

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Industrial Technology
Lampang Rajabhat University Journal

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2563
Volume 13 No.2 July - December 2020

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 โทรสาร 0 5424 1079
<http://www.itech.lpru.ac.th>

**คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์บุญชาติ เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาคกิจกร รองศาสตราจารย์อิติมา คุณยศยิ่ง

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์	นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ก้องกิติ	พูสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. สายัณห์	จันทร์วิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. ตรีนท	เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สุมาลี	อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร. ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สุวิษ	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ธนารักษ์	ธีระมันคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. आयวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. ปริญญา	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์	เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ผศ.ดร. จิรพัฒน์	วณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร. สุพล	อนันดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศ.ดร. วัฒนวงศ์	รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ผศ.ดร. นิวัตร	พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ศ.ดร. อภิรัฐ	ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. กวิน	สนธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. ศักดิพล	เทียนสม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ชิตชัย	อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. ช่างโชติ	พันธุ์เวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. ดรณี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร. อภิชาติ	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. ถาวร	สารวิทย์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. ธีรศิลป์	ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)		
รศ.ดร. นกตล	อุทัยภักขิ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.ดร. กิตติศักดิ์	สมุทธารักษ์	
รศ.ดร. นพมณี	โทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ศ. จำเนียร	นันทิลก	
รศ.ดร. นัฐพร	ไวยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้	รศ.ดร. นันทะ	บุตรน้อย	
รศ.ดร. ปรงศักดิ์	อัมพม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	รศ.ดร. อนิรุจน์	มะโนธรรม	
รศ.ดร. พิระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ผศ. พงษ์สวัสดิ์	อำนาคกิจกร	
รศ.ดร. พงศ์	หรรดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	Mr. Richard	Lawrence Mann	
รศ.ดร. มนตรี	ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร		
รศ.ดร. วัฒนพงศ์	รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา	รศ. อิติมา	คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร. วิชัย	แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	ผศ.ดร. วศินวิโรตม์	เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ.ดร. สรา	อาภรณ์	มหาวิทยาลัยมหิดล	ผศ. นราธิป	วงศ์ปัน	ฝ่ายวารสารออนไลน์
รศ.ดร. เอกรัฐ	บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	นาง วรัชญานันท์	เมธีวัชรโยธิน	ฝ่ายธุรการและการเงิน
รศ. นิลวัฒน์	พัฒน์พงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี	นางสาว กมลชนก	ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ
รศ. ยืน	ภูววรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
รศ. วิชัย	พลุฑธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น			
รศ. วิชัย	ฤกษ์ภูริทัต	มหาวิทยาลัยนเรศวร			
รศ. สมชาย	ชินวัฒนาประณี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี			

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

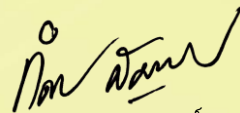
กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ด้วยความมุ่งมั่นและความตั้งใจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งดำเนินการมาเป็นปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2563 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานและคุณภาพของวารสารวิชาการ รวมทั้งมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการในระดับมหาวิทยาลัย ในการพัฒนวารสารวิชาการให้เข้มแข็ง และเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการ เข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่น และเป็นการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ และเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไป อย่างยั่งยืน

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ และขออวยพรให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประสบความสำเร็จและก้าวเข้าสู่ปีที่ 14 อย่างเต็มภาคภูมิเพื่อผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ดำเนินการมาเป็นปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2563 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลาง การเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และประชาสัมพันธ์ผลงานที่เกี่ยวข้องกับบทความวิชาการ บทความวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และผลการดำเนินงานของคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ซึ่งได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จนได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม คณะทำงานมีความมุ่งมั่น และตั้งใจที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารให้ได้มาตรฐานของวารสาร ที่ได้รับการยอมรับในระดับอาเซียนต่อไป

จากผลการดำเนินการของ วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏรำไพพรรณี ตลอดระยะเวลา 13 ปี ที่ผ่านมา ที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จนเป็นที่รู้จักและยอมรับ ในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งมี การสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการในระดับมหาวิทยาลัย ในการพัฒนาวารสารวิชาการ ให้เข้มแข็ง ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้นอย่างยั่งยืน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาคกิตติกร
บรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก ของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ธนวรฤต โอฬารธนพร, สันติ วงศ์ใหญ่, นราธิป วงษ์ปัน และสุรัตน์ เศษโพธิ์	1
การศึกษาและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการกำจัดซาก แพ่งโซลาร์เซลล์: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา พุทธดี อุบลสุข, ฉัตรแก้ว ชัยลือชา และสุรัตน์ เศษโพธิ์	12
ระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติควบคุมด้วยซอฟต์แวร์แลปวิว มนุศักดิ์ จานทอง, สุรศักดิ์ ทิมพิทักษ์ และคุณากร อนุวัตพานิชย์	24
การออกแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสม สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ กรณีศึกษา: บ้านห้วยม่ง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง วศินวีโรตม์ เนติศักดิ์ และพงษ์ศักดิ์ อยู่มนั	36
การจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (แบบตั้ง) วีรวัธ เลพล	46
ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น กรณีศึกษางานปั้นดอกไม้ สำหรับตกแต่งชิ้นงานเซรามิกรูปแบบตะกร้าสาน โรงงานจำปาเซรามิก อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ศิริมา เอมวงษ์, ปัญญา พลรักษ์ และแวอ์เลียส บินโซดาโอะ	53
การเพิ่มสมบัติด้านความสามารถในการป้องกันแมลงของไม้สักอายุน้อย ด้วยนวัตกรรมชีวภาพ เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ อภิญญา สาริบุตร, เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง และมียอง ขอ	62
แนวคิดการเคลื่อนที่แบบใหม่โดยใช้การแปลงร่างสำหรับหุ่นยนต์ทรงกลม ณัฐพล บุญอธิ และภูติส ลักษณะเจริญ	74
ภาคผนวก	87
ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	88

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

	Page
Greenhouse gases Evaluation and Reduction of Mae Tha Municipality, Lampang Province <i>Tanaworakit Orantanaporn, Santi Wongyai, Narathip Wongpun and Surat Sedpho</i>	1
The Study and Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Solar Panel Waste Management Process: Case Study at the University of Phayao <i>Putthadee Ubolsook, Chatkaew Chailuecha and Surat Sedpho</i>	12
Automatic Movable Racking System Controlled by LabVIEW <i>Manusak Janthong, Surasak Timpitak and Khunakon Anuwatpanich</i>	24
Mixed flow condition low friction water turbine design for Hydroelectric power generation. Case study: Huay Mong village, Muang pan district, Lampang province <i>Wasivirod Netisak and Pongsak Youmun</i>	36
Management of Bamboo Handicraft Waste for Briquetted Fuel Using a 200 Liter Vertical Type Charcoal Retort <i>Wirawut Lephon</i>	46
Study the factors that cause clay cracking in the case of a case study of decorative flower molding in ceramics. Champa Ceramic Factory Mueang District Lampang Province <i>Sirima Emwong, Panya Polrak and Waelias Binsodaoh</i>	53
Increasing the Insect Protection Properties of Young Teak with Bio-innovation for Product Design <i>Attama Saributr, Kriangsak Khiaomang and Miyoung Seo</i>	62
A new locomotion concept using shell transformation for a Reconfigurable Spherical Robot <i>Natthaphon Bun-Athuek and Pudit Laksanacharoen</i>	74
Appendix	87
Standard requirements for academic journals	88

**การประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก
ของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง**
**Greenhouse Gases Evaluation and Reduction in Mae Tha Municipality,
Lampang Province**

ธนวรรกฤต โอฬารธนพร¹, สันติ วงศ์ใหญ่², นราธิป วงษ์ปัน³ และสุรัตน์ เศษโพธิ์^{4*}

Tanaworakit Orantanaporn¹, Santi Wongyai², Narathip Wongpun³ and Surat Sedpho^{4*}

^{1,2,3}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง 52100

^{4*}คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

^{1,2,3} Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University, 119 Moo 9, Chompu, Muang, Lampang 52100

^{4*} School of Energy and Environment, University of Phayao 19 Moo 2, Maeka, Muang, Phayao 56000

E-mail: sedpho@gmail.com

วันที่รับบทความ 12 พฤศจิกายน 2563

Received: Nov. 12, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2563

Revised: Dec. 20, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563

Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก หรือ อบก. ครอบคลุมกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 2562 ประกอบด้วย การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล มีเทนจากการกำจัดของเสียและขยะ การรั่วไหลของสารทำความเย็น การใช้ไฟฟ้า และการใช้กระดาษ ผลการประเมินพบว่า การกำจัดขยะแบบเทกองของเทศบาลมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 96.53 ซึ่งพบว่ามีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุแบบไม่ใช้ออกซิเจน การแยกเศษอาหารและทำระบบก๊าซชีวภาพในครัวเรือนสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 1,527.27 tCO₂eq หรือ คิดเป็นร้อยละ 69.27 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, ชีวมวล, การจัดการขยะ

Abstract

This research aimed to evaluate the greenhouse gas (GHG) emissions of Mae Tha municipality according to the carbon footprint guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Emission Organization (TGO). Related activity data for the year 2019 were collected including fossil fuel combustion, waste management, fugitive emissions from refrigeration, electricity, and paper consumption. The results showed that open-dumped municipal waste management was the largest source of emissions (96.53%) caused by methane released from the anaerobic digestion process. Residential food waste collection to produce biogas can reduce GHG by up to 1,527.27 tCO₂eq or 69.27% of the total GHG emissions.

Keywords: GHG emissions, carbon footprint for Organization, biogas, waste management

1. บทนำ

ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั่วโลกอยู่ที่ 407.8 ต่อล้านส่วนในปี 2018 เพิ่มขึ้นจาก 405.5 ต่อล้านส่วนในปี 2017 (World Meteorological, 2019) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสูงกว่าค่าเฉลี่ยในทศวรรษที่ผ่านมา 400 ต่อล้านส่วนในปี 2558 และในประเทศไทยมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 403.02 ต่อล้านส่วนในปี 2559 (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018) จากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย ส่งผลกระทบทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีเหตุการณ์ทางธรรมชาติตามมา เช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม วาตภัย เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาได้ให้ความสำคัญประเด็นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีการทบทวนมาตรการและสร้างข้อกำหนดเพื่อร่วมลดปัญหาดังกล่าว มีการจัดทำแผนและยุทธศาสตร์การพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Thailand Research Fund, 2014) และมีการจัดทำพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ.2560 - 2564 มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาและฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้สามารถสนับสนุนการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการมีคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน (แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12, 2560) จากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในประเทศและหลายหน่วยงานมีมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า จะใช้วิธีการการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกขององค์กรเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการประเมินการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งสามารถดำเนินการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกครอบคลุมทุกองค์กร โดยจะแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018) เป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) เมื่อทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกและแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาจจะมีการวางแผนปฏิบัติการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร โดยพบว่าการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต มีการกำหนดนโยบาย เป้าหมาย มาตรการและร่วมกันวางแผนปฏิบัติการลดการใช้ไฟฟ้าขององค์กร (Taksin, N., 2015) ในส่วนขององค์กรที่เกี่ยวกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดของประเทศไทย ได้มีการพัฒนารูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าของสำนักงานองค์กร เพื่อจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการวิจัยในอนาคตหรือ Ethnographic Delphi Future Research (EDFR) ซึ่งการพัฒนารูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของสำนักงาน มีรูปแบบพัฒนาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตามหลัก Thailand Quality Award (TQA) Balance Scorecard (BSC) Model Scorecard (MSC) และ Participatory Action Research (OAR) เป็นอันดับแรก (Nualaong, P., 2020) หากจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าในองค์กรเพื่อลดการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก สามารถดำเนินการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่างโดยใช้หลอดแอลอีดี (LED) แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 60.22 เปอร์เซ็นต์ (Kerdlap, P., 2017) หากจะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร โดยการทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแบบอัตโนมัติ สามารถดำเนินการพัฒนาสมาร์ตมิเตอร์สำหรับการจัดการพลังงานไฟฟ้าในองค์กรได้ ซึ่งสามารถ

ที่จะควบคุมการใช้งานไฟฟ้าผ่านสมาร์ทโฟนได้ (Maneechot, P., Wongpanyo, W. and Vichanpool. B., 2020) และหากจะมีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะที่เกิดจากชุมชนสามารถนำขยะมาแปลงเป็นเชื้อเพลิง RDF-5 เพื่อลดกระทบทางสิ่งแวดล้อมอีกทาง (Pinate, W. and Dungpontong, D., 2018)

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ตามแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและนำเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง เพื่อนำไปสู่การดำเนินกิจกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืนของเทศบาลต่อไป งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ตามแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและนำเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง เพื่อนำไปสู่การดำเนินกิจกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืนของเทศบาลต่อไป

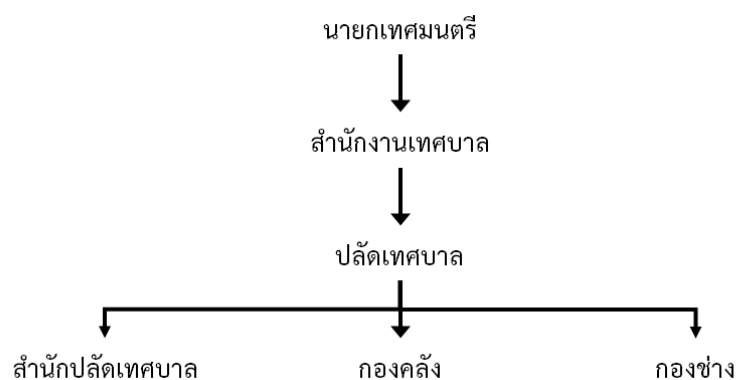
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง

2.2 เพื่อหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับการดำเนินกิจกรรมขององค์กร

3. พื้นที่ศึกษา

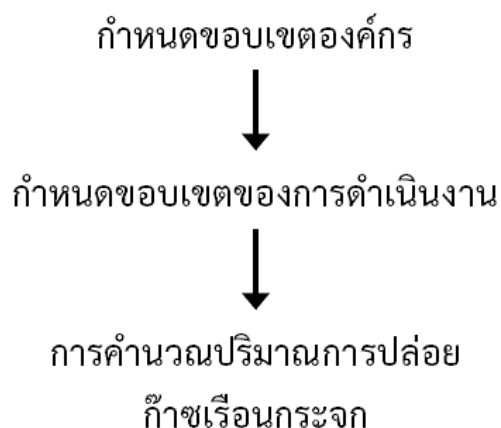
เทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดูแลพื้นที่ปกครองประมาณ 85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 57,000 ไร่ ประกอบด้วย 10 หมู่บ้าน ทางด้านประชากร ณ เดือนธันวาคม พ.ศ.2562 เทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีประชากร 6,821 คน โครงสร้างองค์กรของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ประกอบด้วย 3 ส่วนงาน ได้แก่ สำนักงานปลัดเทศบาล กองคลัง และกองช่าง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างการบริหารงานเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง

4. วิธีการวิจัย

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ใช้แนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กร (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018) มีกรอบแนวคิดในการประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลแม่ทะ จังหวัดลำปาง เพื่อประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง และหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับการดำเนินกิจกรรมขององค์กร โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก หรือ อบก. ประกอบด้วยการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

4.1 การกำหนดขอบเขตองค์กร

ในการประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีการกำหนดขอบเขตการประเมินโดยพิจารณาจากแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรรวมไปถึงเป้าหมายที่สำคัญคือ การดำเนินกิจกรรมเพื่อก่อให้เกิดการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสามารถดำเนินการได้ภายในองค์กรเอง ดังนั้น ขอบเขตในการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กรของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง จึงถูกกำหนดให้เป็นแบบควบคุมการดำเนินงาน (Operational control) ซึ่งกิจกรรมที่ถูกประเมินทั้งหมดอยู่ภายใต้การควบคุมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง โดยอาศัยการรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กร (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018)

4.2 การกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง จะทำการประเมินในปี 2562 โดยมีก๊าซเรือนกระจกที่จะทำการพิจารณา ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตัสออกไซด์ (N_2O) กลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) กลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรฟลูออไรด์ (NF_3) มีการกำหนดขอบเขตการดำเนินงานโดยแบ่งตามกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดจากการดำเนินงานขององค์กรซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ครอบคลุมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร ดังนี้

- การเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรต่าง ๆ ประกอบด้วย รถขนขยะ เครื่องตัดหญ้า รถดับเพลิง และรถประจำตำแหน่งของนายกเทศมนตรี

- การรั่วไหลของสารทำความเย็น R32

ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมขององค์กร จากการใช้พลังงานไฟฟ้า

ประเภทที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมขององค์กร จากการจัดการขยะ และการใช้กระดาษ

4.3 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การจัดทำบัญชีรายการสำหรับคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามประเภทของกิจกรรมตามหัวข้อ 3.2 ซึ่งรวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากการดำเนินงานของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในปี 2562 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลกิจกรรมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในปี 2562

ประเภท	ข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณ	หน่วย
1	การเผาไหม้อยู่กับที่ (Stationary combustion)		
	- ดีเซล (Diesel)	60.25	ลิตร
	การเผาไหม้เคลื่อนที่ (Mobile combustion)		
	- ดีเซล (Diesel)	4,101.79	ลิตร
	- เบนซิน (Gasoline)	150.61	ลิตร
	การรั่วไหล (Fugitive emissions)		
	- มีเทนจากการจัดการของเสียของห้องน้ำ	162.11*	กิโลกรัม
	สารทำความเย็น (น้ำยาแอร์)		
	- R32	0.04	กิโลกรัม
2	ไฟฟ้า	88,058.15	kWh
3	ขยะ	2,628.00	ตัน
	กระดาษ	7,732.5	กิโลกรัม

*คำนวณจากจำนวนพนักงานที่ทำงานในปี 2562

ข้อมูลประเภทที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ประกอบด้วย ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่กับที่ไม่มี ก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เคลื่อนที่ ได้แก่ การใช้ น้ำมันดีเซล และเบนซินของยานพาหนะของพนักงานในองค์กร รถเก็บขยะ รถดับเพลิง เครื่องตัดหญ้า รถประจำตำแหน่งของนายกขององค์กร มีการเก็บข้อมูลโดยอ้างอิงปริมาณการใช้ จากใบเสร็จรับเงินจากการซื้อน้ำมันของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ปริมาณมีเทนที่เกิดจากการรั่วไหลของห้องน้ำ สามารถคำนวณได้จากของเสียที่เกิดจากพนักงานที่ทำงานในเทศบาลในปี 2562 การรั่วไหลของสารทำความเย็น R32 ทางเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ไม่ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ประมาณการการรั่วไหลของสารทำความเย็น R32 โดยอาศัยแนวทาง

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018)

ข้อมูลประเภทที่ 2 การใช้ไฟฟ้า รวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าปี 2562 จากใบเสร็จการใช้ไฟฟ้าของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในปี 2562 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมจำนวน 88,058.15 หน่วย

ข้อมูลประเภทที่ 3 ปริมาณขยะของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง รวบรวมจากบันทึกขยะของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ที่มีการจัดเก็บทุกวันรถเก็บขยะหนึ่งคันสามารถเก็บขยะได้ 7,200 กิโลกรัม ในปี 2562 มีการจัดเก็บขยะของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปางทั้งสิ้น 2,628,000 กิโลกรัม มีการกำจัดขยะของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ด้วยวิธีการแบบฝังกลบโดยขนาดบ่อฝังกลบมีขนาด $10 \times 25 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตร ในส่วนของปริมาณการใช้กระดาษภายในเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง รวบรวมข้อมูลจากรายการสั่งซื้อกระดาษของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง

การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ใช้สมการและการคำนวณตามคู่มือการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการนำข้อมูลกิจกรรม (Activity data: AD) คูณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ตามสมการที่ 1 (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018)

$$GHG_i = AD_i \times EF_i \quad (1)$$

โดยที่

GHG_i คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรม i มีหน่วยเป็นกิโลกรัมหรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$ หรือ tCO_2eq)

AD_i คือ ข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีหน่วยแตกต่างกันไปตามกิจกรรม i

EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรม i (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2018)

สมการที่ 1 สามารถใช้คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล ไฟฟ้าและกระดาษ โดยค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.4999 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/kWh (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2020) ส่วนกิจกรรมอื่นสามารถคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแยกกิจกรรมได้ ดังนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการกำจัดขยะ สามารถคำนวณได้จากการเกิดมีเทนในการกำจัดขยะแบบเทกอง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 (IPCC, 2006)

$$GHG_{MSW} = MSW \times L_0 \times 28 \quad (2)$$

โดยที่

GHG_{MSW}	คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมหรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$ หรือ tCO_2eq)
MSW	คือ ปริมาณขยะ มีหน่วยเป็นตัน
L_0	คือ ศักยภาพของการเกิดมีเทน (ตันมีเทน/ตันขยะ)

ค่า 28 ในสมการที่ 2 คือ ค่าศักยภาพทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential; GWP) ของมีเทน ตามรายงานฉบับที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) (IPCC, 2006)

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการของเสียของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 (IPCC, 2006)

$$GHG_{Septic tank} = TOW \times EF \times 28 \quad (3)$$

โดยที่

$GHG_{Septic tank}$	คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการของเสียมีหน่วยเป็นกิโลกรัมหรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$ หรือ tCO_2eq)
TOW	คือ Total Organic Wastewater ($kgBOD/ปี$)
L_0	คือ Emission factor ($kgCH_4/kgBOD$)

5. ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกและอภิปรายผล

ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง 3 ขอบเขต ค่าศักยภาพทำให้เกิดโลกร้อนในขอบเขตที่ 2 การคำนวณการเกิดมีเทนจากกองขยะ ค่าศักยภาพทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential; GWP) ของมีเทน ตามรายงานฉบับที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) (IPCC, 2006) และการรั่วไหลของ R32 ทำการประมาณค่าการรั่วไหลจากแนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กรโดยประมาณการการรั่วไหลร้อยละ 5 พบว่า ในปี 2562 เทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 2,204.63 tCO_2eq ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในปี 2562

ประเภท	ข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	GHG (kgCO ₂ eq)	GHG (tonCO ₂ eq)	Contribution (%)
1	การเผาไหม้อยู่กับที่ (Stationary combustion) - ดีเซล (Diesel)	162.68	0.16	0.01%
	การเผาไหม้เคลื่อนที่ (Mobile combustion) - ดีเซล (Diesel)	11,076.00	11.08	0.50%
	- เบนซิน (Gasoline)	328.37	0.33	0.01%
	การรั่วไหล (Fugitive emissions) - มีเทนจากระบบ Septic tank	4,539.02	4.54	0.21%
	การรั่วไหลของสารทำความเย็น (น้ำยาแอร์) - R32	26.23	0.03	0.00%
2	การใช้ไฟฟ้า	44,020.27	44.02	2.00%
3	มีเทนจากการจัดการขยะแบบเทกอง	2,128,227.93	2,128.23	96.53%
	การใช้กระดาษ	16,253.72	16.25	0.74%
รวม 1+2+3		1 + 2 + 3	2,204.63	100.00%

ในปี 2562 เทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 ที่มาจากการจัดการขยะแบบเทกองที่สุด โดยเทศบาลต้องเป็นคนที่รับผิดชอบในการจัดการขยะที่เกิดขึ้นในเทศบาลทั้งหมด ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะ ซึ่งการจัดการขยะของเทศบาลดำเนินการโดยการเทกองที่มีปริมาณ 625 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการนำดินกลบด้านหน้าเมื่อขยะเต็มพื้นที่ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีผลทำให้เกิดมีเทนที่เป็นก๊าซเรือนกระจกขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลายคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 96.53 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในขอบเขตที่ 2 มีค่าเท่ากับ 44.02 tCO₂eq คิดเป็นสัดส่วนการปล่อยประมาณร้อยละ 2 ของการปล่อยทั้งหมดของเทศบาลในปี 2562 โดยมาจากการใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงานเทศบาล ในส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งปล่อยอื่น ๆ ประกอบด้วย การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง มีเทนจากระบบบ่อเกรอะ การรั่วไหลของสารทำความเย็น R32 การใช้กระดาษ มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าร้อยละ 1

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะ โดยเฉพาะขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร กระดาษ ใบไม้ เป็นต้น โดยเฉพาะเศษอาหารที่เมื่อย่อยสลายในสภาวะที่ไร้อากาศแล้วจะทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง เนื่องจากมีสัดส่วนในองค์ประกอบของขยะในปริมาณที่สูง ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง แล้วพบว่า เศษอาหารมีสัดส่วนสูงเกือบร้อยละ 70 ของขยะทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนองค์ประกอบขยะของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง

ชนิด	ปริมาณ (kg)	สัดส่วน (%)
1. ผักผลไม้และเศษอาหาร	1,670,619.60	63.57
2. กระดาษ	215,233.20	8.19
3. พลาสติก	442,292.40	16.83
4. ผ้า	36,003.60	1.37
5. ไม้	19,447.20	0.74
6. ยางและหนัง	13,140.00	0.5
7. แก้ว	91,191.60	3.47
8. โลหะ	55,188.00	2.10
9. อื่น ๆ	84,884.40	3.23
รวม	2,628,000	100

แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลอาจต้องทำงานร่วมกันกับประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตเทศบาลที่รับผิดชอบเพื่อลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่จะนำมาเทกอง ซึ่งพบว่าหากมีการดำเนินกิจกรรมในการลดขยะอินทรีย์ในพื้นที่ จะสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลลงได้ โดยโครงการต่าง ๆ ที่ดำเนินการจะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้

การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรมีหลากหลายวิธีที่จะดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการเปลี่ยนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 เป็นหลอด LED (Kerdlap, P., 2017) มีการออกแบบสมาร์ตมิเตอร์สำหรับการจัดการพลังงานไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน (Maneechot, P., Wongpanyo, W. and Vichanpool, B., 2020) ในเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ได้ทำการหาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์กร เพื่อให้เหมาะสมกับการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ซึ่งได้กำหนดไว้ 3 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการดำเนินกิจกรรมของเทศบาล

กิจกรรม	รายละเอียด	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้ (tCO ₂ eq)	สัดส่วนที่ลดลงได้ (%)
ระบบ Biogas ในครัวเรือน	ให้ทุกครัวเรือน/ร้านค้า มีระบบ Biogas ในครัวเรือน โดยนำก๊าซที่ได้ไปใช้ในการประกอบอาหาร*	1,527.27**	69.27
การนำใบไม้มาทำปุ๋ยอินทรีย์	นำเศษกิ่งไม้/ใบไม้จากบ้านเรือนมาทำปุ๋ยเพื่อใช้ในครัวเรือนและทดแทนปุ๋ยเคมี***	23.75	1.08
การจัดเก็บขยะแบบเชิงกลชีวภาพ (Mechanical Biological Treatment; MBT)	นำขยะทั้งหมดเข้าระบบกำจัดขยะแบบเชิงกลชีวภาพ****	2,128.23	96.53

*สมมติว่าการเก็บรวบรวมได้ทั้งหมดและระบบไม่มีการรั่วไหล

**ไม่รวมการทดแทนแอลพีจี

***สมมติให้เป็นแบบพลิกกองและไม่เกิดมีเทนระหว่างการทำปุ๋ย

****สมมติให้ระหว่างการย่อยสลายขยะสัมผัสอากาศเพียงพอและไม่เกิดมีเทน

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า การกำจัดขยะแบบเชิงกลชีวภาพซึ่งเป็นกระบวนการทางชีววิทยาของแบคทีเรียในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ จะอาศัยแอโรบิกแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลาย (Ministry of Science and Technology, 2017) จะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในปี 2562 ได้ถึง 2,128.23 tCO₂eq หรือกว่าร้อยละ 96 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในปี 2562 รองลงมา คือ การส่งเสริมให้แต่ละครัวเรือนมีระบบ Biogas เพื่อกำจัดขยะจากเศษอาหารสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 1,527.27 tCO₂eq หรือกว่าร้อยละ 69.27 และการทำปุ๋ยอินทรีย์จากใบไม้สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 23.75 tCO₂eq หรือประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น

6. สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ตามแนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ในปี 2562 พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นมากที่สุดของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง คือ ขอบเขตที่ 3 จากการจัดการขยะแบบเทกอง มีสัดส่วนร้อยละ 96.53 ส่วนไฟฟ้ามีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในองค์กรร้อยละ 2 สำหรับแหล่งปล่อยอื่น ๆ มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง มุ่งเน้นไปที่การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะ ซึ่งจากการประเมินพบว่า การนำขยะไปกำจัดด้วยระบบเชิงกลชีวภาพจะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ราวร้อยละ 96 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด แต่หากการดำเนินการดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม เนื่องจากเทศบาลไม่มีระบบกำจัดขยะดังกล่าว การส่งเสริมให้แต่ละครัวเรือนมีระบบ Biogas เพื่อลดขยะอินทรีย์ในการนำมาเทกอง เมื่อพิจารณาแล้วการส่งเสริมให้ครัวเรือนมีระบบ Biogas จะเป็นแนวทางที่เหมาะสมกับเทศบาลตำบลแม่ทะมากกว่าการกำจัดขยะด้วยระบบเชิงกลชีวภาพ เนื่องจากเป็นโครงการที่สามารถดำเนินการได้เองและมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำว่า เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, [online], Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>, access on December 2, 2019.
- Kerdlap, P. (2017). The Design and Installation of Illumination System for Energy Saving by Using LED Lamp of Fluorescent T8: Faculty of Engineering, Eastern Asia university. **EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology**. Vol. 11 No. 1: January – April. pp. 140-147.
- Maneechot, P., Wongpanyo, W., and Vichanpool, B. (2020). DEVELOPMENT OF SMART METER FOR ELECTRICITY CONSUMPTION MANAGEMENT IN ENERGY PARK, KAMPHAENGPHETRAJABHAT UNIVERSITY. **Academic Journal Uttaradit**

- Rajabhat University (Science and Technology)**. Vol. 15. No 1: January – June. pp. 51-66.
- Ministry of Science and Technology. **Integrate Solid Waste Management**. [online]. Available: <https://www.mhesi.go.th/main/th/165-knowledge/practical-rad/4041--integrated-solid-waste-management-iswm>. access on June 6, 2017.
- Nualaong, P. (2020). Development of Energy Efficient Power Management Model of the office Provincial Administration of Thailand in the Future. **Journal of Yala Rajabhat University**. Vol.15 No.3: September – December 2020. pp. 314-318.
- Pinate, W., and Dungpontong, D. (2018). Production or Refuse-Derived Fuel-5(RDF-5) from Municipal Waste: A Case Study involving Rajabhat Mahasarakham University. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 9. No 1: January – June. pp. 72-86.
- Taksin, N. (2015). Participatory Implementation Plan in Electricity Reduction of Suan Dusit Rajabhat University. **Journal of Multidisciplinary in Social sciences**. Vol. 11 No. 3: September - December 2015. pp. 65-81.
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2018). **Carbon Footprint for Organization**. pp. 29-33.
- _____. (2020). Emission factor for **Carbon Footprint for Organization**.

การศึกษาและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการกำจัดซาก

แผงโซลาร์เซลล์: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

The Study and Assessment of Greenhouse Gas Emissions

from the Solar Panel Waste Management Process:

Case Study at the University of Phayao

พุทธิ อุบลสุข¹, ฉัตรแก้ว ชัยลือชา^{2*} และสุรัตน์ เศษโพธิ์³

Putthadee Ubolsook¹, Chatkaew Chailuecha^{2*} and Surat Sedpho³

^{1,2*,3}คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

โทร 08 0406 8074 E-mail: chatkaew.ch@up.ac.th

^{1,2*,3}School of Energy and Environment, University of Phayao

19 Moo 2 Tambon Maeka Amphur Muang Phayao 5600

วันที่รับบทความ 24 สิงหาคม 2563

Received: Aug. 18, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 19 ธันวาคม 2563

Revised: Dec. 19, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563

Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาดจากโซลาร์เซลล์จำนวนมาก แต่ปัญหาที่ตามมาคือ ซากแผงโซลาร์เซลล์เมื่อหมดอายุการใช้งาน ซึ่งการกำจัดซากเหล่านี้สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุการใช้งานของมหาวิทยาลัยพะเยา และประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการขนส่งโดยส่งไปกำจัด ณ ประเทศญี่ปุ่น และ 2) ขั้นตอนการรีไซเคิลและกำจัดของเสีย ตามหลักการบริหารจัดการของเสีย อิเล็กทรอนิกส์ ของยุโรป (WEEE Directive: Waste Electrical and Electronic Equipment) ของแผงโซลาร์เซลล์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ จำนวน 1 แผง ขนาด 250 วัตต์ พบว่ามีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 8.6370 kgCO₂eq/module เป็นค่าจากการขนส่ง 2.1295 kgCO₂eq/module และการรีไซเคิล 6.5075 kgCO₂eq/module ซึ่งหากมีโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทยจะสามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งลงได้และแนวทางอื่น ๆ ที่สามารถทำได้คือ เลือกใช้เทคโนโลยีการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพสูงใช้พลังงานต่ำ และสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าเพื่อมีส่วนช่วยในการลดการปล่อยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, การกำจัดซาก, แผงโซลาร์เซลล์, ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Abstract

Thailand has promoted the generation of electricity using solar power renewable energy. However, the disposal of solar panels at the end of their life impacts on the environment, especially in terms of greenhouse gas emissions. This research focused on an evaluation of greenhouse gas release in the processes of solar panel waste disposal. This study conducted a scenario analysis of expired solar panels located at the

University of Phayao sent for disposal in Japan, and assessed the WEEE Directive (Waste Electrical and Electronic Equipment) in the recycling process. Two processes were evaluated: the transportation and recycling of 250-watt, polycrystalline silicon solar cells, based on a product life cycle assessment. The results found that the total greenhouse gas emission value was 8.6370 kgCO₂eq/ module- 2.1295 kgCO₂eq/ module from transportation and 6.5075 kgCO₂eq/ module from the recycling processes in Japan. Establishing a recycling plant in Thailand will diminish the greenhouse gas emissions from transportation. In addition, the use of renewable energy in electricity generation should be encouraged, as well as the selection of highly-efficient recycling technology to reduce the environmental impact.

