟไปใส่ในกระสอบจะใช้เวลาเฉลี่ย 0.76 นาที

จากการจับเวลาเบื้องต้นการคัดเมล็ดกาแฟละ 5 กรัม ในกาแฟที่สมบูรณ์จำนวน 1 กิโลกรัม โดยวิธีทำงานก่อนการปรับปรุง 10 ครั้ง เพื่อหาวิธีในการปรับปรุงการทำงาน ซึ่งได้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 2.98 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2 จากการศึกษาเวลาเบื้องต้น ทำการหาจำนวนขนาดตัวอย่างหรือจำนวนวัฏจักรของการบันทึกเวลา โดยการคำนวณค่า $\frac{H-L}{H+L}$ กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และระดับความผิดพลาด (Rijirawanich, 2005)

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการคัดเมล็ดกาแฟ 1 กิโลกรัม วิธีการเดิม

ครั้งที่											เวลาเฉลี่ย (นาท)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
เวลา (นาท)	3.30	2.98	2.83	3.33	3.05	2.88	2.87	2.87	2.73	2.92	2.98

รายละเอียดการคำนวณจำนวนรอบในการจับเวลา ดังนี้

หาค่าสูงสุด (H) และค่าต่ำสุด (L)

$$H - L = 3.33 - 2.73 = 0.6 \text{ นาที และ } H + L = 3.33 + 2.73 = 6.06 \text{ นาที}$$

$$\text{คำนวณหาค่า } \frac{H-L}{H+L} = \frac{0.6}{6.06} = 0.10$$

จากตารางหาค่าจำนวนรอบที่เหมาะสมที่ขนาดตัวอย่าง คือ 10 และค่า $\frac{H-L}{H+L} = 0.10$

จากนั้นดูตารางการอ่านค่า N จากค่า $\frac{H-L}{H+L}$ จะได้จำนวนค่าที่ต้องจับเวลาอย่างน้อย 7 รอบ ผลที่ได้จากการคำนวณรอบการจับเวลา แสดงให้เห็นว่าการจับเวลาที่จำนวน 10 รอบนั้นเพียงพอแล้ว

4.2 แนวทางการแก้ไขปัญา

1) การนำหลักการ ECRS มาปรับใช้

(1) การกำจัด (Eliminate) จากตารางที่ 1 การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นในกระบวนการคัดเมล็ดกาแฟกล้านี้ควรกำจัดขั้นตอนของการนำเมล็ดที่คัดไปวางในมือซ้าย เพราะจากการสังเกตและจับเวลานั้น ในช่วงของการรอมเมล็ดนั้นทำให้เสียเวลา นอกจากนี้ควรกำจัดการเคลื่อนที่เพื่อเอาเมล็ดที่คัดเสร็จแล้วไปบรรจุกระสอบ เพราะจะมีการเคลื่อนที่ทำให้เสียเวลาและมีการก้มเพื่อเทเมล็ดที่สมบูรณ์ลงในกระสอบทำให้เกิดความเมื่อยล้า

(2) การทำให้ง่าย (Simplify) ทำโดยการสร้างโต๊ะให้พนักงานคัดเมล็ดกาแฟกล้านี้ ซึ่งเป็นโต๊ะที่มีความสูงพอดีกับระดับการทำงาน มีช่องปล่อยของ เมื่อพนักงานต้องการนำเมล็ดกาแฟที่คัดแล้วใส่กระสอบ สามารถโยกเมล็ดลงช่องปล่อยของที่มีกระสอบรองรับด้านล่าง ซึ่งสะดวกแก่การทำงานมากยิ่งขึ้น ไม่ต้องมีการเคลื่อนที่เพื่อเอาเมล็ดที่คัดแล้วไปใส่กระสอบ

2) การนำหลักการยศาสตร์มาปรับใช้

การนำหลักการยศาสตร์มาใช้โดยการปรับปรุงวิธีการเคลื่อนไหวการทำงาน ของพนักงาน โดยการให้มือทั้งสองทำงานอย่างเดียวกันในเวลาเดียวกัน การสร้างโต๊ะคัดเมล็ดกาแฟกล้านี้ พร้อมช่องปล่อยเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ มีการจัดพื้นที่ในการทำงานให้เหมาะสม ทำให้พนักงานไม่ต้องคอยเอื้อมคัดเมล็ด และหยิบจับภาชนะสำหรับใส่เมล็ดกาแฟกล้านี้ที่คัดเสร็จแล้ว ช่วยลดการเคลื่อนที่ไปที่กระสอบ และการก้มตัวลงขณะเอาเมล็ดที่สมบูรณ์ใส่ลงกระสอบ ซึ่งจะช่วยให้ลดอาการเมื่อยล้าของพนักงาน และช่วยให้พนักงานมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น มีการใช้เก้าอี้

ที่สามารถปรับระดับความสูงให้เหมาะสมกับการทำงานกับโต๊ะและพนักงานแต่ละคน นอกจากนี้เก้าอี้จะต้องสามารถหมุนและมีล้อเลื่อนเพื่อลดการหมุนตัวของคนงาน

4.3 การคัดเมล็ดกาแฟหลังการปรับปรุง

จากการศึกษาการคัดเมล็ดกาแฟหลังการปรับปรุง ทำการบันทึกขั้นตอนลงในแผนภูมิมือซ้าย - มือขวา ทำการคัดเมล็ดกาแฟโดยการนั่งคัดบนโต๊ะคัดเมล็ดกาแฟ ดังภาพที่ 2 และใช้มือทั้งสองข้างในการคัด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนภูมิมือซ้าย - มือขวา ของการคัดเมล็ดกาแฟหลังการปรับปรุง

แผนภูมิมือซ้าย-มือขวา			
คัดเมล็ดกาแฟ		วิธีใหม่ (หลังการปรับปรุง)	
		มือซ้าย	มือขวา
การทำงาน	○	2	2
การตรวจสอบ	□	1	1
การเคลื่อนที่	➡	4	4
การรอ	◐	0	0
การพักหยุด	▽	-	-
รวม		7	7

รายละเอียด			
มือซ้าย		มือขวา	
1. เคลื่อนไปที่กองเมล็ดกาแฟ	➡	➡	1. เคลื่อนไปที่กองเมล็ดกาแฟ
2. เกลี่ยเลือกเมล็ดกาแฟที่เสีย	□	□	2. เกลี่ยเลือกเมล็ดกาแฟที่เสีย
3. หยิบเมล็ดกาแฟที่เสีย (ทำวนขั้นตอนที่ 1 - 3 จนเต็มมือ)	○	○	3. หยิบเมล็ดกาแฟที่เสีย (ทำวนขั้นตอนที่ 1 - 3 จนเต็มมือ)
4. นำเมล็ดที่เสียไปใส่ในช่องปล่อยของด้านซ้าย	➡	➡	4. นำเมล็ดที่เสียไปใส่ในช่องปล่อยของด้านซ้าย
5. ปล่อยเมล็ดกาแฟลงช่องปล่อยของด้านซ้าย (ทำวน 1 - 5 จนกว่าจะคัดหมด)	○	○	5. ปล่อยเมล็ดกาแฟลงช่องปล่อยของด้านซ้าย (ทำวน 1 - 5 จนกว่าจะคัดหมด)
6. เคลื่อนไปที่กองเมล็ดกาแฟ	➡	➡	6. เคลื่อนไปที่กองเมล็ดกาแฟ
7. โยกเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์ลงช่องปล่อยของด้านขวา (ทำวน 6 - 7 จนเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์หมด)	➡	➡	7. โยกเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์ลงช่องปล่อยของ ด้านขวา (ทำวน 6 - 7 จนเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์หมด)

จากตารางที่ 3 ในการคัดเมล็ดกาแฟกะลาหลังการปรับปรุงจำนวน 1 กิโลกรัม ขั้นตอนที่ 1 - 5 เป็นขั้นตอนในการคัดเมล็ดกาแฟกะลาจะใช้เวลาเฉลี่ย 1.88 นาที ส่วนขั้นตอนที่ 6 - 7 เป็นขั้นตอนในการเอาเมล็ดกาแฟไปใส่ในกระสอบจะใช้เวลาเฉลี่ย 0.70 นาที



ภาพที่ 2 โต๊ะที่ออกแบบเพื่อใช้ในการคัดเมล็ดกาแฟ

จากภาพที่ 2 โต๊ะขนาด 1.2×1.2 เมตร สามารถรองรับการทำงานของพนักงาน 2 คน โดยจะมีช่องปล่อยเมล็ดกาแฟกะลาที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ โดยมีกระสอบรองรับอยู่ด้านล่าง



ภาพที่ 3 การคัดเมล็ดกาแฟบนโต๊ะคัดเมล็ดกาแฟ (หลังปรับปรุง)

ตารางที่ 4 การจับเวลาการคัดเมล็ดกาแฟหลังการปรับปรุง

ครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เวลาเฉลี่ย (นาที)
เวลา (นาที)	2.45	2.67	2.67	2.32	2.63	2.55	2.58	2.75	2.52	2.70	2.58

จากตารางที่ 4 คำนวณหาจำนวนรอบในการจับเวลา จากค่า $\frac{H-L}{H+L}$ ได้ค่าเท่ากับ $\frac{2.75 - 2.32}{2.75 + 2.32} = 0.086$ เปิดตารางได้จำนวนรอบเท่ากับ 7 เช่นเดียวกับวิธีก่อนการปรับปรุง แสดงว่าเวลาที่จับมาเพียงพอแล้ว

ค่าประเมินความเร็ว (Rating Factor) หลังการปรับปรุง

$$\begin{aligned} \text{ค่าประเมินความเร็ว (Rating Factor)} &= \text{ทักษะ (Skill)} + \text{ความพยายาม (Effort)} + \\ &\text{ความสม่ำเสมอ (Consistency)} + \text{สภาวะในการทำงาน (Condition)} \\ &= (+0.06) + (+0.02) + (-0.02) + (0.00) \\ &= 0.06 \end{aligned}$$

การหาเวลาปกติ (Normal Time) หลังปรับปรุง (คัดบดโตะคัดเมล็ดกาแฟ)

$$\begin{aligned} \text{เวลาปกติ} &= \text{เวลาเฉลี่ย (Selected Time)} \times \text{ค่าประเมินความเร็ว (Rating Factor)} \\ &= 2.58 \times 1.06 = 2.73 \text{ นาที} \end{aligned}$$

การกำหนดเวลาเผื่อ

- เวลาเผื่อสำหรับบุคคล (Personal Allowance) = 5%
- เวลาเผื่อสำหรับความล่าช้า (Delay or Contingency) = 5%
- เวลาเผื่อสำหรับความเครียดตามลักษณะงาน ดูจากตารางเวลาเผื่อตามการศึกษา

ของ ILO โดยคิดเป็น % ของ Normal time หลังปรับปรุง = (Fairly complex + Medium)

$$\text{ผู้ชาย} = 1 + 1 = 2\% \quad \text{ผู้หญิง} = 1 + 1 = 2\% \quad \text{ค่าเฉลี่ยเท่ากับ } 2\%$$

การหาเวลามาตรฐาน หลังปรับปรุง (คัดบดโตะคัดเมล็ดกาแฟ)

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร เวลามาตรฐาน} &= \text{เวลาปกติ} (1 + (\% \text{ เวลาเผื่อ})) \\ &= 2.73 \times (1 + (0.12)) \\ &= 3.06 \text{ นาที} \end{aligned}$$

การหาเวลามาตรฐาน ก่อนปรับปรุง (คัดบดโตะธรรมดา)

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร เวลามาตรฐาน} &= \text{เวลาเฉลี่ย (Selected Time)} \times \text{ค่าประเมินความเร็ว (Rating Factor)} \times (1 + (\% \text{ เวลาเผื่อ})) \\ &= 2.98 \times 1.06 \times (1 + 0.12) \\ &= 3.54 \text{ นาที} \end{aligned}$$

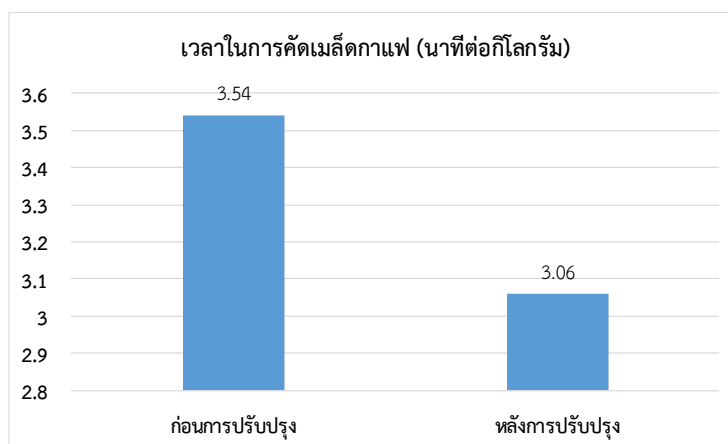
ในการคัดเมล็ดกาแฟกลาก่อนปรับปรุง เมล็ดกาแฟที่ใช้ 1 กิโลกรัม จะใช้เวลาเฉลี่ย 3.54 นาที ถ้าหากคัดเมล็ดกาแฟในเวลา 1 ชั่วโมง จะสามารถคัดเมล็ดกาแฟได้ประมาณ 16.95 กิโลกรัม และหากใช้เวลาคัดเมล็ดกาแฟในการทำงาน 8 ชั่วโมง จะสามารถคัดเมล็ดกาแฟได้ ประมาณ 135.6 กิโลกรัม

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพการคัดเมล็ดกาแฟกลา สามารถลดเวลายามาตรฐานของ พนักงานจากเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 3.54 นาทีต่อกิโลกรัม เหลือ 3.06 นาทีต่อกิโลกรัม ซึ่งเวลาลดลงเฉลี่ย 0.48 นาทีต่อกิโลกรัม ทำให้พนักงานสามารถคัดเมล็ดกาแฟกลาในเวลา 1 ชั่วโมง ได้ประมาณ 19.61 กิโลกรัม จากเดิม 16.95 กิโลกรัม และในชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมงของการทำงานใน 1 วัน จะสามารถคัดเมล็ดกาแฟกลาได้ประมาณ 156.9 กิโลกรัมจากเดิม 135.6 กิโลกรัม

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกเมล็ดกาแฟกลาอาราบิก้า ผู้วิจัยได้ ทำการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา การทำแผนภูมิมือซ้าย-มือขวา มาวิเคราะห์หาแนวทางการ ปรับปรุงในกระบวนการทำงาน โดยใช้หลักการ ECRS โดยกำจัดขั้นตอนของการนำเมล็ดที่คัด ไปวางในมือซ้าย ทำให้เกิดการรอ และการออกแบบการทำงานให้ง่ายขึ้น ใช้หลักการยศาสตร์ ในการออกแบบโต๊ะคัดเมล็ดกาแฟกลา ซึ่งเป็นโต๊ะที่มีความสูงพอดีกับระดับการทำงาน มีช่องปล่อย เมล็ดกาแฟกลาที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ โดยโต๊ะที่ออกแบบนี้พื้นโต๊ะและช่องปล่อยทำมาจาก สแตนเลสมีต้นทุน 5,500 บาท มีการจัดพื้นที่ในการทำงานที่เหมาะสมไม่ให้เกิดการเอื้อม ทำงานร่วมกับ แก้วที่สามารถปรับความสูง หมุนและเลื่อนไปมาได้ โดยก่อนการปรับปรุงมีขั้นตอนการคัดเมล็ดกาแฟ 16 ขั้นตอน ภายหลังจากการปรับปรุงมีขั้นตอนการคัดเมล็ดกาแฟ 7 ขั้นตอน ซึ่งสามารถลดขั้นตอน การคัดเมล็ดกาแฟกลาก่อนการปรับปรุงได้ 9 ขั้นตอน โดยเฉพาะขั้นตอนในการรอและการเคลื่อนที่ เอาเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์ไปไว้ในกระสอบ



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาในการคัดเมล็ดกาแฟก่อนและหลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 4 เวลามาตรฐานในการตัดเมล็ดกาแฟหลังการปรับปรุง จะมีค่าน้อยกว่าก่อนการปรับปรุง 0.48 นาทีต่อกิโลกรัม ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการตัดเมล็ดกาแฟของพนักงานได้ร้อยละ 13.6 ซึ่งถ้าหากคิดค่าแรงที่ 300 บาทต่อวัน ผลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้ต้นทุนในการตัดเมล็ดกาแฟลดลงจาก 2.21 บาทต่อกิโลกรัม เหลือ 1.91 บาทต่อกิโลกรัม ลดลงได้ 0.3 บาทต่อกิโลกรัม

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษานี้พบว่าสามารถลดขั้นตอนและเวลาในการตัดแยกเมล็ดกาแฟกะลา โดยใช้หลักการหลักการ ECRS และการยศาสตร์ เพื่อให้ได้วิธีการทำงานและเวลามาตรฐานการทำงาน ซึ่งหลักการทั้งหมดนี้เป็นหลักการที่สำคัญที่นำมาคำนวณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยสามารถลดเวลาได้ทั้งในส่วนของการกระบวนการตัดกาแฟกะลาโดยใช้สองมือในการทำงาน และลดการเคลื่อนไหวในการนำเมล็ดกาแฟกะลาที่สมบูรณ์นำไปเก็บไว้ในกระสอบ ซึ่งช่วยลดความเมื่อยล้าจากการก้มลงเอากาแฟบรรจุลงกระสอบในแต่ละครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในการคัดผลผลิตทางการเกษตรที่คล้ายคลึงกัน เรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล (Luesak & Sanguanpang, 2017) ที่ใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม คือ การศึกษางาน การจับเวลา แผนผังสาเหตุและผล เทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อลดความสูญเสีย เช่นเดียวกับการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไม้กวาดดอกหญ้า (Iniam et al., 2023) ที่ใช้การศึกษางาน แผนภูมิกระบวนการ แผนผังก้างปลา และหลัก ECRS ซึ่งช่วยให้ลดกิจกรรมการเคลื่อนไหวและเวลาในการผลิตลง

ในส่วนของการนำแผนภูมิมือซ้าย - มือขวา มาเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงกระบวนการทำงานที่มีความละเอียดร่วมกับหลักการ ECRS ซึ่งหลังจากการปรับปรุงสามารถลดระยะเวลาในการตัดเมล็ดกาแฟได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต กรณีศึกษาสายการบรรจุผลิตภัณฑ์แป้ง (Sunarak, 2016) ที่ทำการดัดแปลงหลักการของการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา แผนภูมิมือซ้าย - ขวา ร่วมกับหลัก ECRS รวมถึงการออกแบบเครื่องมือเพื่อช่วยในการปฏิบัติงาน และในส่วนของการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาและหลักการยศาสตร์ ก่อนการปรับปรุงมีขั้นตอนการทำงานในการตัดเมล็ดกาแฟที่มาก พื้นที่ในการทำงานไม่เหมาะสม และใช้มือเดียวในการตัด ซึ่งทำการปรับปรุงโดยใช้มือทั้งสองข้างช่วยคัดและใช้โต๊ะตัดเมล็ดกาแฟเพื่อลดความเมื่อยล้าและการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการประกอบผลิตภัณฑ์ของเล่นไม้ยางพารา ด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา และหลักการยศาสตร์ (Rawangwong et al., 2017) โดยได้นำเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา เทคนิค ECRS และหลักการยศาสตร์ มาทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานและออกแบบโต๊ะและเก้าอี้ตามหลักการยศาสตร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการสนับสนุนการวิจัย จากงบประมาณกองทุนสนับสนุนงานวิจัย เพื่อการพัฒนา ประจำปี พ.ศ.2564 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

7. เอกสารอ้างอิง

- Iniam, C., Liewtrakul, P. & Ramanchit, S. (2023). The Optimization of Grass Brooms Production: A Case study of Ban Talay Bok Community, Ban Talay Subdistrict, Don Chedi District, Suphanburi Province. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 16(1), 1-13. (in Thai).
- Luesak, P. & Sanguanpang, S. (2017). Process improvement of separating seeds roselle using ECRS technique. *Naresuan University Engineering Journal*, 12(2), 41-54. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2021). *Coffee: The cultivation area, yield, and productivity per Rai, aggregated by country, region, and province in 2020*. [online], Available: [https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/coffee63\(2\).pdf](https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/coffee63(2).pdf). access on March 24, 2021. (in Thai)
- Rawangwong, S., Homkhiew, C., Sani, S., Rodjananugoon, J., Tehyo, M. (2020). Efficiency improvement in assembly rubber wooden toys using motion and time study and principles of ergonomics: A case study of a sample factory. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 12(2), 97-112. (in Thai).
- Rijirawanich, W. (2005). *Work study: Principle and case study* (4th ed). Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai).
- Sunarak, T. (2016). Production line efficiency improvement: The case study of powder product packing line. *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 2(3), 51-60. (in Thai).
- Techanant, P. (2017). *Quality of Arabica coffee seeds and some soil properties under various forms of cultivation by Akkha ethnic group at Baan Maipattana, Wawee Sub-District, Maesuy District, Chiang Rai Province*. [Unpublished Master Thesis]. Maejo University (in Thai).

การพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ โดยใช้สารอินทรีย์

Development of Energy Storage Technology using Organic Redox Battery

อดิศร ทยมา^{1*}

Adisorn Thomya^{1*}

^{1*}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 ถนนลำปาง - แม่ทะ บ้านหนองหัวหงอก หมู่ที่ 9 ตำบลชมพู
อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100 โทร 08 0496 5738 โทรสาร 0 5424 1079 E-mail: adisorn2@hotmail.com

^{1*}Faculty of Industry Technology Lampang Rajabhat University

119 Moo 9, Lampang - Mae Tha Road, Chompoo Subdistrict, Mueang Lampang District, Lampang Province,
Thailand 52100

วันที่รับบทความ 8 ธันวาคม 2566

Received: Dec. 8, 2023

วันที่รับแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2566

Revised: Dec. 20, 2023

วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2566

Accepted: Dec. 20, 2023

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของแหล่งพลังงานทดแทนที่ไม่แน่นอน เช่น พลังงานลม และแสงอาทิตย์ ทำให้อุปกรณ์เก็บพลังงานมีความจำเป็นในการรักษาคุณภาพไฟฟ้า และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดต้นแบบและวัดประสิทธิภาพ ของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งชุดต้นแบบรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ มีส่วนประกอบ ได้แก่ แผ่นปิดที่ทำจากอะลูมิเนียม, แผ่นสะสมกระแสที่ทำจากทองเหลือง, ช่องไหลที่เป็นแกรไฟต์ และเยื่อเลือกผ่าน Nafion® 117 ที่ถูกพ่นด้วย Pt/C 20% โดยใช้เทคนิคการพ่นแบบอัลตราโซนิกส์ และมี anthraquinone-2-sulfonic acid (AQS) และ 1,2-benzoquinone-3,5-disulfonic acid (BQDS) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ เป็นอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้อาโนด และแคโทดตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของช่องการไหลแบบ Parallel Channel ที่ Stage of Charge (SOC) ที่ 100% พบว่าอัตราการไหลที่ 300 ml/min มีแรงดันไฟฟ้ามากกว่าอัตราการไหลที่ 400 และ 500 ml/min อยู่ที่ 2.31V และที่อัตราการไหล 500 ml/min มีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 231.36 mA ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของช่องการไหลแบบ Serpentine Channel ที่ SOC 100% พบว่า อัตราการไหลที่ 500 ml/min มีแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 1.59 V และที่อัตราการไหลที่ 400 ml/min มีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 484.75 mA ผลของการทดสอบพบว่าที่ช่องการไหลแบบ Serpentine Channel ที่อัตราการไหล 500 จะมีสมรรถนะของเซลล์รีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ดีที่สุด เพราะว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าได้จะมีสมรรถนะ

การทำงานของเซลล์รีดอกซ์โฟลว์แบตเตอรี่ที่ดีที่สุด มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 19.2 mW และกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.04 แอมแปร์ ที่ประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 55.81

คำสำคัญ: รีดอกซ์โฟลว์แบตเตอรี่, สารอินทรีย์, ประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้า, สรรณะ

Abstract

The demand and installation capacity for alternative intermittent energy sources such as photovoltaic and wind energy are increasing, but such energy sources require a secondary power source such as a battery to maintain grid reliability and power quality. This research aimed to develop the prototype and evaluate the performance of an organic electrolyte redox flow battery. The redox flow battery prototype in this study was made of aluminum endplates, a brass current collector, a graphite flow field, and a Nafion® 117 membrane coated with Vulcan carbon using the ultrasonic spray technique. Anthraquinone-2-sulfonic acid (AQS) and 1,2-benzoquinone-3,5-disulfonic acid (BQDS) were used as the anode and cathode organic electrolytes, respectively.

The results of comparing the flow rate of the parallel channel at Stage of Charge (SOC) at 100% showed that the flow rate of 300 mL/min had a higher voltage than the flow rates of 400 and 500 mL/min. At 2.31V, and a flow rate of 500 mL/min, the maximum current was 231.36 mA. Comparing the flow rate of the Serpentine Channel SOC at 100%, it was found that the flow rate of 500 mL/min had the highest voltage equal to 1.59 V, and the flow rate of 400 mL/min had the highest current of 484.75 mA. The Serpentine Channel test, at a flow rate of 500 mL/min, had the best redox flow battery cell performance. Due to its power value, it had the best performance of the redox flow battery cells. With an electric power of 19.2 mW and a maximum current of 0.04 amperes, it possessed an electric potential efficiency of 55.81%.