Keywords: Greenhouse Gas Emission, Disposal, Solar cell, Environmental Impact

1. บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันนี้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทุกปี กระทรวงพลังงานจึงมีนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558 – 2579 กำหนดให้ภายใน 15 ปี นับจากนี้ต้องมีการผลิตไฟฟ้าด้วยแผงโซลาร์เซลล์มากกว่า 8,700 เมกะวัตต์ ทำให้มีการลงทุนผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องทุกปี ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 20 - 25 ปี (Tao, J. & Yu, S., 2015; Weckend, S. et al., 2016) ถึงแม้พลังงานที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์นับเป็นพลังงานสะอาดไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างการผลิตไฟฟ้า แต่ภายหลังจากหมดอายุการใช้งานจะเกิดขยะที่มาจากซากแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องกำจัด โดยพบว่าปี พ.ศ.2565 ประเทศไทยจะเริ่มมีซากแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องกำจัด และท้ายที่สุดจะมีปริมาณมากถึง 24 ล้านแผง ในอีก 15 - 25 ปี (Rachdawong, P. et al., 2016) และหากไม่มีการเตรียมการบริหารจัดการหรือมาตรการในการกำจัดที่เหมาะสม ปัญหาที่จะเกิดขึ้นคือ ซากแผงโซลาร์เซลล์ปริมาณสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้างมากขึ้น

สำหรับประเทศไทยขยะส่วนใหญ่จะถูกดำเนินการจัดการโดยใช้วิธีการฝังกลบเป็นหลัก (Sununta, N. & Sampattagul, S., 2017) ผลที่ตามมาคือ ก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน (David, A. et al., 2015) ที่เป็นวิกฤติการณ์สิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ทำให้ภาครัฐมุ่งเน้นการลดอัตราการสร้างปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพื่อบรรลุเป้าหมายตามแผนสนับสนุนในระดับประเทศ (Nationally Determined Contributions: NDCs) ที่แสดงถึงเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกกลางภายใต้สนธิสัญญาปารีส (Chaiyadecha, V., 2018) ซึ่งวิธีการกำจัดขยะที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือ การรีไซเคิลหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ (Lunardi, M. M. et al., 2018) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ แต่ถึงอย่างไรในการรีไซเคิลยังคงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงาน และปัจจุบันประเทศไทยนั้นยังไม่มีโรงงานรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้คือ การส่งแผงโซลาร์เซลล์ไปกำจัดยังประเทศที่มีการตั้งโรงงานรีไซเคิลแล้ว โดยกลุ่มประเทศแถบเอเชียที่มีความตื่นตัวและพร้อมรับรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์คือ ประเทศจีน ญี่ปุ่น อินเดีย

และเกาหลีใต้ และขณะนี้ประเทศไทยญี่ปุ่นได้ทำการวิจัยและเผยแพร่แนวทางการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ (Auer, A., 2015) โดยใช้หลักการบริหารจัดการของยุโรป (WEEE Directive: Waste Electrical and Electronic Equipment) (Dias, P. et al., 2016) และมีบริษัท PV Techno Cycle Co., Ltd. (Solar Trade Platform and Directory of Solar Companies, 2019) ที่รับรีไซเคิลแผงตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 เป็นต้นมา

ด้วยเหตุนี้ มหาวิทยาลัยพะเยาจึงได้เริ่มมีการวางแผนสำหรับการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคาขนาด 500 กิโลวัตต์ ภายหลังจากหมดอายุการใช้งานเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่กำลังจะเกิดตามมา คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ที่สามารถดำเนินการได้ตามสถานการณ์ปัจจุบันคือการส่งไปกำจัดยังต่างประเทศ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้ตระหนักพิจารณาวางแผนล่วงหน้าสำหรับการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ที่กำลังเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทยต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ภายหลังจากหมดอายุการใช้งาน กรณีศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

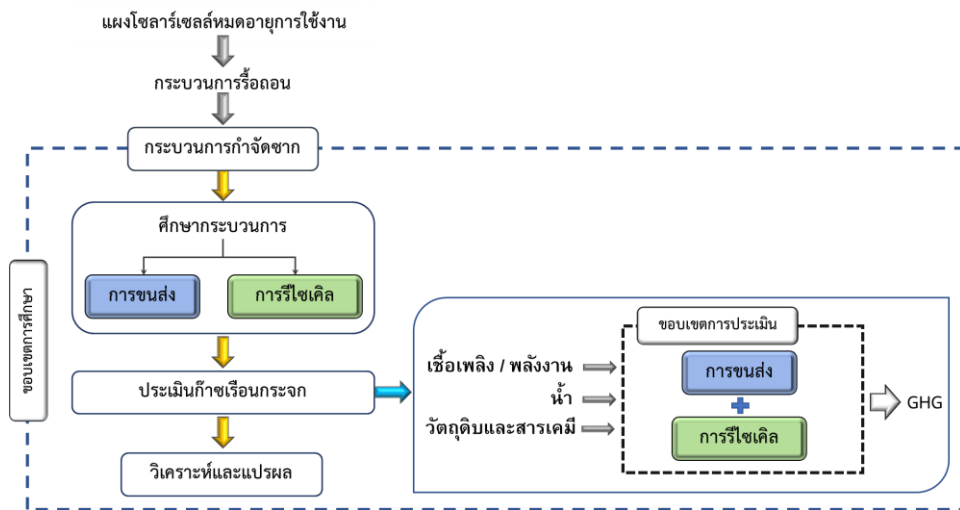
3.1 กำหนดขอบเขตการศึกษาและประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ภายหลังจากหมดอายุการใช้งานของมหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา เริ่มต้นภายหลังจากกระบวนการรื้อถอน (ภาพที่ 1) ประกอบด้วย

1) ศึกษากระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน

2) ประเมินก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ กำหนดขอบเขตของการประเมินแบบ Cradle to gate มีหน่วยการศึกษา (Functional Unit) คือ แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells) จำนวน 1 แผง (Module) ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 250 วัตต์ น้ำหนักแผง 18.2 กิโลกรัม ใน 2 ขั้นตอน คือ

(2.1) ประเมินขั้นตอนการขนส่ง กำหนดให้ขนส่งจากมหาวิทยาลัยพะเยา ไปกำจัดในโรงงาน PV Techno Cycle Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

(2.2) ประเมินขั้นตอนการรีไซเคิล ตามหลักการบริหารจัดการของยุโรป (WEEE Directive: Waste Electrical and Electronic Equipment) (Dias, P. et al., 2016)



ภาพที่ 1 ขอบเขตการศึกษาและประเมินก๊าซเรือนกระจก (ในกรอบเส้นประ)

3.2 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การวิเคราะห์โดยการคำนวณตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ดังสมการ (1) (Sampattagul, S., 2012)

$$\text{GHG emission} = \text{EL}_i \times \text{EF}_i \quad (1)$$

โดยที่ GHG emission คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม (kgCO_2eq) EL_i คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Unit) และ EF_i (Emission Factor) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($\text{kgCO}_2\text{eq/Unit}$) และ i คือ กิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเก็บข้อมูลแยกตามช่วงวัฏจักรชีวิตของระบบ จากฐานข้อมูล Ecoinvent โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.0 และคู่มือของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate: IPCC) โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะรายงานในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 แผง ($\text{kgCO}_2\text{eq/module}$)

4. ผลการวิจัย

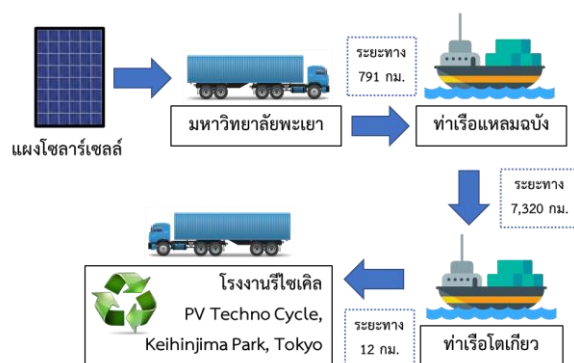
4.1 ผลการศึกษากระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยการส่งไปกำจัดยังต่างประเทศ ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการขนส่งและขั้นตอนการรีไซเคิลและกำจัดของเสีย มีผลการศึกษาดังนี้

1) ขั้นตอนการขนส่งแผงโซลาร์เซลล์ไปโรงงานรีไซเคิลในต่างประเทศ เส้นทางขนส่งมี 3 ช่วง (ภาพที่ 2) คือ การขนส่งภายในประเทศ การขนส่งด้วยเรือบรรทุกระหว่างประเทศ และการขนส่งในต่างประเทศ มีรายละเอียดแต่ละช่วงดังนี้

(1.1) การขนส่งภายในประเทศ เริ่มต้นจากจุดรีดถอนคือ มหาวิทยาลัยพะเยา สามารถขนส่งทางถนนด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ระยะทาง 791 กิโลเมตร

(1.2) การขนส่งด้วยเรือบรรทุกระหว่างประเทศ เป็นการขนส่งไปยังท่าเรือโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ระยะทาง 7,320 กิโลเมตร (Sea route and distance, 2020)

(1.3) การขนส่งในต่างประเทศ เป็นการขนส่งจากท่าเรือโตเกียวไปยัง PV Techno Cycle Co., Ltd., Keihinjima Park, Tokyo ด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ด้วยระยะทาง 12 กิโลเมตร



ภาพที่ 2 เส้นทางการขนส่งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อกำจัดซาก

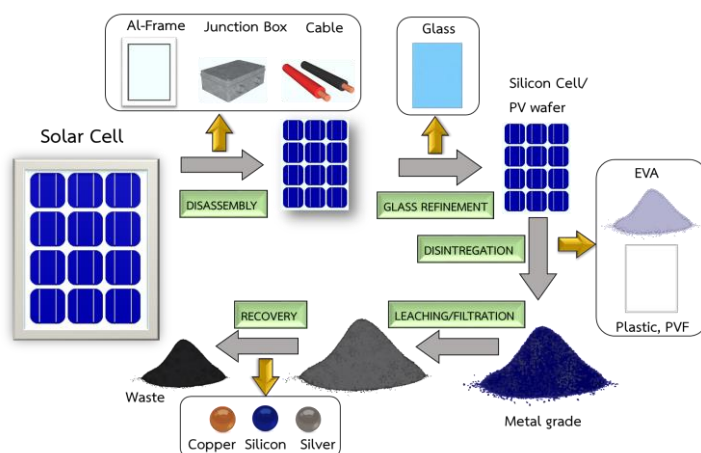
2) ขั้นตอนการรีไซเคิลและกำจัดของเสีย แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบแผงโซลาร์เซลล์ ประเภทซิลิกอน ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ และขั้นตอนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้สำหรับการประเมินก๊าซเรือนกระจก มีผลการศึกษาดังนี้

(2.1) องค์ประกอบแผงโซลาร์เซลล์ประเภทซิลิกอน ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ คือ กรอบอลูมิเนียม กระจกใส ยางอีวีเอ เซลล์ซิลิกอน แผ่นพลาสติก และกล่องควบคุม สำหรับเซลล์ซิลิกอนประกอบไปด้วยฟิล์มเคลือบกันสะท้อน ขั้วไฟฟ้า (โลหะเงิน ทองแดง) ซิลิกอน และฟิล์มเคลือบอลูมิเนียม มีน้ำหนักประกอบแผงแสดงดังตารางที่ 1 (Wambach, K., 2017; Cynthia, E.L. et al., 2016; Shahariar, M.C. et al., 2020; Philippe, S. & Rolf, F., 2018)

ตารางที่ 1 น้ำหนักวัสดุของแผงโซลาร์เซลล์ 1 แผง (ขนาด 250 วัตต์) (Wambach, K., 2017; Cynthia, E.L. et al., 2016)

วัสดุ	น้ำหนักวัสดุ (กิโลกรัม)	ปริมาณสัมพัทธ์ (%)	รายละเอียด
กระจก	12.740	70.000	กระจกนิรภัย
กรอบอลูมิเนียม	3.270	18.000	-
โพลีเมอร์	0.920	5.100	เอทิลีนไวนิลแอซีเตด, EVA
เซลล์ซิลิกอน	0.660	3.650	เซลล์ 36 เซลล์ ต่ออนุกรม ชนิดโพลีคริสตัลไลน์
แผ่นพลาสติก	0.270	1.500	โพลีไวนิลฟลูออไรด์ (PVF)
สายเคเบิล	0.180	1.000	อยู่ภายในกล่องควบคุมประจุไฟฟ้า
อลูมิเนียม	0.090	0.530	ส่วนประกอบวงจรไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์
ทองแดง	0.020	0.110	ส่วนประกอบวงจรไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์
เงิน	0.009	0.055	ส่วนประกอบวงจรไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์
อื่น ๆ	0.009	0.055	-
Total	18.200	100.00	-

(2.2) ขั้นตอนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ เริ่มมีการศึกษาและวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ.1990 (Weckend, S. et al., 2016; Corcelli, F. et al., 2017) ปัจจุบัน เทคโนโลยีการรีไซเคิลนั้นมีหลากหลายขั้นตอนและหลากหลายวิธี (Kang, S. et al., 2012; Granata, G., 2014; Kemp, K. & Almakhlouq, R. 2016; Cynthia, E.L. et al., 2016) มีการพัฒนาต่อเนื่องโดยการใช้เทคโนโลยีผสมผสานตามหลักทางกลศาสตร์ เคมี และฟิสิกส์ (Tammaro, M. et al, 2015; Lunardi M. M. et al., 2018; Komoto, K. & Jin-Seok, L., 2018; Pagnanelli, F. et al., 2017; Corcelli, F., 2017) จึงนำหลักการบริหารจัดการของยุโรปที่เรียกว่า WEEE Directive (Waste Electrical and Electronic Equipment) (Dias, P. et al., 2016) มาใช้ในการประเมินการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ โดยสามารถจัดกลุ่มขั้นตอนการรีไซเคิลได้ 5 ขั้นตอน (ภาพที่ 3) ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 คือ การถอดแยกวัสดุ (Disassembly) (Wen-His, H. et al., 2017) คือการถอดกรอบอลูมิเนียม กล่องควบคุม และสายเคเบิล ซึ่งกรอบอลูมิเนียมสามารถนำกลับมาใช้หรือนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นใหม่ (Dias, P. et al., 2016) กล่องควบคุมและสายเคเบิล จะนำเข้าสู่กระบวนการเผา เพื่อแยกโลหะและนำกลับไปใช้ใหม่ (Kemp, K. & Almakhlouq, R., 2016) ขั้นตอนที่ 2 คือ การแบ่งละเอียด (Glass Refinement) ใช้ความร้อนแยกชิ้นกระจกออกจากเซลล์ซิลิกอน ซึ่งกระจกสามารถนำไปใช้หรือรีไซเคิลได้ (Kang, S. et al., 2012) ขั้นตอนที่ 3 คือ การสลายและแยกส่วน (Disintegration) เป็นขั้นตอนการละลายอีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate: EVA) ซึ่งเป็นยางทำหน้าที่ยึดระหว่างเซลล์ซิลิกอน กับแผ่นพลาสติกแข็ง (Polyvinyl Fluoride: PVF) ที่อยู่ด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์ ลักษณะสีขาว แข็ง (Kim, Y. & Lee, J., 2012) เพื่อแยกเซลล์ซิลิกอนออกจากแผ่นพลาสติกแข็ง หลังจากนั้นจะนำยางอีวีเอและแผ่นพลาสติกแข็งไปเผา เพื่อให้ได้ค่าพลังงานย้อนคืนกลับเข้ามาใช้ในกระบวนการ (Sukmin, K. et al., 2012) สำหรับเซลล์ซิลิกอนจะนำไปบดย่อยเพื่อส่งเข้าสู่ ขั้นตอนที่ 4 คือ การเผาและละลายด้วยกรดไนตริก (Leaching / Filtration) (Cynthia, E.L. et al., 2016) เป็นการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการให้ความร้อนกับเซลล์ซิลิกอน ขั้นตอนที่ 5 คือ การนำกลับ (Recovery) ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าแยกโลหะซิลิกอน เงินและทองแดง สำหรับวัสดุและสารละลายที่เหลือจะถูกทำให้มีสถานะเป็นกลางและส่งกำจัดด้วยการฝังกลบต่อไป (Daniela, S. et al., 2018)