Keywords: Redox flow batteries, Organic matters, Voltage efficiency, Performance

1. บทนำ

แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว เป็นที่นิยมในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แต่มีข้อเสียในเรื่องของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ประมาณ 5 ปี และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อหมดอายุการใช้งานจากกรดตะกั่ว ทำให้มีการศึกษางานวิจัยหาแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้ารูปแบบใหม่เพื่อทดแทนแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว ซึ่งจากการศึกษามีหลากหลายเทคโนโลยี

โดยเทคโนโลยีที่เหมาะสม ในปี ค.ศ.2014 Yang, B. และคณะ ได้ทำการศึกษารีดอกซ์แบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอินทรีย์ หรือ Organic Redox Flow Battery (ORBAT) โดยมีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลาย 1,2-benzoquinone-3,5-disulfonic acid (BQDS) ในขั้วบวกหรือขั้วแคโทด และสารละลาย anthraquinone-2-sulfonic acid (AQS) ในขั้วลบหรือขั้วแอโนด มีแกรไฟต์เป็นแผ่นปิด มีพื้นที่ทำปฏิกิริยา 25 cm^2 มีอัตราการไหลของอิเล็กโทรไลต์ $0.5 - 1.0 \text{ L/min}$ และมี Nafion 117 เป็นเยื่อเลือกผ่านพบว่า เมื่อใช้สารละลาย BQDS ความเข้มข้น 0.2 M และ AQS ความเข้มข้น 0.2 M ที่ State Of Charge 100% และอัตราการไหล 250 mL/min จะมีศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.7 V และศักย์ไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 0.3 V เมื่อจ่ายกระแสประมาณ 17 mA จากนั้นทำการเปลี่ยนสารเคมีในขั้วลบจาก AQS เป็น AQDS ที่ความเข้มข้นเท่าเดิม พบว่า ที่ State Of Charge 100% และอัตราการไหล $1,000 \text{ mL/min}$ จะมีศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด ประมาณ 0.75 V และเมื่อดึงกระแสประมาณ 25 mA จะมีศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.1 V โดยจะมีความหนาแน่นกำลังสูงสุดที่ประมาณ 5.25 mW/cm^2 นอกจากนี้ยังพบว่า แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก เนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ไม่ใช่โลหะหนัก และไม่ต้องใช้โลหะเป็น Catalyst โดยคิวโนนมีความสามารถในการเก็บประจุประมาณ 500 Wh/kg และมีราคาประมาณ $\$5-10/\text{kg}$ หรือ $\$10-20/\text{kWh}$ ซึ่งทำได้ตามเป้าหมายของ US Department of Energy ที่กำหนดราคาไว้ไม่เกิน $\$100/\text{kWh}$ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดีทั้งในด้านราคาและการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในปี ค.ศ. 2017 (Anurak et al., 2017) ได้ทำการสร้างและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดต้นแบบรีดอกซ์แบตเตอรี่ ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งใช้ anthraquinone-2-sulfonic acid (AQS) และ 1,2-benzoquinone-3,5-disulfonic acid (BQDS) เป็นอิเล็กโทรไลต์ในด้านแอโนดและแคโทดตามลำดับ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดต้นแบบและวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอินทรีย์ ที่มีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 0.2 M 0.15 M 0.1 M และ 0.05 M และมีกระแสไฟฟ้าที่ใช้อัดและคายประจุ 0.125 A , 0.250 A , 0.375 A และ 0.5 A แล้วทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพประจุ ประสิทธิภาพแรงดัน และประสิทธิภาพพลังงาน ของรีดอกซ์แบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอินทรีย์ ศักยภาพของรีดอกซ์แบตเตอรี่ ที่ SOC ตั้งแต่ 0.9 ถึง 0.5 พบว่า ที่ SOC 0.9 รีดอกซ์แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 80 mA/cm^2 และมีกำลังสูงสุด 8 mW/cm^2 โดยกระแสและกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงเมื่อค่า SOC ของแบตเตอรี่ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต้านทานของ อิเล็กโทรไลต์ยังเปลี่ยนเมื่อค่า SOC ของรีดอกซ์แบตเตอรี่เปลี่ยนแปลง โดยค่าความต้านทานของ แบตเตอรี่จะแปรผกผันกับค่า SOC ของรีดอกซ์แบตเตอรี่ ตัวอย่างเช่น ที่ SOC 0.9 รีดอกซ์แบตเตอรี่มีความต้านทาน 0.25 โอห์ม และเพิ่มขึ้นเมื่อค่า SOC ของรีดอกซ์แบตเตอรี่ลดลง โดยที่ SOC 0.5 รีดอกซ์แบตเตอรี่มีความต้านทาน 1.8 โอห์ม

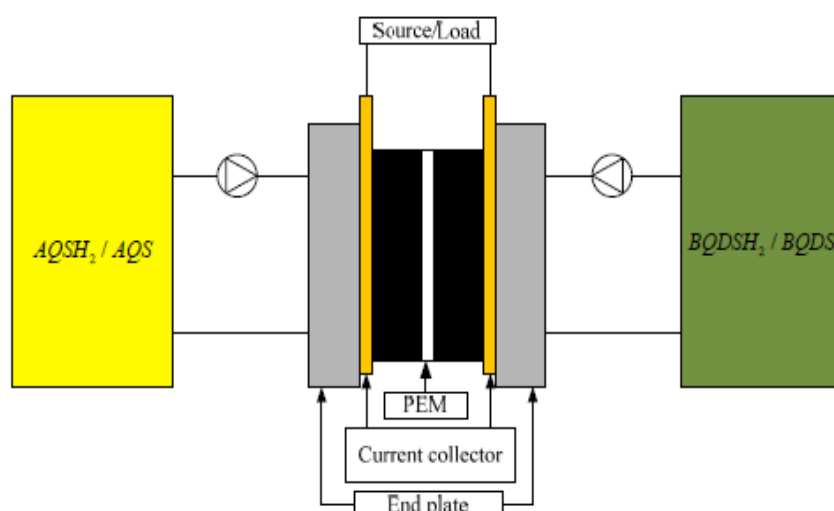
งานวิจัยจะทำการการศึกษาและพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานรีดอกซ์โพลีเมอร์ แบตเตอรี่ที่ใช้ anthraquinone-2-sulfonic acid (AQS) และ 1,2-benzoquinone-3,5-disulfonic acid (BQDS) เป็นสารตั้งต้น โดย AQS และ BQDS เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แตกต่างจากรีดอกซ์แบตเตอรี่ชนิดอื่นที่เป็นสารพิษ ที่นอกจากจะตอบสนองการเพิ่มขึ้นในขนาดของแหล่งพลังงานทดแทนที่มีความไม่แน่นอน เช่น พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมุ่งเน้นศึกษาการศึกษาช่องการไหลของสาร และอัตราการไหลของสารตั้งต้น ที่ส่งผลต่อการทำงานของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ โดยใช้สารอินทรีย์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสารเคมี เพื่อเพิ่มคุณภาพไฟฟ้าแก่ระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบพลังงานทดแทนที่มีความไม่แน่นอน รวมไปถึงการรักษาคุณภาพไฟฟ้าแล้ว ยังลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

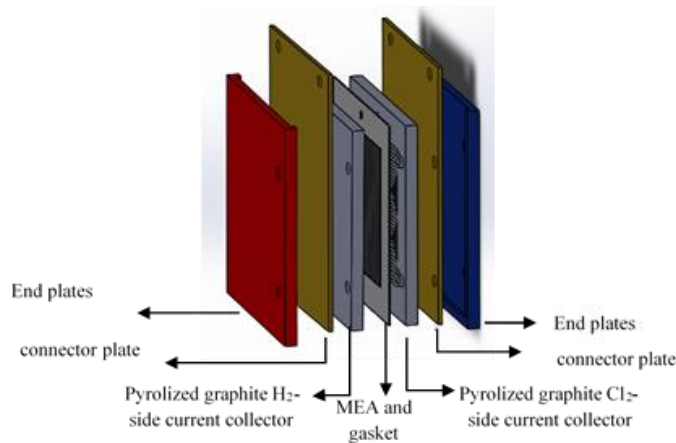
เพื่อศึกษาช่องการไหลของสารและอัตราการไหลของสารตั้งต้น ที่ส่งผลต่อการทำงานของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่โดยใช้สารอินทรีย์

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่

การทำงานของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ที่มีสารทำงานมี AQS และ BQDS ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง ทำงานโดยใช้ปั๊มสารทำงานผ่านช่อง Flow field ในขณะที่ทำการเก็บประจุ Charged และทำการคายประจุ Discharged ดังแสดงในภาพที่ 1

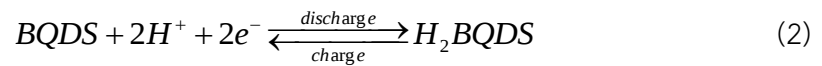
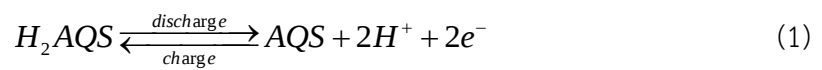


ภาพที่ 1 แผนผังการทำงานของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ที่ใช้สารอินทรีย์ (Anurak et al., 2017)



ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบในเซลล์เดี่ยว (Thomya and Khunatorn, 2020)

การอัดและคายประจุจะมีสมการที่ขั้วลบดังสมการที่ 1 และขั้วบวกดังสมการที่ 2 โดยเมื่อคายประจุ $AQSH_2$ ที่ขั้วลบจะแตกตัวเป็น AQS และ $2H^+$ โดย $2H^+$ จะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปรวมกับ $BQDS$ ได้ $BQDSH_2$ และเมื่ออัดประจุ $BQDSH_2$ จะแตกตัวเป็น $BQDS$ และ $2H^+$ โดย $2H^+$ จะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปรวมกับ AQS ได้สาร $AQSH_2$



รีดอกซ์โพลีเมอร์ที่มีอิเล็กโตรไลต์เป็น AQS และ $BQDS$ มีข้อด้อยคือมีศักย์ไฟฟ้าต่ำ โดยมีศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดที่ 0.86V และมีกระแสต่ำ ทำให้กำลังของเซลล์ต่ำตามไปด้วย แต่รีดอกซ์โพลีเมอร์ที่มีอิเล็กโตรไลต์เป็น AQS และ $BQDS$ มีข้อดีคือราคาไม่สูงมากนักเนื่องจากตัวเซลล์ไม่จำเป็นต้องใช้ แพลตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และสารละลาย AQS และ $BQDS$ เป็นสารอินทรีย์ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ส่วนประกอบที่สำคัญของรีดอกซ์โพลีเมอร์ที่มีสารทำงานเป็นสารอินทรีย์

การหาประสิทธิภาพการทำงานของรีดอกซ์โพลีเมอร์ โดยทั่วไปการวัดประสิทธิภาพของรีดอกซ์โพลีเมอร์ นิยมวัดจากประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้า (Voltage Efficiency, η_v) แสดงถึงการลดลงของพลังงานศักย์เมื่อเทียบกับพลังงานศักย์ทางทฤษฎี ดังนั้นประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้า ดังสมการที่ 3

$$\eta_v = \frac{V}{E} \quad (3)$$

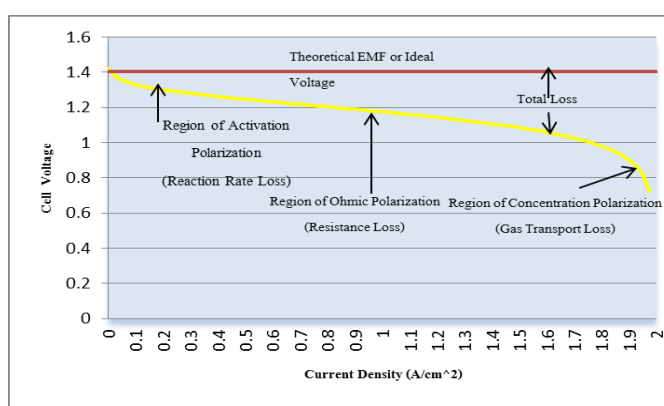
η_v คือประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้า,

V คือความค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จริง

E คือความค่าศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎี ($E = 0.86$ โวลต์)

การวิเคราะห์สมรรถนะของรีดออกซิฟอล์วแบตเตอรี่

การทำงานของรีดออกซิฟอล์วแบตเตอรี่ จะมีการวัดค่าออกมาอยู่ในรูปของความหนาแน่นกระแสคือปริมาณกระแสที่ได้ต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาภายในรีดออกซิฟอล์วแบตเตอรี่ ในหน่วย milli amperes per square centimeter (mA/cm^2) จากการทำงานของรีดออกซิฟอล์วแบตเตอรี่ สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานได้ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแส (I-V Characteristic Curve) ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Linden & Reddy, 2002)



ภาพที่ 3 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต่างศักย์กับความหนาแน่นกระแส

จากภาพที่ 3 แสดงความต่างศักย์ที่เซลล์ให้ออกมาจะลดลงเมื่อมีกระแสไหลมากขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์และความหนาแน่นกระแสควรจะเป็นเส้นตรงขนานกับแกนอน แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการทำงานของรีดออกซิฟอล์วแบตเตอรี่ ทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ ดังนี้ คือ

ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ออกมาขณะอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง ๆ ไม่เพียงพอ เรียกว่า reaction rate loss

ความต้านทานของ proton exchange membrane ทำให้ความสามารถในนำโปรตอนต่ำลง เรียกว่า resistance loss

ความต้านทานของชั้นการแพร่และตัวสะสมกระแส ทำให้ความสามารถในการนำอิเล็กตรอนต่ำลง เรียกว่า resistance loss

ผลเนื่องจากอัตราการแพร่ในกรณีที่สาร BQDS ผ่านชั้นการแพร่ไปสู่ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาขณะเดียวกันกับ BQDSH₂ กำลังไหลสวนทางออกมาทำให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง เรียกว่า gas transport loss

รีดออกซิฟอล์วแบตเตอรี่ ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนได้ถูกพัฒนาขึ้น ภายใต้สมการกฎอนุรักษ์พลังงาน สมการอนุรักษ์มวล และสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จาก

รีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่นั้นเกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีดังแสดงไว้ในภาพที่ 1 และจากความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสามารถนำมาแสดงดังสมการที่ 4 – 7

$$V = E_{thermo} - \Delta E_{act} - \Delta E_{ohmic} - \Delta E_{conc} \quad (4)$$

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงของรีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่

E_{thermo} คือ แรงดันไฟฟ้าทางเทอร์โมไดนามิกส์ของรีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่

ΔE_{act} คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการทำปฏิกิริยาเคมี

ΔE_{ohmic} คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการนำไฟฟ้าของวัสดุ

ΔE_{conc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการไหลของสารทำงาน

ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เกิดการสูญเสียสามารถหาได้จากสมการที่ดังนี้

$$E_{thermo} = E_{thermo}^0 - \left[\left(\frac{RT}{n_e F} \right) \ln \left(\frac{P_{HCl}}{P_{H_2} \times \sqrt{P_{Cl_2}}} \right) \right] \quad (5)$$

$$\Delta E_{act} = - \left(\frac{RT}{\alpha n_e F} \right) \ln(i_o) + \left(\frac{RT}{\alpha n_e F} \right) \ln(i) \quad (6)$$

$$\Delta E_{ohmic} = i(ASR_{ohmic}) \quad \Delta E_{conc} = \left(\frac{RT}{n_e F} \right) \ln \left(\frac{i_L}{i_L - i} \right) \quad (7)$$

E_{thermo}^0	คือ	แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์มีค่าเท่ากับ 0.86 V
R	คือ	ค่าคงที่ของแก๊ส (8.3144 J/mol K)
T	คือ	อุณหภูมิมีหน่วยเป็นเคลวิน K
n_e	คือ	จำนวนของอิเล็กตรอนต่อการทำปฏิกิริยาไอออนหรือโมเลกุล
F	คือ	ค่าคงที่ของ Faraday (96,500 C/mol)
P_{H_2BQDS}	คือ	ความดันย่อยของ BQDSH ₂
P_{AQS}	คือ	ความดันย่อยของ AQS
P_{BQDS}	คือ	ความดันย่อยของ BQDS

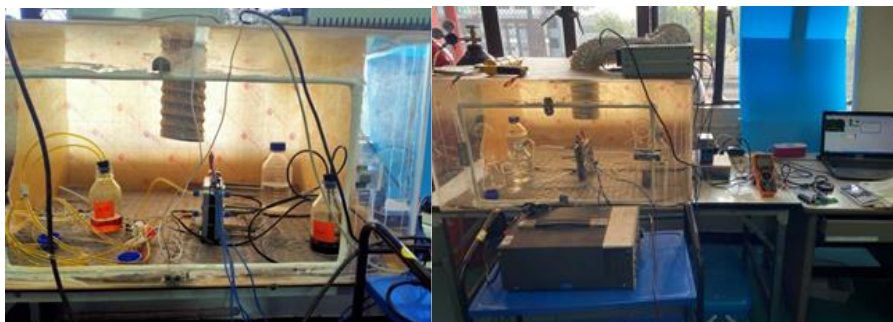
4. วิธีดำเนินการวิจัย

ต้นแบบรีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่ โดยใช้ AQS และ BQDS เป็นสารตั้งต้น ในบทความนี้แสดงในรูปที่ 1 - 2 endplates ทำจากแผ่น อะลูมิเนียม ตัวเก็บกระแส ทำจากทองเหลือง ช่องการไหล ทำจากกราฟไฟต์ที่มีพื้นที่ทำปฏิกิริยา 25 ตารางเซนติเมตร และแผ่นเมมเบรนใช้ Nafion® 117

เคลือบบน GDL (gas diffusion electrode) ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ ส่วนของ Pt /C 20% โหลดตัวเร่งปฏิกิริยา 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ของ Pt ผสม Nafion 210 ไมโครลิตร ที่ด้านแอโนดและแคโทดเคลือบบนเมมเบรนด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ endplates มีขนาด 11 cm x 11 cm พร้อมช่องไหล 2 แบบ คือ serpentine channel (ความกว้างของช่อง x ความลึก = 2 cm. X 2 cm. ระยะห่างระหว่างช่อง = 0.4 mm) และ Parallel channel (ความกว้างของช่อง x ความลึก = 2 cm X 2 cm. ระยะห่างระหว่างช่อง = 0.4 mm) ใช้เมมเบรน Nafion® 117 (หนา 0.178 mm.) และใช้ปะเก็นแบบ poly-tetrafluoroethylene (PTFE) เพื่อปิดผนึกการประกอบเซลล์ขนาดเกลียวแปดตัว (3/8 นิ้ว) แรงบิดในการขันน็อต 60 lbf·in เมื่อการประกอบเซลล์เสร็จสมบูรณ์ ทำการต่อท่อ PTFE ถูกใช้เพื่อส่งสารตั้งต้นเข้าและออกจากเซลล์ (Thomassen et al., n.d.)

การทดลองในการหาศักยภาพและประสิทธิภาพของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ จำเป็นต้องมีการควบคุมตัวแปรต้น และตัวแปรควบคุมให้คงที่ เพื่อให้ได้ตัวแปรตามหรือผลการทดลองที่ถูกต้อง โดยการออกแบบชุดทดสอบจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งชุดทดสอบจะมีส่วนประกอบอันได้แก่ เครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ (Battery Analyzer) รุ่น LaMantia® BA405 Battery Analyzer ใช้ในการประจุกระแสไฟฟ้า ในการคายประจุของแบตเตอรี่จะใช้เครื่อง TDI Transistor Devices® RBL 488 100-60-400 เป็นเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โหลด (Electronic load) บั๊มที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ Diaphragm pump สามารถควบคุมตัวแปรควบคุมซึ่งคืออัตราการไหล ที่เข้าสู่เซลล์ให้มีปริมาตรคงที่ 0 - 500 มิลลิตรต่อนาที

งานวิจัยนี้ จะเป็นการหาศักยภาพของชุดต้นแบบรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ ซึ่งศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลง Stage of Charge และ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ ที่ส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยการทดลองนี้จะมีการเปรียบเทียบช่องการไหลของสารตั้งต้นสองแบบ อัตราการไหลของสารละลายที่ 300 – 500 ml/min เป็นตัวแปรต้น และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่เป็นตัวแปรตาม นอกจากนี้การทดลองจะมีตัวแปรควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิของสารละลายจะกำหนดอยู่ที่ 25 °C ความเข้มข้นสารละลาย AQS และ BQDS จะกำหนดอยู่ที่ 0.2 M และอัตราการไหลของสารละลายจะกำหนดอยู่ที่ 100 ml ระบบทดสอบประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่เหมาะสมของถัง ให้ความชื้นด้านแคโทด ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่จำเป็น สำหรับการควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการทำงาน เช่น อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน อัตราการไหลและกระแสไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 4 – 7 ซึ่งผลการทดลองและข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์สมรรถภาพเซลล์รีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่



ภาพที่ 4 ชุดทดสอบสมรรถนะการทำงานของรีดอกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่



ภาพที่ 5 เทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ ของ Pt/C 20% โหลดตัวเร่งปฏิกิริยาบนเมมเบรน

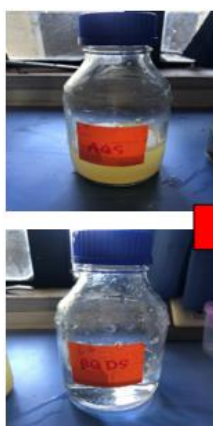


(ก)

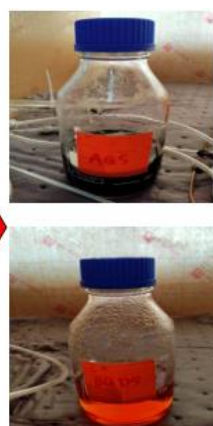


(ข)

ภาพที่ 6 (ก) ช่องการไหลของสารแบบ Parallel Channel (ข) ช่องการไหลของสารแบบ Serpentine channel



(ก)



(ข)

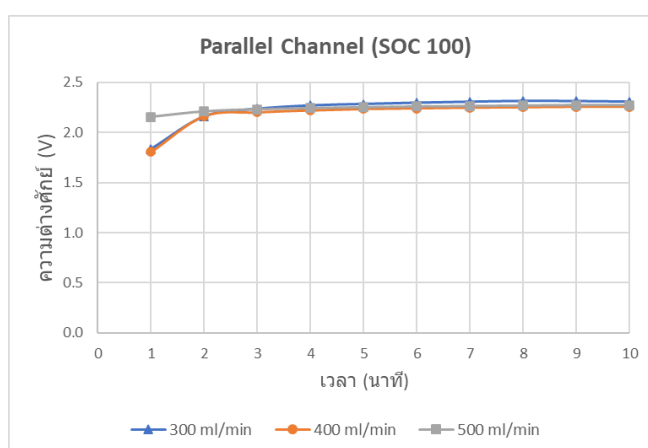
ภาพที่ 7 (ก) แสดงสาร AQS และสาร BQDS ก่อนทำการประจุไฟฟ้า (ข) แสดงสาร AQS และสาร BQDS หลังทำการประจุไฟฟ้า

จากภาพที่ 7 ก่อนการทดสอบอัตราการอัดและคายประจุไฟฟ้า พบว่า สีของสาร AQS เป็นสีเหลืองขุ่น และ BQDS เป็นสีขาวใส และเมื่อทดสอบการอัดและคายประจุเข้าไปสารทั้ง 2 เริ่มเปลี่ยนสีขึ้น โดยสาร AQS จะเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวเข้ม ส่วนสาร BQDS จะเริ่มกลายเป็นสีแดง เข้มจนกลายเป็นสีแดงจางลง

5. ผลการวิจัย

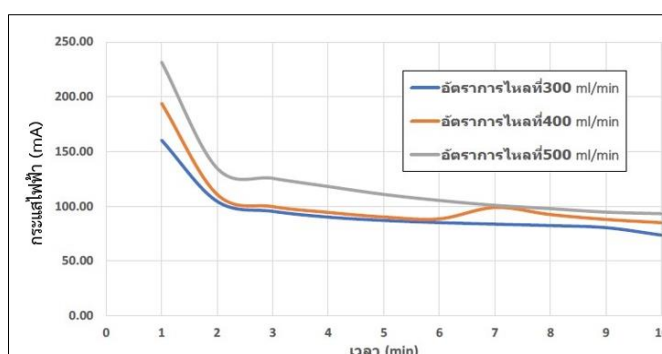
งานวิจัยนี้ศึกษาการทำงานของรีด็อกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ โดยใช้สารออกแกนิคเป็นสารตั้งต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาช่องการไหลและอัตราการไหลของสารตั้งต้น ที่ส่งผลต่อการทำงานของรีด็อกซ์โพลีเมอร์แบตเตอรี่ มีผลวิจัยดังนี้

ผลของการอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 A ที่ SOC 100% ที่ช่องการไหลแบบ Parallel Channel และอัตราการไหลต่าง ๆ



ภาพที่ 8 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ SOC 100%

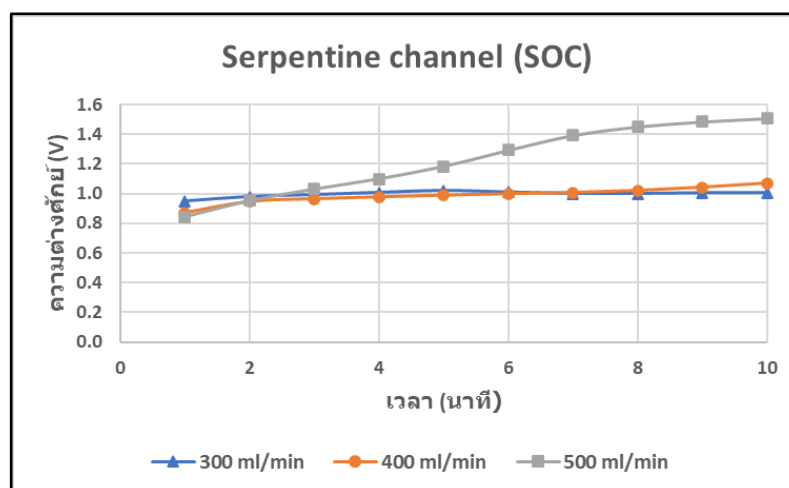
จากภาพที่ 8 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ SOC 100% พบว่าอัตราการไหลที่ 300 ml/min มีแรงดันไฟฟ้ามากกว่าอัตราการไหลที่ 400 และ 500 ml/min อยู่ที่ 2.31V