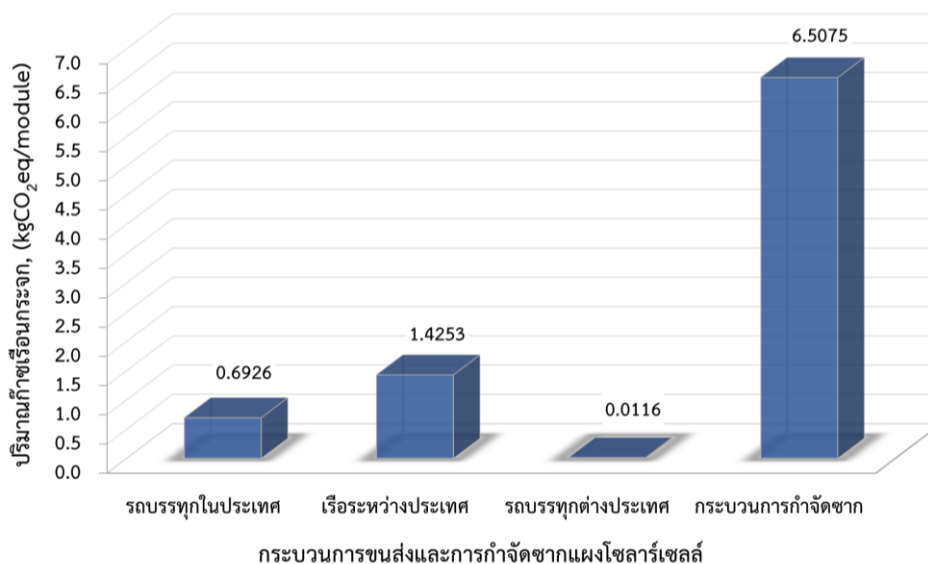


ภาพที่ 3 กระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ (Cynthia, E.L. et al., 2016)

4.2 ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ภายหลังหมดอายุการใช้งานของ มหาวิทยาลัยพะเยา เริ่มต้นประเมินภายหลังการรื้อถอนจาก 2 ส่วน คือ ขั้นตอนการขนส่ง และขั้นตอนการรีไซเคิลและกำจัดของเสีย ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามตารางที่ 2 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมเท่ากับ 8.6370 kgCO₂eq/module เป็นผลมาจากการขนส่ง 2.1295 kgCO₂eq/module และการรีไซเคิล 6.5075 kgCO₂eq/module

1) ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน (ภาพที่ 4) เป็นค่าจากการขนส่งภายในประเทศ การขนส่งด้วยเรือบรรทุกระหว่างประเทศและการขนส่ง ด้วยรถบรรทุกในต่างประเทศ มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.6926, 1.4253 และ 0.0116 kgCO₂eq/module ตามลำดับ

2) ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์และการกำจัด ของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานรีไซเคิล ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 4) เป็นค่าจาก ขั้นตอนการถอดแยกวัสดุ 1.9814 kgCO₂eq/module ซึ่งใช้น้ำมันและไฟฟ้าในการขนย้ายวัสดุที่มีน้ำหนักมาก การแยกชิ้นส่วน และการกำจัดกล่องควบคุมและสายเคเบิล ขั้นตอนการแบ่งละเอียด 0.7188 kgCO₂eq/module ใช้ไฟฟ้าในการให้ความร้อนเพื่อแยกกระจกและรีไซเคิลกระจก ขั้นตอนการสลายและแยกส่วน 2.2529 kgCO₂eq/module ใช้ไฟฟ้าในการแยกยางอีวีโอและแผ่นพลาสติกเพื่อนำไปเผาและบดย่อย เซลล์ซิลิกอน ขั้นตอนการเผาและละลายด้วยกรดไนตริก 0.3548 kgCO₂eq/module มีการใช้ไฟฟ้า ในกระบวนการเผา และขั้นตอนการนำกลับ 1.1997 kgCO₂eq/module ใช้ไฟฟ้าเพื่อทำให้โลหะ ซิลิกอน ทองแดง และเงิน ตกตะกอน (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการขนส่งและกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์

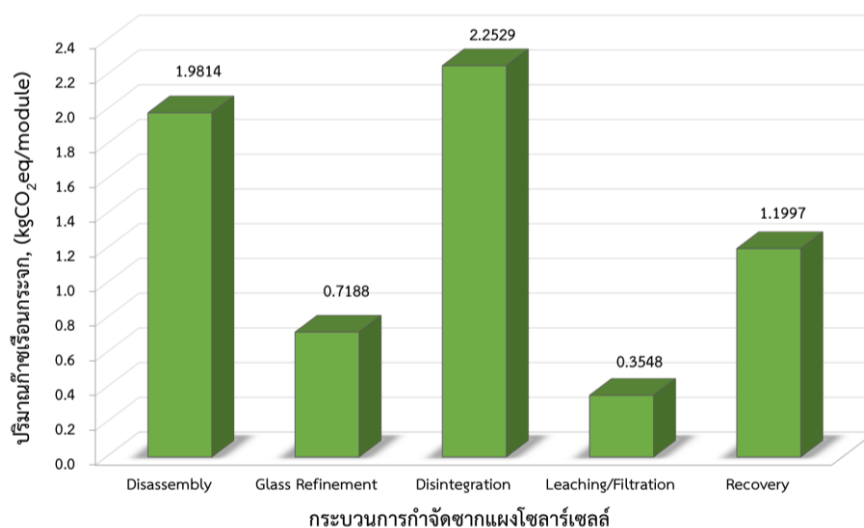
ตารางที่ 2 ค่าปริมาณและแหล่งข้อมูลอ้างอิงสำหรับอ้างอิงการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

ขั้นตอน	รายละเอียด	ข้อมูล	ปริมาณ	Unit	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
การขนส่ง	ภายในประเทศ	รถบรรทุก 10 ล้อ	791	tkm	Thai National LCI Database/MTEC
	ต่างประเทศ	(น้ำมันดีเซล)	12		(with TGO Electricity 2014)
	ระหว่างประเทศ	เรือบรรทุก	7,320	tkm	Transport, transoceanic freight ship, IPCC GWP 100a
(1) การถอดแยกวัสดุ ¹	อลูมิเนียม กล้อง	น้ำมันดีเซล	0.02	kg	Thai National LCI Database/MTEC
	ควมคุม, เคเบิล	ไฟฟ้า	0.1	MJ	Electricity medium voltage at grid/ JP ³
(2) การแบ่งละเอียด ¹	กระจก	ไฟฟ้า	0.075	MJ	Electricity medium voltage at grid/ JP
(3) การสลายและแยกส่วน ²	สลาย EVA	ไฟฟ้า	0.7	MJ	Electricity medium voltage at grid/ JP
	แผ่น PVF	ความร้อน	0.15	MJ	Heat natural gas at industrial furnace more than 100 kW, IPCC GWP 100a ³
(4) การเผาและสลายด้วยไนตริก ¹	สลายไนตริก	ไนตริก	0.14	kg	Nitric acid, in water (60% - HNO ₃) ³
		ความร้อน	0.015	MJ	Heat natural gas at industrial furnace more than 100 kW, IPCC GWP 100a
(5) การนำกลับ ¹	โลหะ (Si, Ag Cu)	ไฟฟ้า	1.33	kWh	Electricity medium voltage at grid/ JP
	ปรับสภาพ	การฝังกลบ	1.11	kg	Disposal, limestone residue, 5% water, to inert material landfill ³
	สภาวะเป็นกลางและส่งกำจัด	ตะกอน			
		การฝังกลบของเสียอันตราย	0.19	kg	Disposal, sludge, pig iron production, to residual material landfill ³

หมายเหตุ ¹ อ้างอิงข้อมูลจาก Cynthia, E.L. et al. (2016) และ Dias, P. et al. (2016)

² อ้างอิงข้อมูลจาก Wen-His, H. et al. (2017)

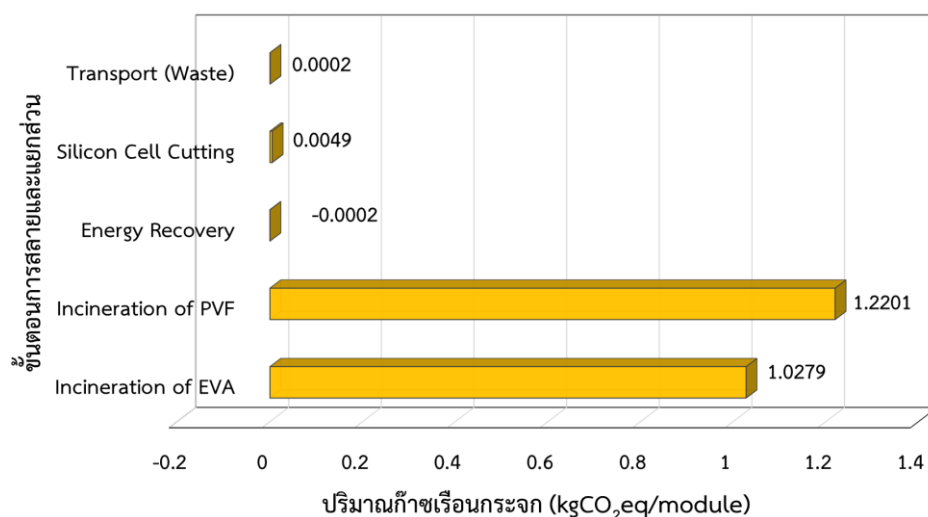
³ อ้างอิงข้อมูลจาก SimaPro 9.0



ภาพที่ 5 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกขั้นตอนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

(2.1) ก๊าซเรือนกระจกขั้นตอนการสลายและแยกส่วน มีค่าสูงที่สุดจากขั้นตอนทั้งหมด จึงวิเคราะห์ขั้นตอนนี้เพิ่มเติม พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจาก (ภาพที่ 6) การแยกและเผาอีวีเอ (Incineration of EVA) 1.0279 kgCO₂eq/module การแยกและเผาแผ่นพลาสติก (Incineration of PVF) 1.2201 kgCO₂eq/module การตัดและบดย่อยเซลล์ซิลิกอน (Silicon Cell Cutting) 0.0049 kgCO₂eq/module การขนส่งขยะไปกำจัด (Transport-waste) 0.0002 kgCO₂eq

/module และค่าพลังงานคืนกลับ (Energy Recovery) $-0.0002 \text{ kgCO}_2\text{eq/module}$ ซึ่งมาจากการนำอิวีเอและแผ่นพลาสติกบางส่วนมาเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนคืนกลับ ทำให้เห็นว่าขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยหลายวิธีการในการกำจัดของเสียใช้ไฟฟ้าในปริมาณมาก



ภาพที่ 6 ก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการสลายและแยกส่วน

การคาดการณ์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยการส่งไปกำจัดต่างประเทศของมหาวิทยาลัยพะเยา เมื่อหมดอายุการใช้งานที่กำลังการผลิต 500 กิโลวัตต์ มีแผงจำนวน 2,000 แผง จะมีค่า $17,274 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ สำหรับประเทศไทยที่อนาคตจะมีแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องเตรียมการกำจัดถึง 24 ล้านแผง (Rachdawong, P. et al., 2016) หากส่งไปกำจัดต่างประเทศจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง $207 \times 10^6 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ แต่หากมีความเป็นไปได้ในการที่จะลดระยะทางในการขนส่งด้วยการรีไซเคิลในประเทศไทย นั้นหมายถึงมีการตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศ จะทำให้มีโอกาสนี้จะสามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 16.7 จากขั้นตอนการขนส่ง

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 การศึกษาและประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ ภายหลังหมดอายุการใช้งานของมหาวิทยาลัยพะเยา สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การศึกษากระบวนการกำจัดซากแผงประกอบไปด้วยการศึกษา 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการขนส่ง แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ขนส่งภายในประเทศ ขนส่งระหว่างประเทศ และขนส่งในต่างประเทศ และขั้นตอนการรีไซเคิลและการกำจัดของเสีย แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน คือ การถอดแยกวัสดุ การแบ่งละเอียด การสลายและแยกส่วน การเผาและละลายด้วยไนตริก และการนำกลับ โดยจะมีวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คือ อลูมิเนียม กระจก ซิลิกอน เงิน และทองแดง

2) การประเมินก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ จาก 2 ส่วน คือ มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 8.6370 kgCO₂eq/module ซึ่งเป็นค่าที่มาจาก ขั้นตอนการขนส่งร้อยละ 25 และอีกร้อยละ 75 จากขั้นตอนการรีไซเคิลและกำจัดของเสีย

5.2 จากการศึกษากระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ในครั้งนี้เป็นรูปแบบที่เหมือนกันกับ Philippe, S. และ Rolf, F. (2018) ที่ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 3 กิโลวัตต์สูงสุด มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบได้เท่ากับ 2.2834 kgCO₂eq/module และ Cynthia, E.L. et al. (2016) ที่ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการกำจัด ซากแผงโซลาร์เซลล์ รวมน้ำหนักแผง 1,000 กิโลกรัม มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 6.734 kgCO₂eq/module ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลการประเมินในงานวิจัยนี้ เนื่องจากกระบวนการรีไซเคิล จะใช้ไฟฟ้าเป็นหลักและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้าในยุโรปมีค่าที่ต่ำกว่า ประเทศญี่ปุ่น (SimaPro 9.0) จึงส่งผลให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกัน นอกจากนี้ ระยะเวลาในการขนส่งเป็นเพียงการขนส่งภายในประเทศเท่านั้น

การศึกษาและประเมินก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการบริหารจัดการกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ที่กำลังจะเกิดขึ้นในมหาวิทยาลัย พะเยา พบว่าการวางแผนกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ ตามแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ การลดระยะทางขนส่ง นั้นหมายถึงควรมีการสร้างโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย นอกจากนี้ แนวทางที่จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ การเลือกใช้เทคโนโลยีการรีไซเคิล ที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานต่ำ และสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีส่วนทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง และเป็นการสนับสนุนการบรรลุ เป้าหมายตามเจตจำนงลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยร้อยละ 20 - 25 ในปี 2573 ซึ่งประโยชน์ สูงสุดต่อการบริหารทรัพยากรภายในประเทศตามแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ในการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- Auer, A. (2015). **Photovoltaic Module Decommissioning and Recycling in Europe and Japan: Current Methodologies, Norms and Future Trends**. Master's Thesis, Department of Urban and Rural Development, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Chaiyadecha, V. (2018). Legal Measures on the Reduction of Greenhouse Gas Emission from the Land Transportation. **Graduate Law Journal**, 11(2), April-June 2018. (in Thai)
- Corcelli, F., Ripa M.B. and Ulgiati, S. (2017). End-of-life treatment of crystalline silicon photovoltaic panels An emergy-based case study. **Journal of Cleaner Production**, 161, 1129-1142.

- Cynthia, E.L., Fulvio, A., Gian, A.B. and Lucia, M. (2016). Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 156, 101-111.
- Daniela, S., Ornella, M., Stefania, S., Mario, T. and Maria, C.L. (2018). Management of end-of-life photovoltaic panels as a step towards a circular Economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 2934–2945.
- David A.T., Ian, D. and Williams, S.K. (2015). Greenhouse gas emission factors recycling of source-segregated waste materials. **Resources Conservation and Recycling**, 105, 186-197.
- Dias, P., Javimczik, S., Benevit, M., Veit, H. and Bernardes, A.M. (2016). Recycling WEEE: Extraction and concentration of silver from waste crystalline silicon photovoltaic modules. **Waste Management**, 57, 220–225.
- Granata, G., et al. (2014). Recycling of photovoltaic panels by physical operations. **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**, 123, 239–248.
- Kang, S., Yoo, S., Lee, J., Boo, B. and Ryu, H. (2012). Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. **Renewable Energy**, 47, 152–159.
- Komoto, K. and Jin-Seok, L. (2018). **End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies**. Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).
- Kemp, K. and Almakhlouq, R. (2016). Photovoltaic: Life Cycle Analysis and End of Life Management for Materials Reuse and Waste Recycling. **Conference 2016: Renewable Energy World International**, University of South Florida, USA.
- Kim, Y. and Lee, J. (2012). Dissolution of ethylene vinyl acetate in crystalline silicon PV modules using ultrasonic irradiation and organic solvent. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 98, 317–322.
- Lunardi M. M., Alvarez-Gaitan, J. P., Bilbao, J. I., and Corkish, R. (2018). Comparative Life Cycle Assessment of End-of-Life Silicon Solar Photovoltaic Modules. **Apply Sciences**, 8, 1-15.
- Pagnanelli, F., et al. (2017). Physical and chemical treatment of end of life panels: An integrated automatic approach viable for different photovoltaic technologies. **Waste Management**, 59, 422-431.
- Philippe, S. and Rolf, F. (2018). **Life Cycle Assessment of current photovoltaic module recycling**. USA: IEA International Energy Agency, National Renewable Energy Laboratory.

- Rachdawong, P., et al. (2016). **Management of expired solar PV panels**. Bangkok: Office for Research and Development, Chulalongkorn University. (in Thai).
- Sampattagul, S. (2012). **Life Cycle Assessment of Products**. Chiang Mai: Faculty of Engineering, Chiang Mai University Publishing. (in Thai)
- Seaports: info, marketplace. (2018). **Sea rout and distance**. [online], Available: [http:// ports.com/sea-route/](http://ports.com/sea-route/). Access on February 1, 2020.
- Shahariar, M.C., et al. (2020). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. **Energy Strategy Reviews**, 27, 100430.
- Solar Trade Platform and Directory of Solar Companies. (2018). **PV Techno Cycle**, [online], Available: <https://pvtechno.info/reuse-panel-sales>. Access on March 30, 2020.
- Sukmin, K., et al. (2012). Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. **Renewable Energy**, 47, 152-159.
- Sununta, N. and Sampattagul, S. (2017). Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System. **Journal of Innovative Technology Research**, 1(1), 1-14. (in Thai)
- Tammaro, M., Rimauro, J., Fiandra, V., and Salluzzo, A. (2015). Thermal treatment of waste photovoltaic module for recovery and recycling: Experimental assessment of the presence of metals in the gas emissions and in the ashes. **Renewable Energy**, 81, 103-112.
- Tao, J. and Yu, S. (2015). Review on Feasible Recycling Pathways and Technologies of Solar Photovoltaic Modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 141, 108-124.
- Wambach, K. (2017). **Life Cycle Inventory of current photovoltaic module recycling processes in Europe**. USA: The United States Department of Energy and Electric Power Research Institute.
- Weckend, S., Wade, A.W. and Heath, G. (2016). **End-of-Life management solar photovoltaic panels**. USA: International Renewable Energy Agency (IRENA) and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems.
- Wen-His, H., et al. (2017). Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules. **Solar Energy**, 144, 22-31.

ระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติควบคุมด้วยซอฟต์แวร์แลปวิว

Automatic Movable Racking System

Controlled by LabVIEW

มนุศักดิ์ จานทอง^{1*}, สุรศักดิ์ ทิมพิทักษ์² และคุณากร อนุวัตพานิชย์³

Manusak Janthong^{1*}, Surasak Timpitak² and Khunakon Anuwatpanich³

^{1,2}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี

จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0 2549 3430 E-mail: manusak.j@en.rmutt.ac.th

³คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

^{1,2}Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thunyaburi, 39 M.1 Rangsit-Nakornnayok Rd.,

Klong 6, Thanyaburi, Pathum-Thani 12110 Tel. 0 2549 3430 E-mail: manusak.j@en.rmutt.ac.th

³Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thunyaburi,

39 M.1 Rangsit-Nakornnayok Rd., Klong 6, Thanyaburi, Pathum-Thani 12110

วันที่รับบทความ 19 พฤษภาคม 2563

Received: May. 19, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 9 กันยายน 2563

Revised: Sep. 9, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563

Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติ โครงสร้างของระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ ประกอบด้วย 1) ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ไม่ได้ จำนวน 2 แถว 2) ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ จำนวน 2 แถว ชั้นวางสินค้าเคลื่อนที่ได้แต่ละแถวถูกออกแบบให้สามารถรับภาระโหลดได้ 50 กก. โดยมีชุดส่งกำลังที่ทำให้ชั้นวางสินค้าเคลื่อนที่เป็นแบบบอลสกรู มีมอเตอร์ ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ขนาด 50 วัตต์ เป็นตัวต้นกำลังสำหรับระบบควบคุมระบบจัดเก็บสินค้าอัตโนมัติ ได้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมหลัก และพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW และใช้สื่อสารการควบคุมระบบแบบ CAN

จากการทดสอบระบบจัดเก็บสินค้าอัตโนมัติ ชั้นวางสินค้าเคลื่อนที่ได้สามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งได้อย่างถูกต้องและสามารถรับน้ำหนักโหลด 50 กิโลกรัม โดยกินกระแสสูงสุดที่ 5.31 แอมป์ ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 0.167 m/s และมีระยะการเลื่อนไกลของกล่องสินค้าสูงสุดที่ 0.004 ม.

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บสินค้า, ระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติ, แลปวิว

Abstract

This paper presents the design and construction of an automatic movable racking system. The structure of the movable racking system composes 1) two non-movable rack units and 2) two movable rack units. Each movable rack unit was designed to support 50 kg of capacity per unit and was driven by a ball-screw with a 50-watt servo motor as an actuator. For the control system of the automated storage system, a computer was used as the main hardware controller. A program was developed for controlling the system via LabVIEW, and CAN bus was chosen to communicate between the computer and motor drive.

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2563

The experiments of the designed system show that the movable rack unit was able to move accurately according to the command and consumed the maximum electric current of 5.31 A at 0.167 m/s of its speed, which caused the goods package to slip about 0.004 m.

Keywords: storage system, automatic movable racking system, LabVIEW

1. บทนำ

ระบบจัดเก็บสินค้าในปัจจุบันได้เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น เนื่องจากประเทศไทยได้เข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน AEC จึงทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการกระจายสินค้าไปสู่ประเทศเพื่อนบ้าน อาทิ ลาว กัมพูชา และพม่า เป็นต้น ดังนั้นระบบการจัดเก็บสินค้าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ถ้าระบบจัดเก็บสินค้าไม่มีประสิทธิภาพหรือไม่ดีเพียงพอจะทำให้ต้องเสียเวลา เสียค่าใช้จ่ายมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีผลทำให้การกระจายสินค้าล่าช้าตามไปด้วย (Guezzen, A.H., 2011) ระบบชั้นสินค้าที่ใช้กันมีอยู่หลายประเภท อาทิ ระบบชั้นสินค้าแบบ Convention, ระบบชั้นสินค้าแบบ Drive-In และระบบชั้นสินค้าแบบ FIFO เป็นต้น แต่ปัญหาหนึ่งที่สำคัญของระบบจัดเก็บสินค้า คือ การบริหารพื้นที่จัดเก็บสินค้าให้ได้จำนวนมากที่สุด ซึ่งระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เป็นระบบจัดเก็บสินค้ารูปแบบหนึ่งที่ใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ช่วยในการบริหารพื้นที่จัดเก็บสินค้าได้ถึงร้อยละ 90 ของพื้นที่ทั้งหมดของโรงเก็บสินค้า (Jungheinrich, 2020) ซึ่งระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้มีผู้ประกอบการจำนวนมากได้พัฒนาระบบชั้นเก็บสินค้านี้สำหรับสินค้าขนาดใหญ่และมีระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ 1. พีแอลซี (PLC) เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ 2. คอมพิวเตอร์เป็นตัวจัดการระบบชั้นเก็บสินค้า (Jungheinrich, 2020) (SSI SCHAEFER, 2020) (MECALUX, 2020) ส่วนระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้สำหรับสินค้าขนาดเล็ก ผู้ประกอบการจะต้องทำการออกแบบและติดตั้งเป็นแบบเฉพาะงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้สำหรับสินค้าขนาดเล็กโดยใช้ระบบส่งกำลังเป็นแบบบอลสกรู ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่และการจัดการระบบชั้นเก็บสินค้าได้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลด้วยการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และการจัดการระบบชั้นเก็บสินค้าด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW (Bhaskarwar, T.V., 2015) โดยไม่ใช้พีแอลซีควบคุมการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเหมือนกับผู้ประกอบการในปัจจุบัน จึงเป็นการลดอุปสรรคในการควบคุมการเคลื่อนที่และมีผลทำให้การผลิตระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้มีต้นทุนที่ลดลงจากระบบที่ใช้กันในปัจจุบันและสามารถพัฒนาระบบต่อยอดได้ง่ายต่อนักโปรแกรมเมอร์ ส่วนระบบสื่อสาร (Bus) ระหว่างคอมพิวเตอร์กับมอเตอร์ไดร์เป็นแบบ CAN เพื่อที่สั่งให้มอเตอร์หมุนทำให้ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ตามต้องการ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติ โดยใช้ซอฟต์แวร์แลปวิวช่วยในการประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่

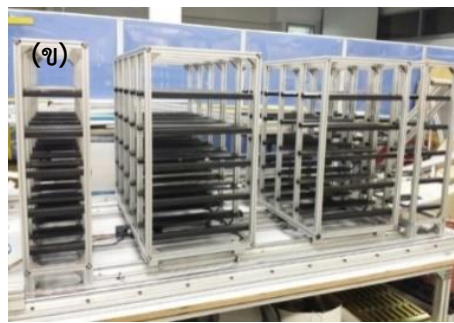
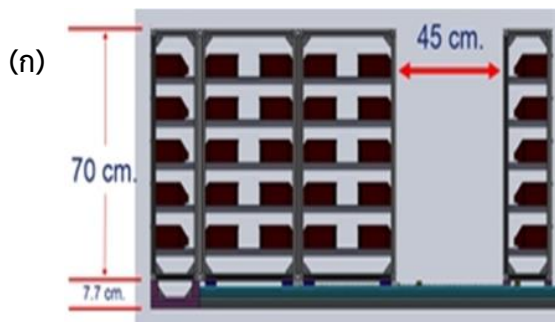
2.2 เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้กับการกินกระแสไฟ และระยะการเลื่อนไกลของสินค้าที่วางอยู่บนชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอขบวนการออกแบบและควบคุมของระบบชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ อัตโนมัติสำหรับสินค้าขนาดเล็ก โดยมีขั้นตอนการดำเนินวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบโครงสร้างชั้นสินค้า

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบชั้นเก็บสินค้าออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1. ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ไม่ได้ จำนวน 2 ชั้นสินค้า และ 2. ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ จำนวน 2 ชั้นสินค้า ดังภาพที่ 1.ก โดยกำหนดให้ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ไม่ได้ถูกติดตั้งทางซ้ายมือและขวามือ ส่วนชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ทั้งสองถูกติดตั้งอยู่ระหว่างชั้นสินค้าเคลื่อนที่ไม่ได้ โดยมีการเว้นระยะว่างอย่างน้อยเท่ากับความกว้างของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ เพื่อเป็นช่องว่างให้ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้สามารถเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาได้ และเป็นช่องว่างสำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถเดินเข้าไปหยิบ/วางสินค้าในชั้นสินค้า

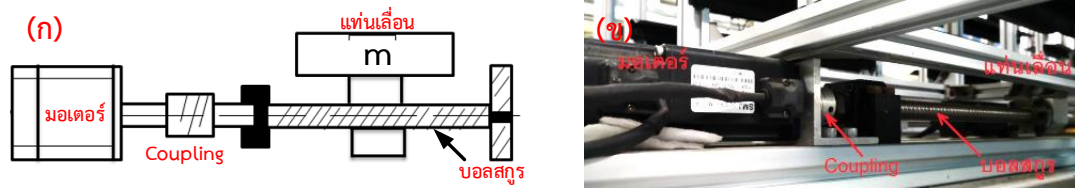


ภาพที่ 1 ชั้นสินค้าที่ออกแบบ (ก) แบบจำลองที่ได้ออกแบบ (ข) ชั้นสินค้าที่สร้างขึ้นจริง

ผู้วิจัยได้กำหนดสินค้าที่ต้องการจะเก็บในชั้นสินค้ามีขนาดไม่เกิน 15x10x10 ซม. และน้ำหนักไม่เกิน 1 กก. โดยที่ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ไม่ได้เก็บสินค้าได้จำนวน 25 ชั้น โดยวางสินค้าได้ด้านเดียว สำหรับชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เก็บสินค้าได้จำนวน 50 ชั้น โดยวางสินค้าได้สองด้าน ด้านละ 25 ชั้น ชั้นสินค้าทั้ง 2 ประเภท ประกอบขึ้นจากอลูมิเนียมโพรไฟล์ ขนาด 2x2 ซม. จากข้อกำหนดที่ได้กล่าวมาข้างต้น ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ไม่ได้และเคลื่อนที่ได้จึงถูกออกแบบได้ขนาดดังนี้ 87x70x20 ซม. (ยxสxก) และ 87x70x40 ซม. (ยxสxก) ตามลำดับ และช่องว่างให้ชั้นสินค้าเคลื่อนที่มีความกว้าง 45 ซม. สำหรับตัวชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นสามารถเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวา โดยใช้ชุดบอลสกรูเป็นชุดส่งกำลัง และมีดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ต้องรับน้ำหนักสินค้าทั้งสิ้น 50 กก. เนื่องจากเก็บสินค้าได้ 50 ชั้น ส่วนน้ำหนักตัวชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้มีน้ำหนัก 10 กก. น้ำหนักรวมทั้งหมดของแต่ละชั้นสินค้าเป็น 60 กก. ชั้นสินค้าที่ได้ออกแบบแสดงดังภาพที่ 1 (ข)

3.2 การคำนวณหาลำโพงมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้

ในการเลือกใช้มอเตอร์เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบเครื่องจักร เพื่อที่จะได้ขนาดของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับภาระงานของเครื่องจักรนั้น ๆ การคำนวณหาลำโพงมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนในงานวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องกับระบบส่งกำลัง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบบอลสกรู ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) โดยที่ขั้นตอนและสูตรในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์มีดังต่อไปนี้ (Derby, S.J., 2005) (Oriental motor, 2020)



ภาพที่ 2 ระบบส่งกำลัง (ก) แบบจำลองของบอลสกรู (ข) การติดตั้งชิ้นจริงของระบบส่งกำลัง

- 1) คำนวณหาแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$F = F_A + mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) \quad (1)$$

โดยที่ F_A คือ แรงภายนอกที่กระทำกับชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ (N), μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, m คือ มวลของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ (kg) และ θ คือ มุมเอียงของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ (rad)

- 2) คำนวณหาแรงบิดเนื่องจากภาระโหลด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$T_L = \left[\frac{FP_B}{2\pi\eta} + \frac{\mu_0 F_0 P_B}{2\pi} \right] \times \frac{1}{i} \quad (2)$$

โดยที่ P_B คือ ระยะพิทช์ของบอลสกรู (m/rev), F_0 คือ แรง Preload (N) (มีค่าเท่ากับ $F/3$), μ_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานภายในของ Preload nut (มีค่าระหว่าง 0.1-0.3), η คือ ค่าประสิทธิภาพ (มีค่าระหว่าง 0.85-0.95) และ i คือ ค่าอัตราทดของระบบส่งกำลังหรือหัวเกียร์

- 3) คำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$N_M = \frac{60V_L}{P_B} \quad (3)$$