ภาพที่ 9 กราฟการเปรียบเทียบอัตราการไหล 300 400 และ 500 ml/min ที่ SOC 100%

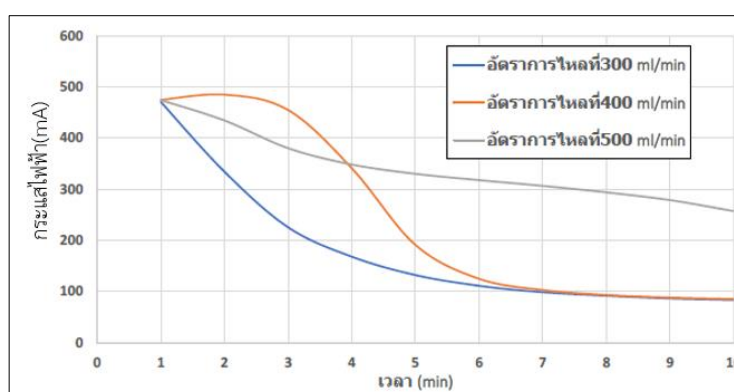
จากภาพที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ SOC 100% พบว่าที่อัตราการไหล 500 ml/min มีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 231.36 mA

ผลของการอัดประจุไฟฟ้าที่ 1 A ที่ SOC 100% ที่ช่องการไหลแบบ Serpentine channel และอัตราการไหลต่าง ๆ



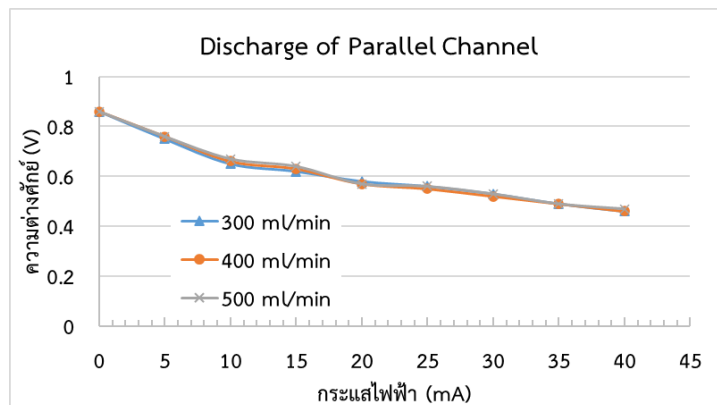
ภาพที่ 10 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหล ที่ SOC 100%

จากภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ SOC 100% พบว่าที่อัตราการไหล 500 ml/min มีแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 1.59V

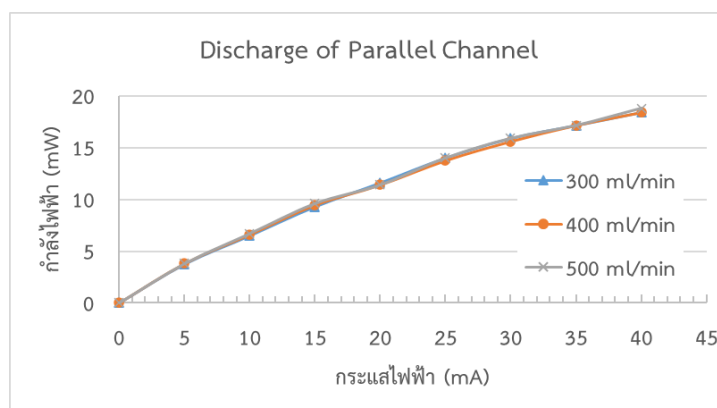


ภาพที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 300 400 และ 500 ml/min ที่ soc 100%

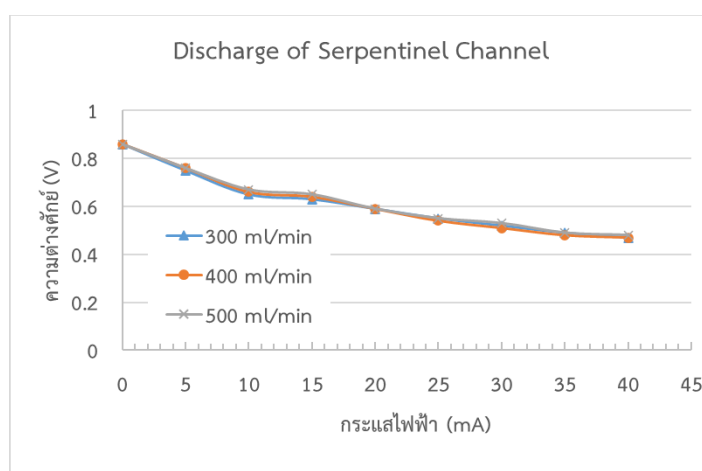
จากภาพที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 300 400 และ 500 ml/min ที่ soc 100% พบว่าที่อัตราการไหลที่ 400 ml/min มีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 484.75 mA



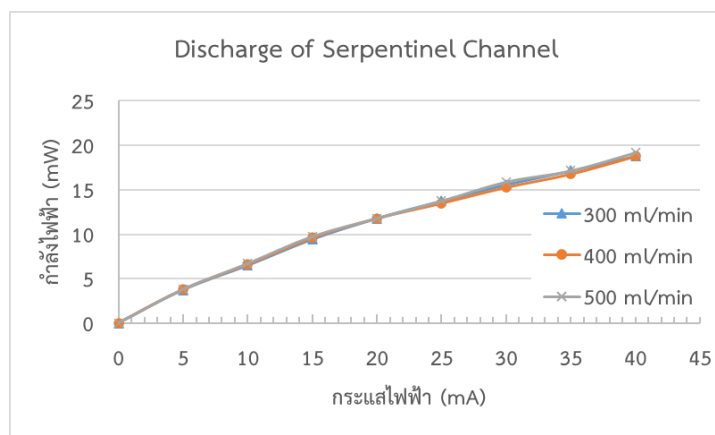
ภาพที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าที่อัตราการไหล 300, 400, 500 mL/min ช่องการไหลแบบ Parallel Channel



ภาพที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่อัตราการไหล 300, 400, 500 mL/min ช่องการไหลแบบ Parallel Channel



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าที่อัตราการไหล 300, 400, 500 mL/min ช่องการไหลแบบ Serpentine Channel



ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่อัตราการไหล 300, 400, 500 ml/min ช่องการไหลแบบ Serpentine Channel

จากภาพที่ 12 - 15 แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าที่ช่องการไหลแบบ Serpentine Channel ที่อัตราการไหล 500 ml/min จะมีสมรรถนะของเซลล์รีดออกซิเจนแบบเตอรี ดีที่สุด เพราะว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าสูงสุดในการทำงานของรีดออกซิเจนแบบเตอรี

ช่องการไหลแบบ	Parallel Channel	Serpentine Channel
อัตราการไหล ml/min	500	500
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (mW)	18.8	19.2
ความต่างศักย์ไฟฟ้า(V)	0.47	0.48
กระแส (mA)	40	40
ประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้า	54.65%	55.81%

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของช่องการไหลแบบ Parallel Channel ที่ SOC 100% พบว่าอัตราการไหลที่ 300 ml/min มีแรงดันไฟฟ้ามากกว่าอัตราการไหลที่ 400 และ 500 ml/min อยู่ที่ 2.31V และที่อัตราการไหล 500 ml/min มีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 231.36 mA ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของช่องการไหลแบบ Serpentine Channel ที่ Stage of Charge (SOC) ที่ร้อยละ 100 พบว่า อัตราการไหลที่ 500 ml/min มีแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 1.59V และที่อัตราการไหลที่ 400 ml/min มีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 484.75 mA

ผลของการทดสอบพบว่าที่ช่องการไหลแบบ Serpentine Channel ที่อัตราการไหล 500 จะมีสมรรถนะของเซลล์รีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่ดีที่สุด เพราะว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าได้จะมีสมรรถนะการทำงานของเซลล์รีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่ดีที่สุด มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 19.2 mW และกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.04 แอมแปร์ ที่ประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 55.81

ช่องการไหลแบบ Serpentine Channel เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเซลล์รีดอกซ์โพลาร์แบตเตอรี่. ใช้สารอินทรีย์ เนื่องจากความดันภายในเซลล์มากกว่า ช่องการไหลแบบ Parallel Channel ส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าที่ดีกว่า อัตราการไหลที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของศักย์ไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าที่สูง ขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายสารตั้งต้น แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีอัตราการไหลที่มากเกินไปก็จะส่งผลให้เกิดความต้านทานของเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้นเรียกว่า gas transport loss

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่ให้เงินสนับสนุนในงานวิจัยนี้จนเป็นผลสำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

- Anurak, K., Uthaichana, K., Punyawudho, K., Khunatorn. Y. (2017). *The Performance and Efficiency of Organic Electrolyte Redox Flow Battery Prototype*. 2nd International Conference on Advances on Clean Energy Research, ICACER 2017, 7-9 April 2017 Berlin, Germany.
- Carvela, M., Raschitor, A., Rodrigo, M. A., & Lobato, J. (2020). Recent Progress in Catalysts for Hydrogen-Chlorine Regenerative Fuel Cells. *Catalysts*, 10(11), 1263. <https://doi.org/10.3390/catal10111263>.
- Huskinson, B., Rugolo, J., Mondal, S. K., & Aziz, M. J. (2012). *A High Power Density, High Efficiency Hydrogen-Chlorine Regenerative Fuel Cell with a Low Precious Metal Content Catalyst*. ArXiv:1206.2883 [Cond-Mat]. <http://arxiv.org/abs/1206.2883>.
- Thomassen, M., Børresen, B., Hagen G. and Tunold, R. (2003). H₂/Cl₂ fuel cell for co-generation of electricity and HCl. *J Appl Electrochem*, vol. 33, pp. 9–13.
- Thomassen, M., Børresen, B., Hagen G. and Tunold, R. (n.d.). *H₂/Cl₂ fuel cell for co-generation of electricity and HCl*. pp.5.
- Thomya, A., & Khunatorn, Y. (2020). *Analyzing Discharge Characteristics of Redox Flow Battery using Hydrochloric Acid as a Reaactant*. 2020 International

Conference and Utility Exhibition on Energy, Environment and Climate Change (ICUE), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICUE49301.2020.9306982>.

Linden, D., & Reddy, T. B. (Eds.). (2002). *Handbook of batteries (3rd ed)*. McGraw-Hill.

การออกแบบและพัฒนาเครื่องรีดผักตบชวา

Design and Development of Water Hyacinth Rolling Machine

อนาวิน ทิพย์บุญราช¹, ณรงค์ฤทธิ์ บุตรดำ², ทินกรณัฏฐ์ พรหมแก้ว³, ธนภักดิ์ ผิวพอง⁴ และอัจฉรา ไชยยา^{5*}
Anawin Thipboonraj¹, Narongrit Butta², Tinnakorn Promkeaw³, Thanakit Phewpong⁴ and Atchara Chaia^{5*}

^{1,2,3,4,5*}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000 โทร 0 5434 2547 โทรสาร 0 5434 2549

E-mail: anawin@rmutl.ac.th

^{1,2,3,4,5*}Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

200 Moo 17, Phichai, Mueang, Lampang 52000 Tel +66 5434 2547 Fax +66 5434 2549 E-mail: anawin@rmutl.ac.th

วันที่รับบทความ 25 สิงหาคม 2566

วันที่รับแก้ไขบทความ 19 ธันวาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2566

Received: Aug. 25, 2023

Revised: Dec. 19, 2023

Accepted: Dec. 20, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องรีดผักตบชวาจากแบบมือหมุนเป็นแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า และหาประสิทธิภาพของเครื่องรีดผักตบชวาของกลุ่มแม่บ้านหัตถกรรมเกษตรกรรมบ้านสันบัวบก ตำบลบ้านสา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา โดยแบบเดิมเป็นเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุนสามารถรีดได้สูงสุด 30 กรัมต่อนาที ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการและเกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน ทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องรีดแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 2 ชุดลูกรีด และทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องรีด โดยเปรียบเทียบอัตราการผลิตระหว่างเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุนกับเครื่องรีดผักตบชวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า จากการทดลองพบว่า ขนาดความหนาของเส้นผักตบชวาลังรีดด้วยเครื่องรีดทั้ง 2 ประเภท เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ผักตบชวา (มผช.39/2546) และอัตราการผลิตของเครื่องรีดแบบมือหมุนและแบบมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.8 และ 3.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 นอกจากนี้การใช้เครื่องรีดแบบมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถให้อัตราการผลิตได้สูงสุดเท่ากับ 8.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 33.87 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์·ชั่วโมง

คำสำคัญ: เครื่องรีดผักตบชวา, ชุดลูกรีด, ประสิทธิภาพ

Abstract

The objectives of this research were to design and develop a motorized water hyacinth rolling machine to replace the old-style hand-cranked water hyacinth rolling machine, and to test the efficiency of the new motorized water hyacinth rolling machine. This research was carried out at the Ban San Bua Bok handicraft production group, Ban Sang, Muang, Phayao. Normally, water hyacinth is rolled using a hand-cranked water hyacinth rolling machine with a maximum production rate of 30 g/min which is insufficient for demand and causes fatigue during operation. The researcher designed a new machine that used 2 rolling mills, and evaluated its efficiency by comparing production rates

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566

between the old and modern style machines. The results of the study found that the thickness of the water hyacinth after rolling using the new machine was in accordance with the Thai Industrial Standards Institute: Water Hyacinth Product (OTOP 39/2003). The capacity rate increased from 1.8 kg/h (old machine) to 3.0 kg/h (modern machine) representing a 60% boost in operational efficiency. In addition, the motorized water hyacinth rolling machine had a maximum capacity rate of 8.4 kg/h, with a highest specific power consumption of 33.87 kg/kW·h.