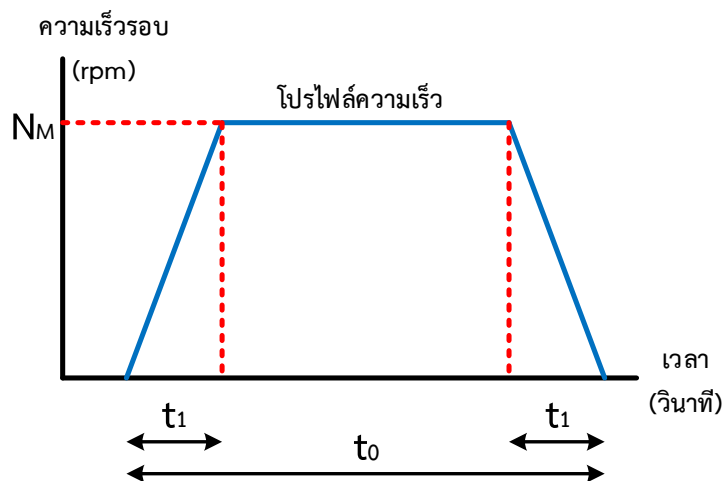
โดยที่ V_L คือ ความเร็วเชิงเส้นของมวล (m/s)

- 4) คำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$J_L = m \left(\frac{P_B}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_B \quad (4)$$

โดยที่ J_B คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของบอลสกรู ($kg \cdot m^2$)

- 5) คำนวณหาแรงบิดเนื่องจากความเร่ง ขึ้นอยู่กับการกำหนดโปรไฟล์ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ตามภาพที่ 3 และคำนวณหาแรงบิดเนื่องจากความเร่งได้จากสมการที่ 5



ภาพที่ 3 โปรไฟล์ความเร็วของมอเตอร์

$$T_a = \frac{(J_0 \cdot i^2 + J_L)}{9.55} \times \frac{N_M}{t_1} \quad (5)$$

โดยที่ t_1 คือ เวลาที่เร่งความเร็วมอเตอร์ไปถึงความเร็วที่กำหนด ดังแสดงในภาพที่ 3 และ J_0 คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์ ($kg \cdot m^2$)

6) คำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์ที่ต้องการ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$T_M = (T_L + T_a) \times S_f \quad (6)$$

โดยที่ S_f คือ ค่าแฟคเตอร์ความปลอดภัย

7) คำนวณหากำลังของมอเตอร์ (Watt) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$P = \frac{2\pi T_M N_M}{60} \quad (7)$$

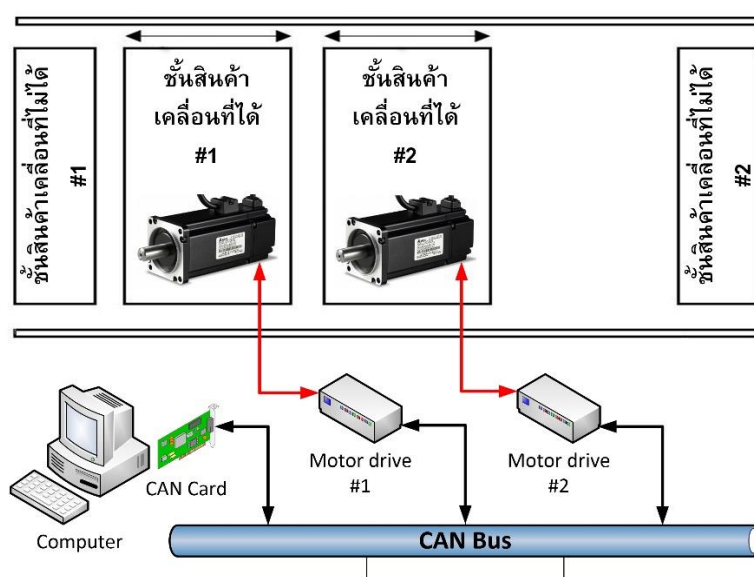
ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่กำหนดใช้ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
F_A	0 N.	η	0.85
m	50+10 kg	i	1
μ	0.1	V_L	0.15 m/s
θ	0 rad	J_B	$3.2 \times 10^{-5} kg \cdot m^2$
P_B	5 mm.	J_0	$3.4 \times 10^{-5} kg \cdot m^2$
μ_0	0.3	t_1	1 s
S_f	1.2		

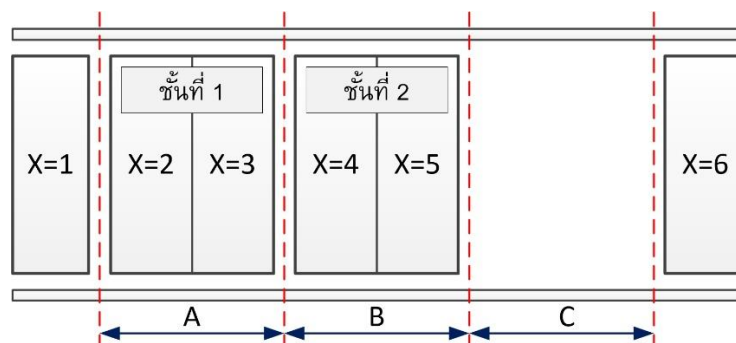
จากสมการที่ 1 - 7 มีตัวแปรที่ต้องกำหนดให้เพื่อแทนค่าใช้ในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ โดยที่ตัวแปรทั้งหมดได้ถูกกำหนดและแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำค่าที่กำหนดในตารางที่ 1 แทนลงในสมการที่ 1 ถึง 7 ทำให้ทราบว่าแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้มีค่า 58.86 N แรงบิดเนื่องจากภาระโหลด 0.0632 Nm ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1800 rpm โมเมนต์ความเฉื่อยของมวล $3.2 \times 10^{-5}\text{ kg} \cdot \text{m}^2$ แรงบิดเนื่องจากความเร่ง 0.0124 Nm แรงบิดของมอเตอร์ที่ต้องการ 0.091 Nm และกำลังของมอเตอร์ 17.15 W จากนั้นทำการเลือกมอเตอร์โดยมีข้อกำหนดว่าทางผู้วิจัยมีชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้ไฟกระแสตรง 24 โวลต์ จากการตรวจสอบขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่ใช้แรงดันไฟแบบกระแสตรง 24 โวลต์ มีขนาดเริ่มต้นจาก 50 วัตต์ 100 วัตต์ และ 200 วัตต์ เป็นต้น ดังนั้นมอเตอร์ที่เลือกใช้จึงเป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่มีกำลัง 50 วัตต์ ซึ่งมีแรงบิดใช้งาน 0.16 Nm ที่รอบ 2400 rpm ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กสุดที่มีจำหน่ายและมีกำลังเพียงพอที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้

3.3 การออกแบบระบบควบคุม

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานระบบควบคุมบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นตัวประมวลผลหลัก ซึ่งเป็นตัวสั่งการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัวของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ (มอเตอร์จะถูกติดตั้งอยู่ฐานด้านล่างของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ ในภาพที่ 2 (ข) และการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ CAN bus ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงจำเป็นต้องติดตั้งการ์ดสื่อสารเพิ่มคือการ์ด CAN-PCI-02 ของบริษัท Copley Controls ส่วนชุดขับเคลื่อนมอเตอร์จำเป็นต้องรองรับการสื่อสารแบบ CAN bus เช่นกัน ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้เป็นของบริษัท Copley Controls รุ่น Accelnet Micro Panel ACJ-055-18 โดยการเชื่อมต่อสัญญาณของอุปกรณ์ในการควบคุมต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4

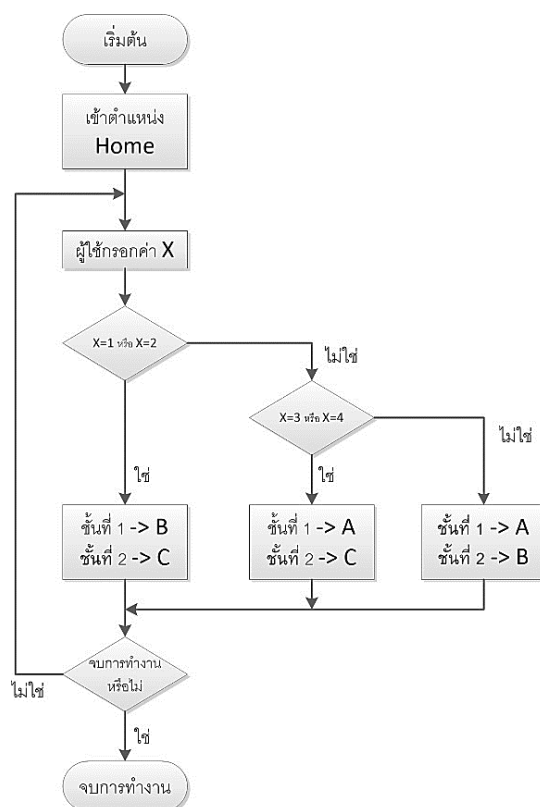


ภาพที่ 4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม

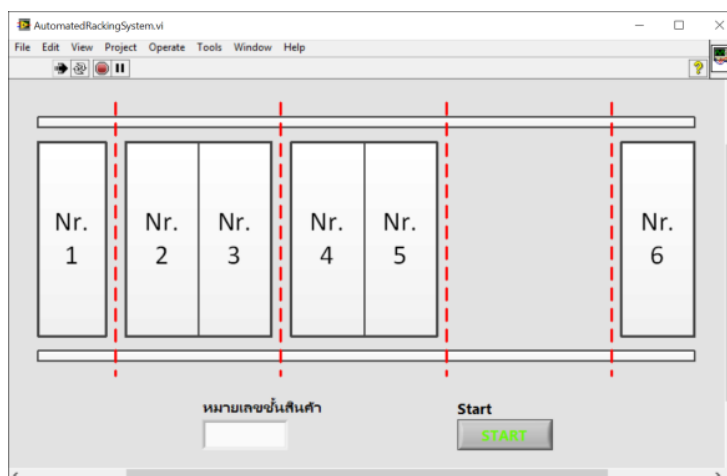


ภาพที่ 5 ตำแหน่ง Home และค่าตำแหน่งของชั้นวางสินค้า

ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นว่าได้พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW โดยที่ชั้นเคลื่อนที่ได้แต่ละชั้นจะเคลื่อนที่เพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น คือ ชั้นที่ 1 เคลื่อนที่ได้เฉพาะที่ตำแหน่ง A และ B ส่วนชั้นที่ 2 เคลื่อนที่ได้เฉพาะที่ตำแหน่ง B และ C เท่านั้น (ภาพที่ 5) และกำหนดหมายเลขแถวของชั้นสินค้าเป็นตัวอักษร X โดยให้แถวซ้ายมือสุดมีค่า $X=1$ และแถวขวามือสุดมีค่า $X=6$ (ภาพที่ 5) โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 6 ซึ่งค่า X เป็นค่าหมายเลขแถวของชั้นสินค้าที่ผู้ใช้จะเข้าไปเก็บหรือวางสินค้าในแถวนั้น ๆ ผู้ใช้จะกรอกหมายเลขชั้นสินค้าผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ภาพที่ 7) เมื่อผู้ใช้งานกรอกหมายเลขชั้นสินค้าเสร็จ จากนั้นต้องกดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมสั่งงานให้ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ตามที่ผู้ใช้งานได้กรอกข้อมูลไว้



ภาพที่ 6 ผังการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 7 Front panel ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW

4. ผลการวิจัย

ระบบขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติที่ได้ออกแบบสร้างได้ถูกติดตั้งเพื่อทดสอบ ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้แบ่งออกเป็น 3 การทดสอบ คือ 1. การทดลองการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการเคลื่อนที่ของขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้กับการกินกระแสไฟ 2. การทดลองหาระยะการเคลื่อนไถของกล่องสินค้า 3. การทดลองการทำงานของระบบ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการควบคุมการเคลื่อนที่ของขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้

4.1 การทดลองการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

การทดลองนี้เป็นการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการเคลื่อนที่ของขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้กับการกินกระแสไฟ ในการทดลองทำการจำลองโหลดสูงสุดที่ขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้สามารถรองรับได้โดยใช้แบตเตอรี่หนัก 50 กก. แทนสินค้าวางบนขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้ (ดังภาพที่ 8) จากนั้นควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของขนส่งสินค้าเคลื่อนที่ได้ ผ่านการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ที่ความเร็วรอบ 500 1000 1500 และ 2000 rpm โดยทำการทดลองแต่ละความเร็วรอบจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 9

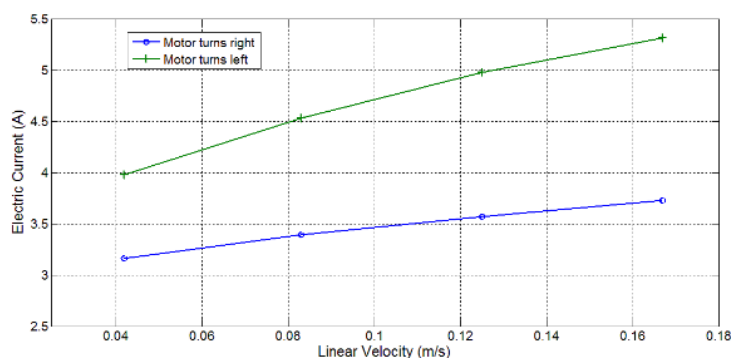


ภาพที่ 8 การทดลองการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

ความเร็วรอบ ของมอเตอร์ (rpm)	ความเร็วเชิงเส้น (m/s)	กระแสเฉลี่ย (A)	
		กรณีเคลื่อนที่ ทางขวามือ	กรณีเคลื่อนที่ทางซ้ายมือ
500	0.042	3.16	3.98
1,000	0.083	3.39	4.53
1,500	0.125	3.57	4.98
2,000	0.167	3.73	5.31

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการกินกระแสของมอเตอร์แปรผันตามกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของชั้นวางสินค้าเคลื่อนที่ได้ โดยกินกระแสสูงสุดที่ 5.31 A เมื่อชั้นวางสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือด้วยความเร็ว 0.167 m/s แต่มีข้อสังเกตว่าการกินกระแสไฟของมอเตอร์ขณะชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ทางขวาและซ้ายมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ขณะเคลื่อนที่ทางขวามีค่าน้อยกว่าทั้งหมด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องด้วยประสิทธิภาพในการส่งกำลังของชุดบอลลิสกรูที่ใช้ขับเคลื่อนชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ให้เคลื่อนที่ทางขวาและซ้ายมีค่าไม่เท่ากัน จึงมีผลทำให้เกิดการกินกระแสที่แตกต่างกันตามไปด้วย



ภาพที่ 9 ผลการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

4.2 การทดลองหาระยะการเลื่อนไถลของกล่องสินค้า

โดยทั่วไปชั้นสินค้าจะวางถาดหรือกล่องรองสินค้าไว้บรรจุสินค้าทุกช่องเก็บสินค้า ดังนั้นในการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ อาจจะทำให้ถาดหรือกล่องรองสินค้าเกิดการเลื่อนไถลได้ ถาดหรือกล่องรองสินค้าเกิดการเลื่อนไถลมากเกินไป จะทำให้ถาดหรือกล่องรองสินค้าหลุดหรือหล่นออกมาจากชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการทดลองนี้ เป็นการทดลองผลของความเร็วของการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ที่มีต่อระยะการเลื่อนไถลของกล่องสินค้าที่อยู่ภายในชั้นสินค้า โดยในการทดลองกำหนดให้กล่องสินค้าเป็นกล่องเปล่า ไม่ได้บรรจุสินค้า จำนวน 2 กล่อง เนื่องจากกล่องสินค้าที่น้ำหนักน้อยจะมีแรงเสียดทานระหว่างพื้นรองกับกล่องสินค้าน้อย จึงมีโอกาสที่จะมีการเลื่อนไถลได้ง่าย โดยวางกล่องทั้งสองไว้ที่วางสินค้าชั้นบนสุดของชั้นสินค้า เพราะว่าขณะที่ชั้นสินค้าเคลื่อนที่จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น ซึ่งมีผลทำให้กล่องบนสุดของชั้นสินค้านั้นมีโอกาสที่จะเลื่อนไถลมากที่สุด จากนั้นวัดตำแหน่งเริ่มต้นไว้ แล้วควบคุมความเร็ว

การเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ ผ่านการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 500 1000 1500 และ 2000 rpm และควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ไปทางซ้ายมือ และขวามือ ในการทำการทดลองจะทำแต่ละความเร็วรอบจำนวน 3 ครั้ง แล้ววัดระยะการเลื่อนไถลของกล่องสินค้า โดยผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 3

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า กล่องสินค้าไม่เกิดการเลื่อนไถล เมื่อชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ทางขวามือ แต่เมื่อเคลื่อนที่ทางซ้ายมือ (ดังภาพที่ 10) กล่องสินค้าเลื่อนไถลสูงสุดเฉลี่ย 0.004 m ซึ่งเป็นระยะเลื่อนไถลเกือบทุกความเร็วที่ได้ทดลอง เหตุที่เป็นเช่นนี้ค่อนข้างสอดคล้องกับการทดลองที่ 3.1 คือ มอเตอร์กินกระแสไฟสูงเมื่อชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ทางซ้ายมือนั้นหมายความว่าชุดส่งกำลังอาจมีปัญหาเมื่อชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ทางซ้ายมือ จึงทำให้ชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เกิดการกระชากขึ้น มีผลให้เกิดการเลื่อนไถลขึ้นและกินกระแสไฟสูงขึ้นกว่าปกติ



กรณีเคลื่อนที่ทางซ้ายมือ กรณีเคลื่อนที่ทางขวามือ

ภาพที่ 10 ผลการทดลองหาระยะการเลื่อนไถลของกล่องสินค้า

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของชั้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ต่อระยะเลื่อนไถลของกล่องสินค้า

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)	ความเร็วเชิงเส้น (m/s)	ระยะการเลื่อนกล่อง 1 (m) (เฉลี่ย)		ระยะการเลื่อนกล่อง 2 (m) (เฉลี่ย)	
		กรณีเคลื่อนที่ทางขวามือ	กรณีเคลื่อนที่ทางซ้ายมือ	กรณีเคลื่อนที่ทางขวามือ	กรณีเคลื่อนที่ทางซ้ายมือ
500	0.042	0	0.004	0	0
1,000	0.083	0	0.002	0	0
1,500	0.125	0	0.004	0	0.001
2,000	0.167	0	0.004	0	0.003

4.3 การทดลองการทำงานของระบบ

การทดลองนี้เป็นการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ โดยทำการใส่ข้อมูลหมายเลขชิ้นสินค้าที่ผู้ต้องการเข้าไปเก็บหรือวางสินค้าใน Front panel ของโปรแกรม (แสดงในภาพที่ 7) จากนั้นโปรแกรมทำงานตามผังการทำงานของโปรแกรมตามภาพที่ 6 ในการทดลองทำการใส่ค่าหมายเลขชิ้น 1 ถึง 6 หมายเลขละ 20 ครั้ง แล้วบันทึกว่าชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้แต่ละชิ้นเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่จากการทดลองชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ถูกต้องและไม่มีปัญหาใด ๆ เกิดขึ้นขณะการทำงาน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบโครงสร้างชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติสำหรับสินค้าขนาดเล็ก การคำนวณหาต้นกำลัง การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม ซึ่งในการควบคุมการเคลื่อนที่ของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้คอมพิวเตอร์ถูกใช้เป็นตัวควบคุมสั่งการทำงานทั้งหมดและได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW

จากการทดสอบการทำงานของระบบชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง และมอเตอร์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้ใช้กระแสไฟสูงสุดที่ 5.31 A เมื่อระบบชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.167 m/s และทำให้กล่องสินค้าเลื่อนสูงสุดเฉลี่ย 0.004 m. โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการเคลื่อนที่ของชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้กับการกินกระแสไฟมีลักษณะเป็นแบบแปรผกผันตาม คือ เมื่อชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เร็วจะทำให้การกินกระแสไฟเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นในการใช้งานระบบนี้ผู้ใช้จะต้องพิจารณาว่าต้องการความเร็วหรือการประหยัดพลังงาน สำหรับระยะเลื่อนไกลของกล่องสินค้า ไม่มีการเลื่อนไกลเมื่อชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ไปทางขวามือ แต่มีระยะเลื่อนไกลของกล่องสินค้าเล็กน้อยในช่วง 0.001 - 0.004 มม. เมื่อชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือ ซึ่งเหตุที่ระยะเลื่อนไกลของกล่องสินค้าเมื่อชิ้นสินค้าเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ไปทางขวามือและซ้ายมือมีค่าแตกต่างกัน เกิดจากระบบส่งกำลังที่ใช้ (ชุดบอลสกรู) มีประสิทธิภาพในการส่งกำลังได้ไม่เท่ากันเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

จากงานวิจัยซอฟต์แวร์ LabVIEW ถูกนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนพีแอลซี ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญของระบบที่ใช้กันในปัจจุบัน จึงทำให้ต้นทุนทางด้านอุปกรณ์การควบคุมของระบบที่พัฒนาขึ้นน้อยกว่า และยังสามารถนำไปประยุกต์หรือพัฒนาระบบต่อยอด โดยเพิ่มความสามารถระบบนำสินค้าเข้าและออกจากชิ้นสินค้าผ่านซอฟต์แวร์ LabVIEW ได้โดยทันที ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาการค้นหาสินค้าที่อยู่ภายในระบบชิ้นสินค้า แต่ทว่าในงานวิจัยเป็นการพัฒนาโครงสร้างการเคลื่อนที่หรือระบบส่งกำลังของชิ้นสินค้าขนาดเล็ก ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับระบบชิ้นสินค้าขนาดใหญ่ แต่ถ้าต้องการพัฒนาโครงสร้างชิ้นสินค้าขนาดใหญ่ขึ้นควรที่จะพิจารณาระบบส่งกำลังแบบใหม่ อาทิ ระบบล้อและเกียร์แทน เนื่องจากระบบบอลสกรูเหมาะกับงานขนาดเล็กต้องการความถูกต้องของการเคลื่อนที่สูง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และได้รับการสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์การทำงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- Bhaskarwar, T.V., Giri, S.S. and Jamaker, R.G. (2015). Automation of shell and tube type heat exchanger with PLC and LabVIEW, **paper presented in the International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)**, Maharashtra, India.
- Derby, S.J. (2005). **Design of Automatic Machinery**. USA: Marcel Dekker.
- Guezzen, A.H., Sari, Z. and Ghomri, L. (2011). A Study on Mobil Racks Automated Storage and Retrieval System (M-AS/RS), **paper presented in the International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA) 2011**, Hammamet, Tunisia.
- Jungheinrich. (2020). **Mobile racking systems**. [online], Available: http://www.jungheinrich.co.th/uploads/jh_importer/assets_product_27896_EN-DE_vl_download_link---1/3985_Verfahrregale_EN.PDF. access on March 20, 2020.
- MECALUX. (2020). **Movirack Mobile Pallet Racking**. [online], Available: https://mecaluxcom.cdnwm.com/catalogues/movirack-mobile-pallet-racking-2.1.4.pdf#_ga=2.61042284.1389671894.1590847999-935102213.1590761470. access on March 23, 2020.
- Oriental motor. (2020). **Selection Calculations**. [online], Available: https://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2018-2019/technical-reference/Selection_Calculation_Linear_Rotary_Actuators.pdf. access on March 22, 2020.
- SSI SCHAEFER. (2020). **Mobile Pallet Racking Systems**. [online], Available: <https://www.ssischaefer.com/resource/blob/466736/1fd0bd7526effe3ac152017b485db657/pallet-racking-systems--dam-download-en-15751--data.pdf>. access on March 29, 2020.

การออกแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสม สำหรับระบบผลิตไฟฟ้า
พลังงานน้ำ กรณีศึกษา: บ้านห้วยม่ง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง
Mixed flow condition low friction water turbine design for
Hydroelectric power generation. Case study: Huay Mong village,
Muang pan district, Lampang province

วศินวิโรตม์ เนติศักดิ์^{1*} และพงษ์ศักดิ์ อยู่มน²

Wasiviro Netisak^{1*} and Pongsak Youmun²

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 หมู่ 9 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

โทรศัพท์ 0 5431 6748 โทรสาร 0 5431 6748 E-mail : wasiviro@lpru.ac.th

^{1,2}Energy Technology Program. Industrial Technology Faculty. Lampang Rajabhat University.

119 moo 9 Lampang – Meatha road Tumbon chompu Amphur Muang Lampang

Tel. 0 5431 6748 Fax. 0 5431 6748 E-mail : wasiviro@lpru.ac.th

วันที่รับบทความ 28 กันยายน 2563

Received: Sep. 28, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 19 ธันวาคม 2563

Revised: Dec. 19, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563

Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสมที่เหมาะสมการใช้งานกับแหล่งน้ำธรรมชาติ พัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้เพียงพอกับการใช้งาน และถ่ายทอดเทคโนโลยี ใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทนให้กับชุมชนบ้านห้วยม่ง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง และผู้สนใจทั่วไป ซึ่งโครงการวิจัยได้พัฒนารูปแบบของกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำให้มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนตัวกำเนิดไฟฟ้า ในรูปแบบของกังหันน้ำแบบเพลตัน ซึ่งมีการออกแบบใบพัดให้มีความเหมาะสมในการรับน้ำ และการกระจายตัวของน้ำในเครื่องผลิตไฟฟ้า ซึ่งใช้วิธีการจำลองรูปแบบที่เหมาะสมด้วยเทคนิคไฟไนต์อีลีเมนต์ (Finite Element) และควบคุมค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไขต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมใกล้เคียงกับพื้นที่เป้าหมาย โดยการทำแรงดันขาเข้าและหัวฉีดเปิดภายใต้ความดันบรรยากาศ ในรูปแบบผสม (Mixed flow Condition) มีการใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equations) รวมกับทฤษฎีคาเรย์นอล (Reynolds number) เฉลี่ยเพื่อที่จะแก้สมการซึ่งพิจารณาว่าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ที่สภาวะเสถียร โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ากระทบบังหัน โดยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดเป็น 4/4, 3/4, 2/4 และ 1/4 พบว่าการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดน้ำ (Nozzle) ให้บังคับอัตราการไหลของน้ำให้สามารถขับกังหันที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพที่กังหันมีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 66.11 และเมื่ออัตราการไหลของน้ำให้ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันทางด้านขาออกลดลงตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับร้อยละ 57.56

คำสำคัญ: ไฟฟ้าพลังงานน้ำ, กังหันน้ำ, บ้านห้วยม่ง

Abstract

The purposes of this research are to improve the efficiency of the low-friction turbine for natural water resources and to develop hydroelectricity systems working along with solar power generation systems. Additionally, to establish the renewable energy learning center for educating locals in Huay Mong village, Muang pan district, Lampang, or general interest. In this research, the developed low-friction turbine, based on the Pelton turbine model, is used for maximizing the efficiency of driving the generator which is suitable for water intake and dispersion in the generator. Moreover, the researcher using the Finite Element simulation technic by setting the parameter similar to the condition of the actual target area. It made the turbine is practically able to be used in the target area by using the inlet pressure and open the nozzle under pressured atmospheric by using fluid mixed-flow method, as well as, The Navier-Stokes equation and Reynolds number are used to solve the equation. The theory considered the water as an incompressible fluid in stable conditions by adjusting the velocity of the water flowing into the turbine by adjusting the nozzle opening level to 4/4, 3/4, 2/4, and 1/4. It was found that adjusting the opening level of the nozzle to force the water flow rate to drive the designed turbine. It can make the turbine efficiency as high as 66.11%. Conversely, when the water flow rate is reduced, resulting in decreased efficiency of the turbine. Therefore, the output which compared with the maximum turbine efficiency value obtained from the test was 57.56%.

Keywords: Hydroelectricity, Water Turbine, Huay Mong village

1. บทนำ

พื้นที่บ้านห้วยม้ง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง เป็นที่อยู่อาศัยของ กลุ่มชนเผ่าปกาเกอญอ หรือกะเหรี่ยง โดยหมู่บ้านห้วยม้งเป็นหมู่บ้านที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่มีภูเขาล้อมรอบ อยู่ห่างจากจังหวัดลำปางประมาณ 90 กิโลเมตรไปทางทิศเหนือ และไม่มีโอกาสที่จะได้รับการจัดสรร การจ่ายกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้าไปยังหมู่บ้าน เนื่องจากไม่คุ้มค่ากับการลงทุนของ หน่วยงาน ซึ่งชุมชนมีจำนวน 27 ครัวเรือน มีประชากรทั้งสิ้น 97 คน ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และรับจ้างทั่วไป ซึ่งการที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ทำให้ชีวิตความเป็นอยู่ของชาวบ้านในชุมชนลำบากมาก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จึงได้สร้างและพัฒนาระบบประจุพลังงาน ไฟฟ้าแบตเตอรี่สำหรับไฟฟ้าส่องสว่างในชุมชนจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2 กิโลวัตต์ เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าใช้งานในหมู่บ้านห้วยม้ง แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ใช้พลังงาน

ในการนี้นักวิจัยได้เห็นถึงแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากลำน้ำแม่สอยที่ไหล ผ่านบริเวณหมู่บ้านตลอดทั้งปี ซึ่งมีอัตราการไหลเฉลี่ย 7.57 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Upper Northern

Region Irrigation Hydrology Center, 2013) จึงเกิดแนวคิดในการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เดิมที่มีอยู่

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ จึงจัดทำโครงการวิจัยนี้ เพื่อเป็นการมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาขาดแคลนพลังงาน และขยายต่อยอดการใช้ประโยชน์แหล่งพลังงานทดแทนในชุมชนบ้านห้วยม่ง เพื่อให้เป็นชุมชนที่สามารถพึ่งพาตนเองได้ในด้านของพลังงานได้อย่างยั่งยืนต่อไป

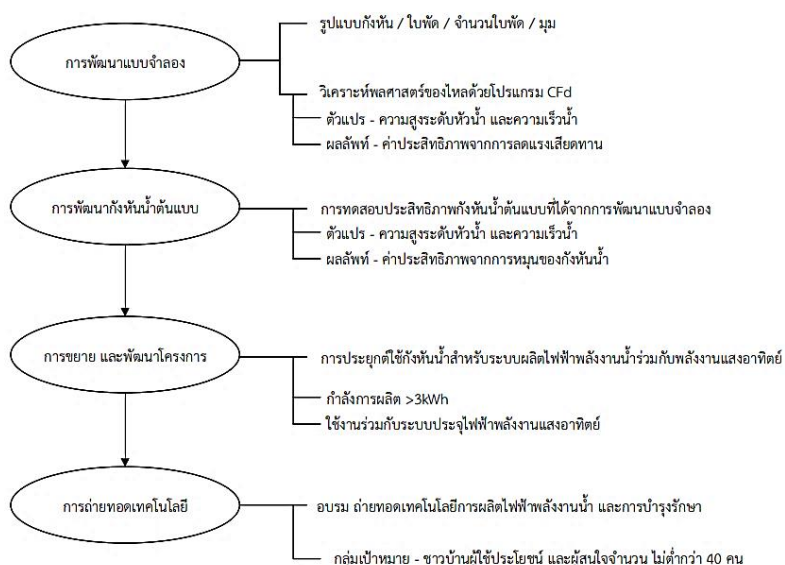
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนากังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำรูปแบบผสมที่เหมาะสมการใช้งานกับแหล่งน้ำธรรมชาติในบริเวณหมู่บ้านห้วยม่ง

2.2 เพื่อพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขึ้นมาใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เดิมให้เพียงพอกับการใช้งานของหมู่บ้านห้วยม่ง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