Keywords: Water hyacinth rolling machine, Rolling mills, Efficiency

1. บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากผักตบชวาเป็นที่ยอมรับของตลาดทั่วไป ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ด้วยการออกแบบรูปทรงของผลิตภัณฑ์ จึงถูกพัฒนาและถูกดัดแปลงให้เกิดประโยชน์ใช้สอยมากขึ้น (Khojimat, 2002) นับตั้งแต่การจักสานเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กระเป๋า เครื่องใช้ ภาชนะใส่ของร้อน ตะกร้าลักษณะต่าง ๆ รองเท้า ตลอดจนการจักสานเป็นของที่ระลึกรูปต่าง ๆ เช่น เป็ด นก แมว กล้องใส่ของ เป็นต้น นอกจากนี้จะมีการพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์แล้ว จำเป็นต้องสืบสานและพัฒนาช่างฝีมือหรือผู้สร้างสรรค์ มีการค้นหาเทคนิคและกรรมวิธีในการผลิตอย่างเหมาะสมอย่างต่อเนื่อง ควบคู่ไปด้วย (Supphong et al., 2021) ซึ่งการนำผักตบชวามารีดเป็นการทำให้เส้นผักตบชวานั้นแบน เพื่อให้ง่ายต่อการจักสานขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องรีดจากเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในครัวเรือน จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าเครื่องรีดผักตบชวาแบบเดิมมีความล่าช้าในการผลิต และรูปแบบเดิมของเครื่องรีดผักตบชวานิยมติดอยู่กับลูกกลิ้งที่ขอบโต๊ะ ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องรีดแบบมือหมุน ในการรีดผักตบชวา โดยใช้ลูกกลิ้งหมุนทำให้ผักตบชวาเรียบแบนทำได้เพียงครั้งละ 1 เส้น สูงสุดได้เพียง 5 เส้นต่อนาที และเส้นผักตบชวามีความหนาตลอดลำเส้นไม่เท่ากัน ในขณะที่กำลังการผลิตสูงสุดต่อวันต้องการผลิตกระเป๋าให้ได้ 20 ใบ คิดเป็นจำนวนเส้นผักตบชวาที่ต้องใช้ประมาณ 3,000 เส้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตเส้นผักตบชวาที่ใช้เครื่องรีดแบบลูกกลิ้งหมุน ด้วยมือในเวลา 8 ชั่วโมงทำงาน จะสามารถผลิตได้มากที่สุด 2,400 เส้น (Thai Industrial Standards Institute, 2023) ซึ่งความสามารถในการทำงานของคนที่ทำเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุน หากใช้ไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง ผู้ใช้งานจะล้า ปวดหลัง และอาการอื่น ๆ ตามมา ส่งผลให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการต่อวัน และเส้นผักตบชวาที่ได้ออกมานั้นมีขนาดไม่ตรงตามความต้องการ

ภักสิทธิ์ และคณะ (2549) ได้ออกแบบเครื่องรีดและกรีดเส้นผักตบชวา โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขับชุดลูกกลิ้งรีด เพื่อรีดและผลักให้เส้นผักตบชวาวิ่งเข้าสู่มีดใบตายที่ติดตั้งไว้ เครื่องมีประสิทธิภาพการทำงานร้อยละ 71.63 สามารถกรีดเส้นขนาด 11 มิลลิเมตร ที่อัตราการทำงาน 1,880 เส้นต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าแรงงานคนทำได้เพียง 360 เส้นต่อชั่วโมง และจากงานวิจัยของเกียรติศักดิ์ ใจโต และคณะ (2556) ได้ทำการสร้างเครื่องรีดและกรีดเส้นผักตบชวา โดยมีลูกกลิ้งคู่จำนวน 2 ชุด และชุดมีดกรีด 1 ชุด ชุดแรกทำหน้าที่รีดและป้อนผักตบชวาเข้าสู่ชุดมีดกรีดแบบจานหมุนคู่ ซึ่งทำหน้าที่กรีดผักตบชวาออกเป็นเส้นขนาด 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการรีดและกรีดเท่ากับ 2.33 และ 2.04 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ต้นทุนในการสร้างเครื่อง 45,000 บาท

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ลูกกลิ้งคู่แบบรีดและกรีด โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะช่วยลดแรงงานจากคนได้เยอะแต่จะมีต้นทุนในการสร้างที่ค่อนข้างสูง ทางกลุ่มแม่บ้านหัตถกรรมเกษตรกรบ้านสันบัวบักต้องการฝึกตบขวาทั้งลำเส้นแบบไม่กรีด ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะออกแบบและพัฒนาเฉพาะเครื่องรีดฝึกตบขวา ด้วยการใช้อุปกรณ์แบบใช้ไฟฟ้าและทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องรีดฝึกตบขวา เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและทุ่นแรงของคนทำงาน โดยการรีดขึ้นรูปให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.39/2546) ที่กำหนดให้เส้นฝึกตบขวาต้องมีขนาดของเส้นสม่ำเสมอเหนียวนุ่ม ไม่เปราะ ชาติง่าย และไม่มีรอยจุดหรือด่างอย่างเด่นชัด (Thai Industrial Standards Institute, 2003) และมาตรฐานอุตสาหกรรมเอส ผลิตภัณฑ์จากฝึกตบขวา (มอก. เอส 51-2562) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากฝึกตบขวาก่อนนำมาทอหรือจักสาน โดยผ่านการทำความสะอาด คัดขนาด และผ่านกรรมวิธีให้เป็นเส้นที่มีขนาดตามต้องการทำให้แห้ง รีดให้เรียบ (Thai Industrial Standards Institute, 2019) โดยความต้องการของกลุ่มแม่บ้านหัตถกรรมเกษตรกรบ้านสันบัวบักที่กำหนดไว้ ความหนาตลอดทั้งลำเส้นไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องรีดฝึกตบขวาจากแบบมือหมุนเป็นแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องรีดฝึกตบขวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ขอบเขตของเครื่องรีดฝึกตบขวา

- 1) เครื่องรีดฝึกตบขวา ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ยี่ห้อ Mitsubishi Electric Automation รุ่น Super Line Split phase start Single Phase Induction Motor ขนาด 1/3 HP (0.25 kW) 4 Pole Type SP-KR, 50-60 Hz แรงดันไฟฟ้า 220-230 V 1 เฟส กระแสไฟฟ้า 2.8-3.2 A ความเร็วรอบ 1,450 rpm และ เกียร์ทดรอบรุ่น Worm Gear Reducer แบบ WPS เบอร์ 50
- 2) ลูกรีด ชุดที่ 1 เป็นชุดลูกรีดแบบไม่เคลื่อนที่ (Fixed Rolling) เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ยาว 264 มิลลิเมตร
- 3) ลูกรีด ชุดที่ 2 เป็นชุดลูกรีดแบบปรับค่าได้ (Moveable Rolling) เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ยาว 264 มิลลิเมตร
- 4) ขนาดของเครื่องรีดฝึกตบขวา กว้าง 510 มิลลิเมตร ยาว 630 มิลลิเมตร สูง 360 มิลลิเมตร

3.2 ขอบเขตของเส้นฝึกตบขวา

- 1) ขนาดความยาวของลำต้นก่อนนำมารีดขึ้นรูป ขนาด 50 - 55 เซนติเมตร
- 2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นฝึกตบขวาประมาณ 5 - 6 เซนติเมตร
- 3) ฝึกตบขวาที่นำมาใช้ มีอายุตั้งแต่ 8 เดือน ถึง 1 ปี
- 4) ฝึกตบขวาที่นำมาใช้ต้องทำให้แห้ง โดยนำไปตากแดดเป็นเวลา 3 - 4 วัน (เวลา 08:00 - 15:00 น.)
- 5) ก่อนที่จะนำฝึกตบขวามาใช้งานจะพรมน้ำให้เส้นฝึกตบขวาชุ่มเล็กน้อย

3.3 การประเมินคุณภาพของต้นผักตบชวาหลังการขึ้นรูป

1) ขนาดความหนาของเส้นผักตบชวาหลังการรีดขึ้นรูป ไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร (อ้างอิงการสัมภาษณ์ค่ามาตรฐานของกลุ่มแม่บ้าน) โดยใช้การวัดความหนา 3 ช่วง คือ ช่วงต้นของลำต้น (ช่วง 0 - 15 มิลลิเมตร) ช่วงกลางของลำต้น (ช่วง 20 - 35 มิลลิเมตร) และช่วงปลายของลำต้น (ช่วง 40 - 55 มิลลิเมตร) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์

2) เส้นผักตบชวาหลังรีดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ผักตบชวา (มผช.39/2546) คือ เส้นผักตบชวาต้องมีขนาดของเส้นสม่ำเสมอเหนียวนุ่ม ไม่เปราะ ขาดง่าย และไม่มีรอยจุดหรือต่างอย่างเด่นชัด

3) งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเป็นน้ำหนักกรัมต่อหน้าที่ จำนวน 3 รอบการทดลอง

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรีดผักตบชวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

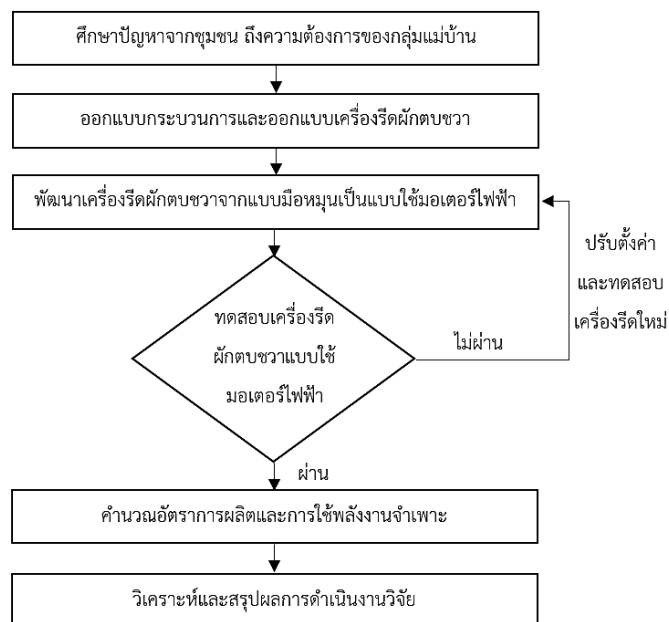
ทดสอบประสิทธิภาพจากการเปรียบเทียบปริมาณการรีดเส้นผักตบชวา คิดเป็นน้ำหนักที่ผลิตได้ต่อหน้าที่และหาอัตราการผลิต ระหว่างเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุนกับเครื่องรีดผักตบชวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ประเมินผลประสิทธิภาพจากอัตราการผลิต (Capacity) ดังสมการที่ 1 และคำนวณหาการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Power Consumption - SPC) ดังสมการที่ 2 จากนั้นจึงวิเคราะห์ผล

$$\text{Capacity} = \frac{\text{Feed of water hyacinth (kg)}}{\text{Time (h)}} \quad (1)$$

$$\text{Specific Power Consumption} = \frac{\text{Feed of water hyacinth (kg)}}{\text{Electrictrical power (kW}\cdot\text{h)}} \quad (2)$$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS จากนั้นทำการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์และนำไปทดสอบกับผู้ใช้งานจริง พร้อมทั้งคำนวณอัตราการผลิต การใช้พลังงานจำเพาะ รวมถึงการวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน โดยมีวิธีการดำเนินงานดังแสดงในภาพที่ 1

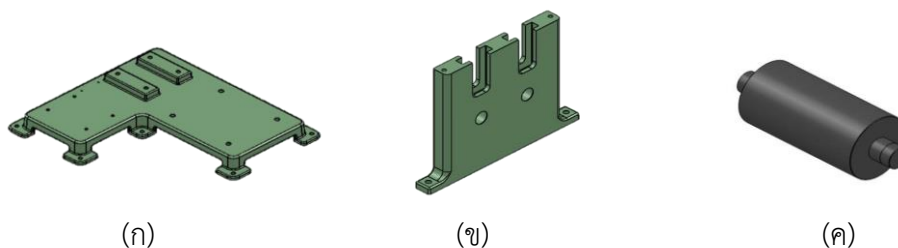


ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินงานเครื่องรีดผักตบชวา

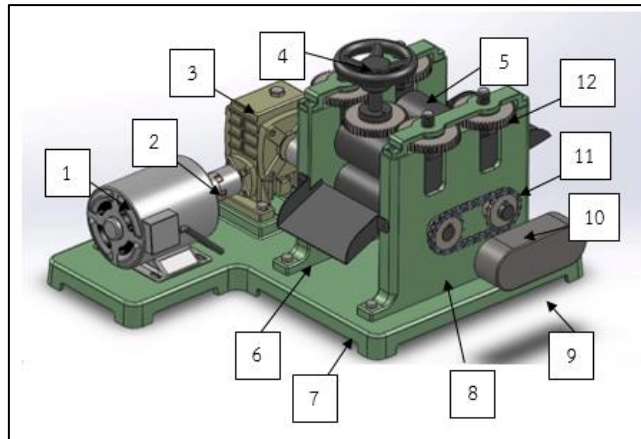
4.1 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องรีดผักตบชวา

1) การพัฒนาเครื่องรีดผักตบชวา เริ่มจากกระบวนการออกแบบ เพื่อให้ได้เครื่องรีดที่ตรงตามวัตถุประสงค์ การออกแบบและการพัฒนาเครื่องรีดนั้น จะต้องคำนึงถึงวัสดุที่นำมาสร้าง ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายและมีความทนทานในการใช้งาน โดย Tsoy and Nabiev (2021) ทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรีดน้ำให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด จากการใช้ชุดลูกรีด 2 ชุดลูกรีด ซึ่งชุดลูกรีดที่ได้ออกมานั้น จะต้องไม่กระทบกันและไม่ทำให้ลูกรีดเสียหาย ในขณะที่การคายน้ำของวัสดุที่ใส่ลงไปนั้นจะต้องมีการคายน้ำให้ได้มากที่สุด ซึ่งมีหลักแนวคิดเดียวกันกับ Bahadirov et al. (2021) การสร้างเครื่องรีดใด ๆ ออกมานั้น จะต้องคำนึงถึงการใช้งาน สามารถใช้งานและซ่อมแซมได้ง่าย มีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ให้น้อยชิ้นที่สุดแล้ว ให้ผลลัพธ์ออกมาจากการรีดน้ำให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

2) การออกแบบฐาน กว้าง 510 มิลลิเมตร ยาว 630 มิลลิเมตร โครงเสา สูง 360 มิลลิเมตร และลูกรีดของเครื่องรีดผักตบชวา เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ยาว 264 มิลลิเมตร ซึ่งลูกรีดที่ใช้จะเป็นลูกรีดแบบคู่ (Pataragesvit & Charoensuk, 2014) วัสดุที่ใช้งานเป็นอะลูมิเนียมหล่อขึ้นรูป เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เปื้อนสนิม ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 (ก) ฐาน, (ข) โครงเสา, และ (ค) ลูกรีดของเครื่องรีดผักตบชวา



ภาพที่ 3 เครื่องรีดผักตบชวาที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS

3) เมื่อออกแบบแต่ละส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำมาประกอบกับมอเตอร์ไฟฟ้า เกียร์ทด ตัวปรับตั้งค่าตำแหน่ง ชุดเฟืองขับ โซ่ส่งกำลัง สวิตช์ปิด - เปิด ดังแสดงในภาพที่ 3

องค์ประกอบของเครื่องรีดผักตบชวา จากภาพที่ 3 ประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- หมายเลข 1 คือ มอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่ส่งกำลัง
- หมายเลข 2 คือ คัปปลิ้ง ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงจากมอเตอร์ไฟฟ้าไปยังเกียร์ทด
- หมายเลข 3 คือ เกียร์ทด ทำหน้าที่ลดความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้ช้าลง
- หมายเลข 4 คือ ตัวหมุนปรับระดับของลูกกลิ้ง ทำหน้าที่ปรับระดับความสูงของลูกกลิ้ง เพื่อที่จะรีดเส้นผักตบชวาให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ
- หมายเลข 5 คือ ลูกกลิ้งหรือลูกรีด ทำหน้าที่รีดเส้นผักตบชวา
- หมายเลข 6 คือ ถาดรองชิ้นงาน ทำหน้าที่รองรับเส้นผักตบชวาที่รีดออกมาแล้ว
- หมายเลข 7 คือ ฐานเครื่อง ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่อง
- หมายเลข 8 คือ เฟือง ทำหน้าที่ส่งกำลังจากการหมุนของเพลาลูกกลิ้ง
- หมายเลข 9 คือ ฝาครอบเฟือง ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุ
- หมายเลข 10 คือ โซ่ส่งกำลัง ทำหน้าที่ส่งกำลังอีกเพลานึงไปยังอีกเพลาลูกกลิ้ง
- หมายเลข 11 คือ โครงเสา ทำหน้าที่ประคองลูกกลิ้งทั้งสองลูก
- หมายเลข 12 คือ เฟืองปรับระดับ ทำหน้าที่ปรับขนาดความกว้างของลูกกลิ้ง

4.2 ขั้นตอนการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์และการประกอบสิ่งประดิษฐ์

1) ขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วนที่ต้องผ่านการหล่อขึ้นรูป โดยเริ่มจากการออกแบบแม่พิมพ์ของชิ้นงานตามที่กำหนดไว้ จากนั้นหลอมโลหะอะลูมิเนียม แล้วนำอะลูมิเนียมเหลวเทลงในแบบหล่อเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน และหล่อขึ้นส่วนอื่น ๆ ตามแบบ ขั้นตอนถัดมาเป็นการตกแต่งชิ้นงานที่หล่อขึ้นรูปด้วยการเจียรระโน เพื่อลบขอบ ลบคม ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุของผู้ใช้งาน



ภาพที่ 4 เครื่องรีดผักตบชวา

2) ขั้นตอนการประกอบ ติดตั้งสวิทช์ปิด - เปิด และเดินสายไฟ เก็บสายไฟให้เรียบร้อย ติดตั้งเฟือง โซ่งกำลัง ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า เกียร์ทด และชุดลูกรีดทั้งหมดเข้าด้วยกัน และใส่แผ่นอะคริลิก เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากชุดลูกรีด ดังแสดงในภาพที่ 4

4.3 การทดสอบการทำงานและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องรีดผักตบชวา

ในขั้นตอนนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องรีดผักตบชวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุน พร้อมทั้งวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องรีดผักตบชวาแบบมอเตอร์ไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบปริมาณการรีดเส้นผักตบชวา คิดเป็นน้ำหนักที่ผลิตได้ต่อนาที และหาอัตราการผลิตระหว่างเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุน กับเครื่องรีดผักตบชวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ประเมินผลประสิทธิภาพจากอัตราการผลิต จากสมการที่ 1 และคำนวณหาการใช้พลังงานจำเพาะ จากสมการที่ 2

ทำการทดลองการเปรียบเทียบจำนวนเส้นผักตบชวาที่สามารถป้อนเข้าไปในเครื่องรีดแต่ละประเภท (1, 2 และ 4 เส้น) และเปรียบเทียบปริมาณของเส้นผักตบชวาต่อ 1 นาที ระหว่างเครื่องรีดผักตบชวาแบบมือหมุนกับเครื่องรีดผักตบชวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องรีดฝักตบชาแบบมือหมุน (ซ้าย) และเครื่องรีดฝักตบชาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (ขวา)

เมื่อได้เส้นฝักตบชาที่รีดออกมาจากเครื่องรีดทั้ง 2 ประเภทแล้ว จากนั้นทำการวัดขนาดความหนาของเส้นฝักตบชาหลังที่รีดขึ้นรูป โดยการวัดค่าความหนาของเส้นฝักตบชา ต้องมีความหนาไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร ตลอดทั้งเส้น

4.4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

สรุปผลการออกแบบและการพัฒนาเครื่องรีดฝักตบชา รวมถึงการเปรียบเทียบความหนาของการใช้เครื่องรีดฝักตบชาแบบมือหมุน และเครื่องรีดฝักตบชาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า การประเมินประสิทธิภาพการทำงาน และอภิปรายผลเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการออกแบบและการพัฒนาเครื่องรีดฝักตบชา

จากการออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS จากภาพที่ 2 นั้น ทางผู้วิจัยจึงดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ โดยการใช้หลักการและทฤษฎีการหล่อโลหะ การรีดขึ้นงาน รวมถึงนำอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ มาประกอบกัน ได้เครื่องรีดฝักตบชาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

5.2 ผลการทดสอบเครื่องรีดฝักตบชา

ปกติในงานหัตถกรรมนิยมใช้เส้นฝักตบชาที่มีความยาว 50 - 55 เซนติเมตร ก่อนการรีดขึ้นรูป หลังจากนั้นเส้นฝักตบชาที่ผ่านการรีดจากเครื่องรีดฝักตบชาจะต้องมีความเรียบที่สม่ำเสมอ มีลำเส้นตรง และความหนาของเส้นฝักตบชาที่รีดได้ต้องมีขนาดไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร

การตั้งค่าช่องว่างระหว่างลูกรีดแบบมือหมุนอยู่ที่ 0.10 มิลลิเมตร และช่องว่างระหว่างลูกรีดแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ที่ 0.10 มิลลิเมตร เช่นกัน

1) การเปรียบเทียบขนาดความหนาของฝักตบชาที่ได้จากเครื่องรีดฝักตบชาแบบมือหมุนกับเครื่องรีดฝักตบชาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า การวัดขนาดความหนาของฝักตบชาจะแบ่งการวัดออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงต้นของลำต้น (ช่วง 0 - 15 มิลลิเมตร) ช่วงกลางของลำต้น (ช่วง 20 - 35 มิลลิเมตร) และช่วงปลายของลำต้น (ช่วง 40 - 55 มิลลิเมตร) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ช่วงในการวัดของของลำต้นผักตบชวา

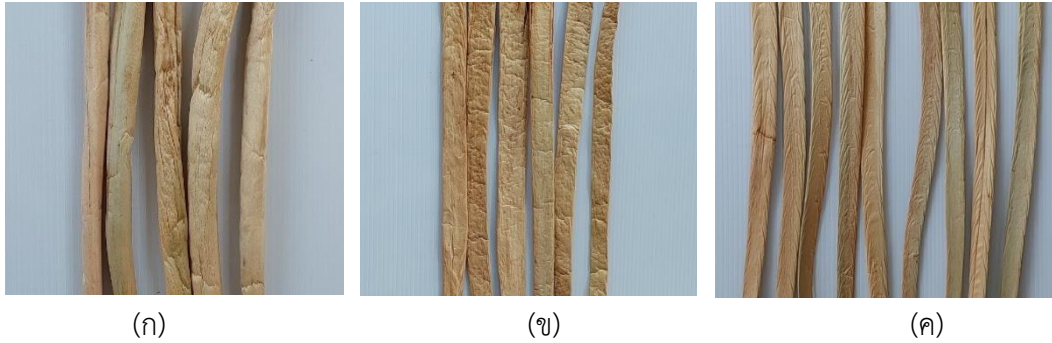
จากการกำหนดช่วงในการวัดขนาดของลำต้นแล้ว จึงหาค่าเฉลี่ยความหนาตลอดทั้งเส้น ผักตบชวา และเปรียบเทียบความหนาของการใช้เครื่องรีดทั้ง 2 ประเภท โดยทำการวัดทั้ง 3 ช่วง เหมือนกัน การทดลองนี้ทำการวัดอย่างละ 20 ครั้ง จำนวน 3 รอบการทดลอง และได้ความหนา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความหนาของเส้นผักตบชวาแบบใช้เครื่องรีดแบบมือหมุน และแบบใช้เครื่องรีดแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

วิธีการ	จำนวนเส้นผักตบชวาที่รีดได้ (เส้นต่อครั้ง)	ค่าเฉลี่ยความหนาของเส้นผักตบชวา (มิลลิเมตร)
แบบมือหมุน	1	0.151
แบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า	1	0.160
	2	0.174
	4	0.193

จากตารางที่ 1 พบว่าความหนาของเส้นผักตบชวาจากเครื่องรีดแบบมือหมุน ได้ค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ 0.151 มิลลิเมตร และความหนาของเส้นผักตบชวา จากเครื่องรีดแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่รีดทีละ 1, 2 และ 4 เส้น ได้ค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ 0.160, 0.174 และ 0.193 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า จะมีค่ามากกว่าการรีดแบบมือหมุนเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ ความหนาไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร และเส้นผักตบชวามีผิวที่เรียบตลอดทั้งเส้นมากกว่าการรีดแบบมือหมุน

เมื่อเส้นผักตบชวา ภาพที่ 7 (ก) ผักตบชวาก่อนการรีดขึ้นรูป ถูกเตรียมเพื่อเข้าสู่เครื่องรีด ผักตบชวา แล้วจะได้เส้นผักตบชวา ภาพที่ 7 (ข) ผักตบชวาลังการรีด ซึ่งลักษณะของเส้นผักตบชวาที่รีดขึ้นรูปแบบมือกับเส้นผักตบชวาที่รีดขึ้นรูปแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามีลักษณะเหมือนกัน



ภาพที่ 7 (ก) ผักตบชวาก่อนการรีดขึ้นรูป (ข) ผักตบชวาลังการรีดขึ้นรูปแบบมือหมุน และ (ค) ผักตบชวาลังการรีดขึ้นรูปแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

2) ทดสอบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องรีดผักตบชวแบบมือหมุนกับเครื่องรีดผักตบชวแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการรีดเส้นผักตบชว ระหว่างเครื่องรีดผักตบชวแบบมือหมุนกับเครื่องรีดผักตบชวแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

วิธีการ	จำนวนเส้น ผักตบชว ที่ป้อนเข้าเครื่องรีด (เส้นต่อครั้ง)	น้ำหนัก (กรัม/ นาที)	อัตราการผลิต (กิโลกรัม/ ชั่วโมง)	การใช้พลังงาน จำเพาะ (กิโลกรัมต่อ กิโลวัตต์·ชั่วโมง)
แบบมือหมุน	1	30	1.8	-
แบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า	1	50	3.0	12.10
	2	80	4.8	19.35
	4	140	8.4	33.87

หมายเหตุ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/3 hp เท่ากับ 248.57 วัตต์ ($\cong 0.248$ kW)

จากตารางที่ 2 การรีดผักตบชวแบบใช้มือหมุน มีอัตราการผลิตเท่ากับ 1.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนอัตราการผลิตแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าตั้งแต่ 3.0 - 8.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งทำให้เห็นได้ว่าปริมาณที่ผลิตเทียบต่อหน่วยชั่วโมง ในการรีดผักตบชวแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถให้การผลิตที่มากกว่าแบบใช้มือหมุน คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 ในขณะที่ใช้พลังงานจำเพาะแปรผันตามกับอัตราการผลิต มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 33.87 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์·ชั่วโมง

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

6.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เครื่องรีดผักตบชวแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นใหม่ ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของกลุ่มแม่บ้านหัตถกรรมเกษตรกรบ้านสันบัวบก

2) จากการเปรียบเทียบขนาดความหนาของเส้นฝักตบขวาในการรีดจากเครื่องรีดทั้ง 2 ประเภทแล้ว เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ฝักตบขวา (มผช.39/2546) ที่กำหนดให้เส้นฝักตบขวาต้องมีขนาดของเส้นสม่ำเสมอเหนียวนุ่ม ไม่เปราะ ขาดง่าย และไม่มีรอยจุดหรือต่างอย่างเด่นชัด

3) อัตราการผลิตของเครื่องรีดฝักตบขวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 3.0 - 8.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าแบบเครื่องรีดฝักตบขวาแบบใช้มือหมุนที่มีอัตราการผลิตที่ 1.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

4) การใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องรีดฝักตบขวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 33.87 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์·ชั่วโมง

6.2 อภิปรายผล

1) เครื่องรีดฝักตบขวาแบบมือหมุน มีข้อดี คือ ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน เคลื่อนย้ายสะดวก ข้อเสีย คือ เมื่อใช้งานเป็นเวลานาน ผู้ใช้งานมีอาการปวดมือ ปวดแขน และปวดไหล่ ขนาดมือจับมีขนาดเล็กและลื่น มีฐานไม่มั่นคง มีชุดลูกรีดชุดเดียว และบางครั้งการรีดขึ้นรูปจะต้องทำการรีดซ้ำไปซ้ำมา เนื่องจากไม่ได้ความหนาตามที่ต้องการ ส่วนเครื่องรีดฝักตบขวาแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า มีข้อดี คือ สามารถขึ้นรูปได้เร็ว รีดเส้นฝักตบขวาได้ขนาดความหนาตามที่ต้องการเช่นกัน สามารถรีดเส้นฝักตบขวาได้ทีละหลายเส้นในการรีด 1 ครั้ง ข้อเสีย คือ ใช้พลังงานไฟ มีน้ำหนัก เคลื่อนย้ายลำบาก

2) เครื่องรีดฝักตบขวาสามารถใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของกลุ่มแม่บ้านหัตถกรรมเกษตรกรบ้านสันบัวบก ซึ่งต้องการเพิ่มกำลังการผลิตและขนาดของเส้นฝักตบขวาที่มีความยาว 50 - 55 เซนติเมตร มีความหนาไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร ในขณะทำงานวิจัยของ Treeamnuk and Treeamnuk (2013) ทำการออกแบบและสร้างเครื่องรีดและเครื่องกรีดฝักตบขวา ที่ค่าความยาวของฝักตบขวา 60 เซนติเมตร แต่ได้ความหนาหลังการรีดขึ้นรูปที่มากกว่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ส่วนงานวิจัยของ Jaito et al. (2013) สามารถทำให้ขนาดความหนาได้ 1.9 1.8 และ 1.5 มิลลิเมตร โดยให้เหตุผลว่า เงื่อนไขในการทำให้นขนาดความหนาน้อยขึ้นขึ้นอยู่กับความชื้นที่มีสูง แต่จะอัตราการผลิตไวโดยที่งานวิจัยนี้จะคิดเป็นหน่วยกิโลกรัมต่อชั่วโมง

7. เอกสารอ้างอิง

- Bahadirov G.A., Nabiev A.M. and Umarov A.A. (2021). Roller machine for fiber material processing. *Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent*, 11(2), pp. 56 - 59.
- Ban San Bua Bok handicraft producing group, (2023, March 31). *handicraft producing member*, Ban Sang, Muang, Phayao. Interview.
- Jaito, K., Treeamnuk, T. and Treeamnuk, K. (2013). Water hyacinth rolling and splitting machine. In *The 6th Thai Society Agricultural Engineering (TSAE) International Conference & 14th TSAE National Conference 2013 1-4 April 2013*. pp. 266 - 270). Prachuapkhirikhan: Rajamangala University of Technology Tawan-ok. (inThai)
- Khojitmate, S. (2002). The Application of Eichhornia crassipes to produce web using for agriculture. *Journal of Engineering, RMUTT*, 2(1), pp. 1 - 6. (inThai)

- Pataragesvit, T. and Charoensuk, N. (2014). *Research report topics High performance double rolling machine for rolled*. Bangkok: Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.
- Supphong, N., Srisorn, W., and Bhaksuwan, S. (2021). Public participation in conservation water hyacinth basketry work, a case study in Sappaya District Sappaya District, Chainat province. *Journal of Multidisciplinary in Humanities and Social Sciences*, 4(3), pp. 874 - 890.
- Thai Industrial Standards Institute. (2019). *Thai SMEs Standard water hyacinth products*. Ministry of Industry. Bangkok. Access on December 11, 2022. Available <https://www.tisi.go.th/assets/website/pdf/tiss/51-2562.pdf>.
- Thai Industrial Standards Institute. (2003). *Community product standards project*. Ministry of Industry. Bangkok. Access on December 7, 2022. Available http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps39_46.pdf.
- Treamnuk, K. and Treamnuk, T. (2013). Development and testing of water hyacinth rolling and splitting machine for handicraft. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 19(1), pp. 25 - 30. (inThai)
- Tsoy G.N. and Nabiev A.M. (2021). The development of a highly efficient machine for dehydration of moisture-saturated materials. *Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent*, 11(3), pp. 25 - 29.

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

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

2. **ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง** ดังนี้

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตราวิทยา 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 กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 3 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 3 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้งกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. **คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์**

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/lttech> 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 นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาไทย)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาอังกฤษ)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxx โทรสารxxxxx 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 โทรxxxxx โทรสารxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาอังกฤษ)

วันที่รับบทความ XXXXXXXXXX

Received: XXXXXXXXXX

วันที่รับแก้ไขบทความ XXXXXXXXXX

Revised: XXXXXXXXXX

วันที่ตอบรับบทความ 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) และแต่ละหน้าไม่ต้องการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 ($8\frac{1}{4} \times 11\frac{3}{4}$ 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) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับการทดลองได้ 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 ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่านำหน้ากระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพ และอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้

พิมพ์ไว้เหนือตารางและขีดริมนซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยก การเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

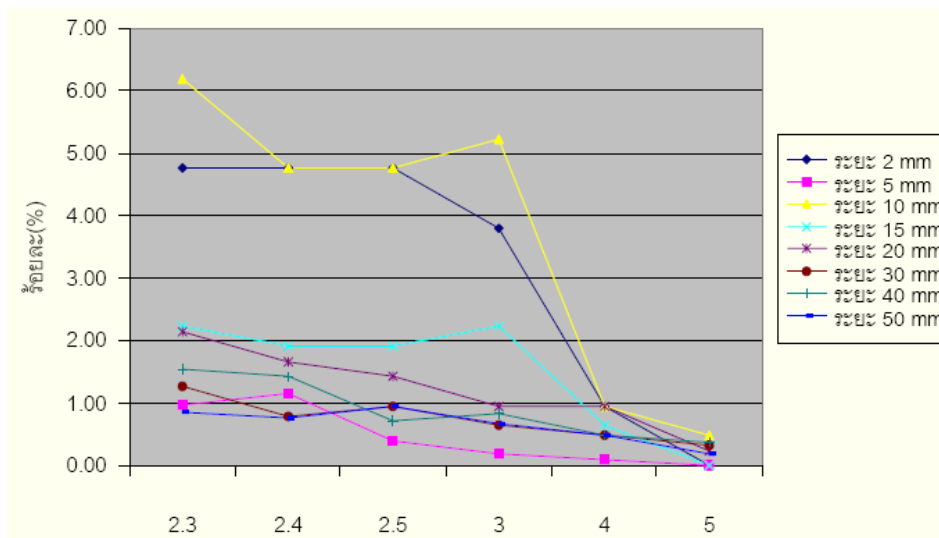
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1)กระเบื้องดินเผาคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1)กระเบื้องดินเผาชนิดที่ ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2)ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจจะลื่นเมื่อใช้งาน
	3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่งแสดงถึงความไม่ทนทานแข็งแรง

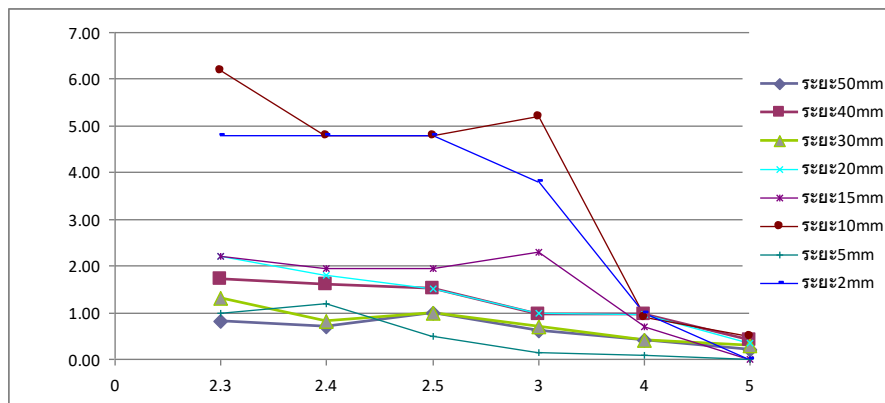
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจจะลื่น เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

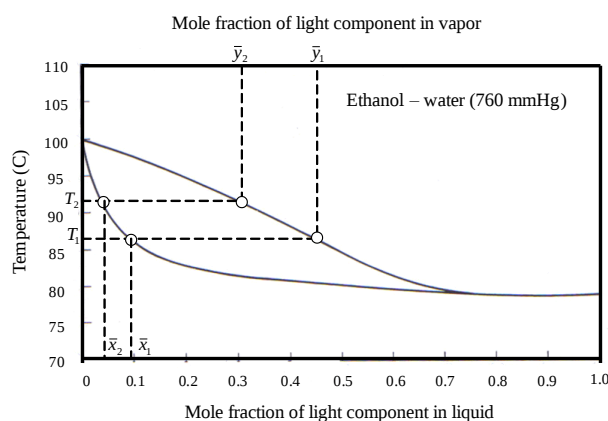


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



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 ของประเทศไทย (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 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเพื่อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 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 for adsorption chillers, *Applied Thermal Engineering*, vol.29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สอนมาลี. (2519). ความสามารถในการเงินของเทศบาลกรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนาบริหารศาสตร์*, 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 บุรพา, ญัฐนี วรยศ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพเสริม, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก*

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

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

จุฬาร โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ตันธวนิตย์ และปัทมา เพ็ชรสิงห์. (2529). *รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.* ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เกลิมพลานภาพ. (3535). *พฤติกรรมและการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย. 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, Philadelphia: Taylor & Francis,

วิบูล วิจารณ์ และกนกนาถ ชูปัญญา. (2525). *เคมีคลินิก*. กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

(5) วิทยานิพนธ์

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

Herbert-Cheshire, L. (1997). *Living by the sea*. Unpublished honours thesis, Central Queensland University, Rockhampton, QLD, 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 ตีรกานันท์, 2553) (Tirakanan, 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

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

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

1.2 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นบทความ

ปาน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสาร
นักบริหาร*, 34(1), 130-135.

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

สุวรรณ ลัคนวนิช. (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). *สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาว
ต่างประเทศฯ เข้าในปี 2555*. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: [http://www.2tat.or.th/
stat/web/statistic_tst.php](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](http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php). access on February 9, 2014. (in Thai)

ท่านสามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความได้ที่ <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