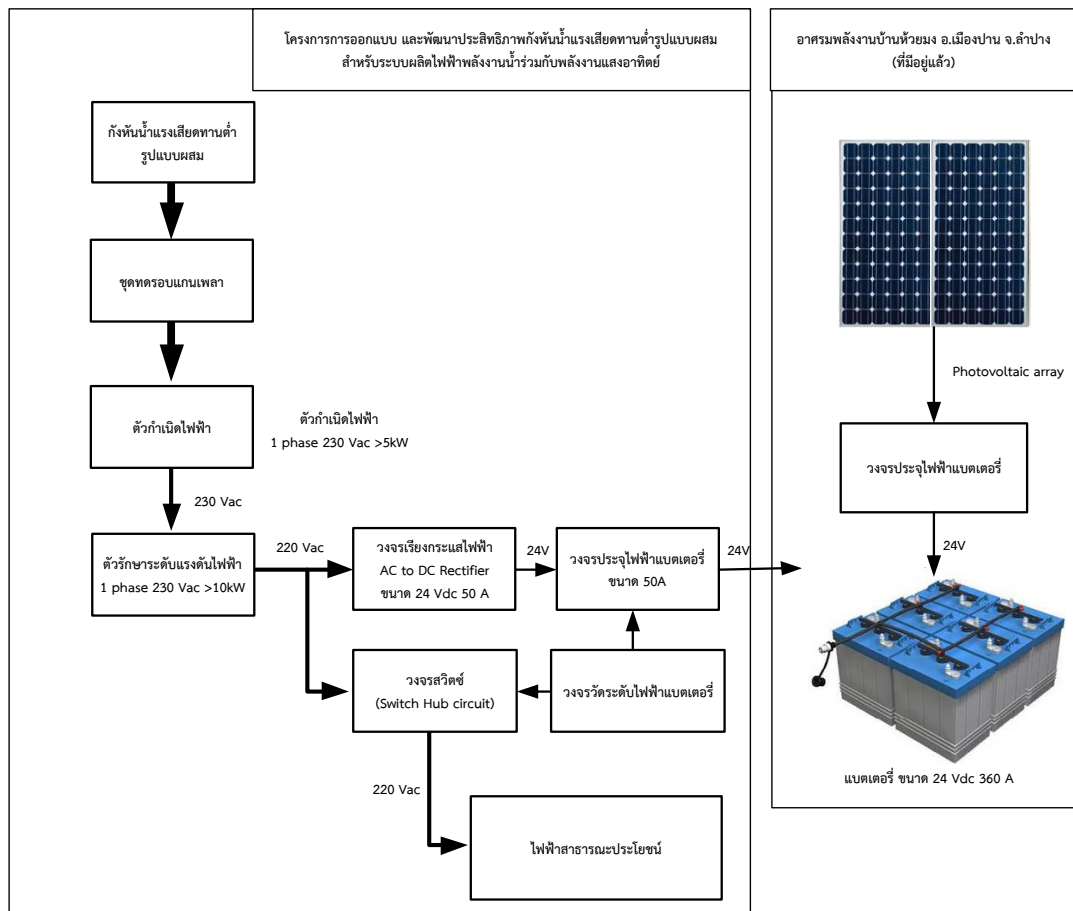
การดำเนินโครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบกรอบแนวคิดกระบวนการวิจัยได้ ดังภาพที่ 1 แสดงถึงการพัฒนาแบบจำลองกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำ สำหรับการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหล เพื่อหาประสิทธิภาพรูปแบบที่มีความเหมาะสมกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีระดับหัวน้ำและความเร็วของกระแสต่ำ จากนั้นดำเนินการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของกังหันน้ำในห้องปฏิบัติการตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ เมื่อมีความเร็วน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความเร็วรอบของกังหัน แรงบิดเพล่า เป็นต้น เพื่อนำผลที่ได้ไปขยายโครงการวิจัยให้เกิดประโยชน์กับชุมชนท้องถิ่นที่ขาดแคลน และมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมาก โดยการพัฒนาแบบจำลองไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการออกแบบระบบดังภาพที่ 3 และเมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นผู้วิจัยจะจัดกิจกรรมการอบรมเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ชุมชนต่อไป



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดของงานวิจัย

	การออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพ	การขยายผล และพัฒนาโครงการวิจัย
Input	รูปแบบกังหันน้ำ	แหล่งน้ำร่องเปิดจาก ลุ่มน้ำแม่สอย ตัวแปร 1. สถานที่ติดตั้ง Lat. 18.898984, Long. 99.503975 2. ระดับพื้นน้ำ < 1 m 3. ความเร็วปริมาณครน้ำเฉลี่ย 7.57 ลบ.ม./วินาที
Process	แบบจำลองและต้นแบบ	ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ ตัวแปร 1. รูปแบบกังหันน้ำ 1 P 230Vac >5kW 2. ตัวกำเนิดไฟฟ้า 1 P 230Vac >5kW 3. ชุดควบคุมคุณภาพไฟฟ้า 24V >50A 4. ชุดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่
Output	ประสิทธิภาพของกังหันน้ำที่มีแรงเสียดทานต่ำ	ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานร่วม การใช้นวัตกรรม 1. ใช้สำหรับระบบแบตเตอรี่ของชุมชน 2. ใช้สำหรับไฟฟ้าส่องสว่างในชุมชน
Outcome	กังหันน้ำรูปแบบใหม่	ความมั่นคงทางด้านพลังงานของชุมชน ประโยชน์ 1. หมู่บ้านห้วยมณีมีความมั่นคงทางพลังงานเพิ่มมากขึ้นจากเดิม มีพลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว
Impact	การใช้งานกังหันน้ำที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำตามธรรมชาติ	ผลกระทบบั้ชุมชน 1. ชาวบ้านในชุมชนช่วยกันรักษาแหล่งน้ำ และป่าไม้เพื่อให้มีแหล่งพลังงานน้ำใช้ได้ตลอดเวลา

ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดในการพัฒนากังหันน้ำ

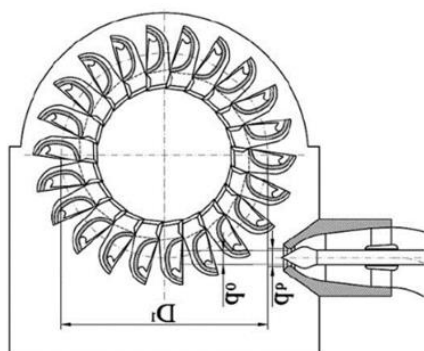


ภาพที่ 3 แนวคิดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์

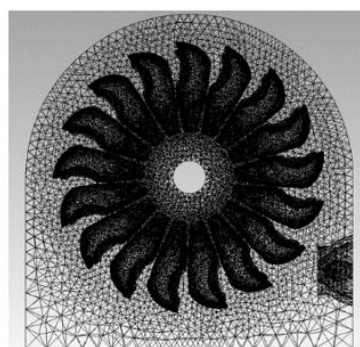
4. ผลการดำเนินโครงการวิจัย

4.1 ผลการจำลองกังหันน้ำ และวิเคราะห์ผลศาสตร์

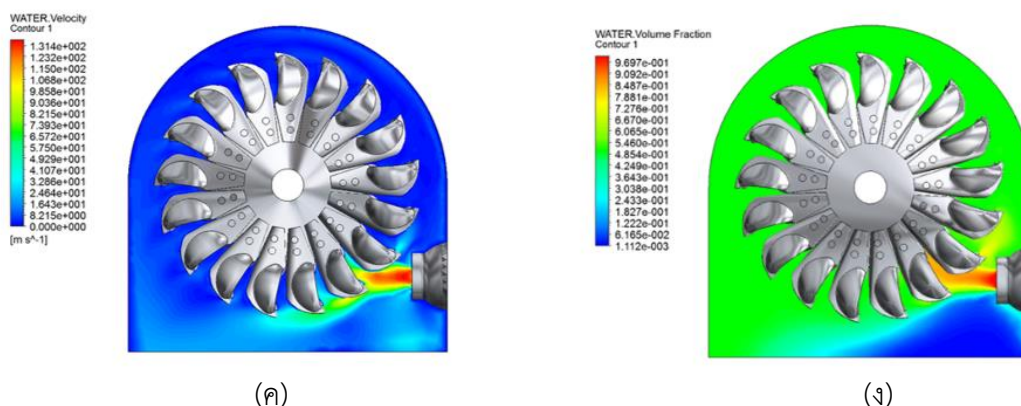
จากการออกแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำแล้วนั้น ดังภาพที่ 4 คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ด้วยเทคนิคไฟไนต์อีลีเมนต์ (Finite Element Technique) ด้วยโปรแกรม CFD Simulation (Computational Fluid Dynamics Simulation) สร้างแบบจำลองของกังหันที่ใช้ทดสอบ จากนั้นทำการแบ่งชิ้นงานเป็นโครงสร้างตาข่าย (Meshing) เป็นรูปทรงกรวยสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบและได้ทำการปรับปรุงจุดของตาข่ายให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น พบว่า โครงสร้างตาข่ายจำนวน 175,339 ช่อง เป็นโครงสร้างที่เป็นของเหลว 95,885 ช่อง ของแข็งจำนวน 19,214 ช่อง เป็นโครงสร้างตาข่ายบางส่วนจำนวน 60,240 ช่อง ดังภาพที่ 4 (ข) และในการวิเคราะห์กระบวนการไหลสามารถแยกได้เป็นการไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน หรือแบบผสมและพิจารณาการหมุนของใบพัด ผลกระทบหัวฉีด ผลกระทบจากน้ำ สภาวะขอบเขตของไหลเป็นการไหลแบบปั่นป่วน และสมมติให้การไหลเป็นการไหลแบบคงที่ จากนั้นทำการกำหนดขอบเขต โดยการทำให้แรงดันขาเข้าและหัวฉีดเปิดภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยให้ของไหลไหลแบบผสม (Mixed flow Condition) ใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes equations) รวมกับทฤษฎีการเรย์โนลด์ (Reynolds number) เฉลี่ยเพื่อที่จะแก้สมการ ซึ่งพิจารณาว่าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ที่สภาวะเสถียร โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ากระทบกังหัน โดยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดเป็น 4/4, 3/4, 2/4 และ 1/4 ดังภาพที่ 4 (ค) และภาพที่ 4 (ง) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของกังหัน กำหนดเงื่อนไข คือ ความสูงหัวน้ำเฉลี่ย 30 เมตร น้ำ และใบพัดกังหันหมุนด้วยความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที มีระหวางโซนคงที่ (Stationary zone) กับโซนเคลื่อนไหวน (Moving zone) ใช้เงื่อนไขผสม (Mixing plane) เป็นเงื่อนไขของการไหลข้ามโซน ใช้การไหลแบบคงที่ (Steady flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) และ ค่าที่เหลือ (Residual) เท่ากับ 10^{-5} ได้ผลการจำลองประสิทธิภาพดังตารางที่ 1



(ก)



(ข)

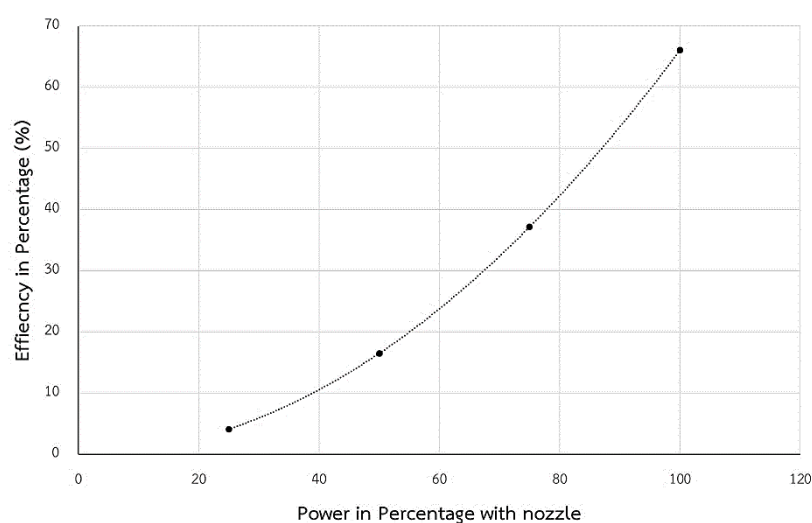


ภาพที่ 4 ผลการจำลองกังหันน้ำ และการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ที่	ปรับระดับ หัวฉีด (%)	ขนาดช่องว่าง หัวฉีด (mm)	อัตราการไหล ของน้ำผ่าน หัวฉีด (m^3/s)	กำลังงาน ขาเข้า (kW)	กำลังงาน ขาออก (kW)	ประสิทธิภาพ (%)
1	100	40	0.9100	267.1012	176.5779	66.1090
2	75	30	0.6825	200.3259	74.4938	37.1863
3	50	20	0.4550	133.5506	22.0722	16.5272
4	25	10	0.2275	66.7753	2.7590	4.1318

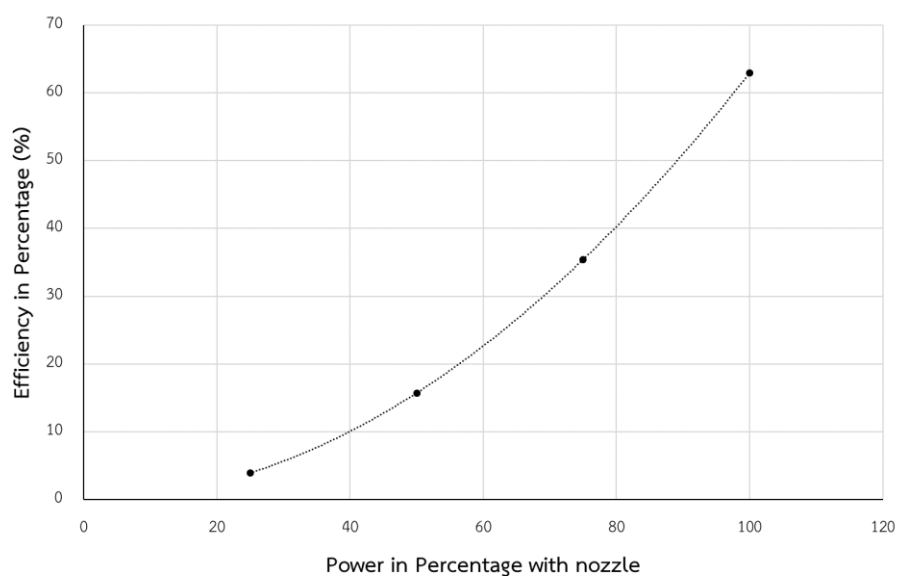
จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันน้ำโดยการจำลองด้วยเทคนิค CFD ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ และเงื่อนไขต่าง ๆ ขึ้น โดยอ้างอิงจากการวางแผน และออกแบบการดำเนินโครงการในพื้นที่ ซึ่งพบว่า ในการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดน้ำ ให้บังคับอัตราการไหลของน้ำให้สามารถขับกังหันที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพที่กังหันมีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 66.11 และเมื่อมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพของกังหันทางด้านขาออกแปรผันตามอัตราการไหลของน้ำด้วย



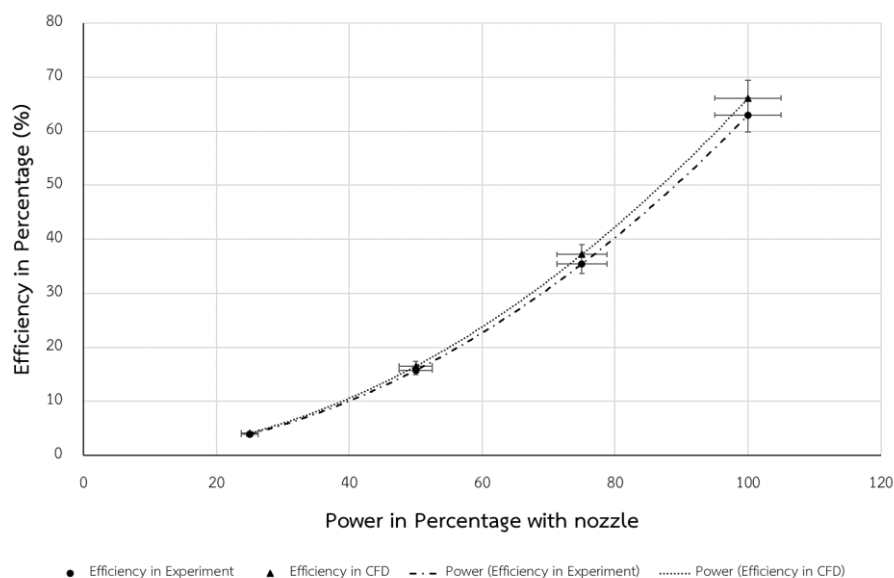
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยการจำลอง (CFD)

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพกำลังงานของกังหัน โดยกำหนดขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ และเงื่อนไขต่าง ๆ ให้มีความใกล้เคียงกับการจำลองที่กล่าวข้างต้น ซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 6 พบว่า ประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 57.56 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการจำลองเนื่องจากค่าระดับช่องว่างของหัวฉีดมีขนาดใหญ่กว่า และการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมีการควบคุมที่ยาก ทำให้มีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหัวฉีดไม่เท่ากับแบบจำลอง ประกอบกับค่าอัตราสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยการทดสอบ



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยการจำลองและการทดสอบ

4.3 ผลการขยายผลของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ

คณะผู้วิจัยร่วมกับชาวบ้านในชุมชน และนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ได้วางระบบส่งจ่ายน้ำด้วยท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว และ 3 นิ้ว สำหรับการลำเลียงน้ำจากกลุ่มน้ำแม่สอย เพื่อเข้าสู่ตัวกำเนิดไฟฟ้ามีท่อเข้า ขนาด 3 นิ้ว โดยมีวาล์วปรับระดับอัตราการไหลของน้ำระหว่างกลาง และก่อนเข้าโรงเรือนเก็บ อุปกรณ์ไฟฟ้าในโครงการ ดังภาพที่ 8 ซึ่งมีระยะทางรวม 1.4 กิโลเมตร มีระยะความสูงของหัวน้ำ ระหว่างจุดต้นทางถึงปลายทางเป็นระยะรวม 34 เมตร



(ก)



(ข)



(ค)

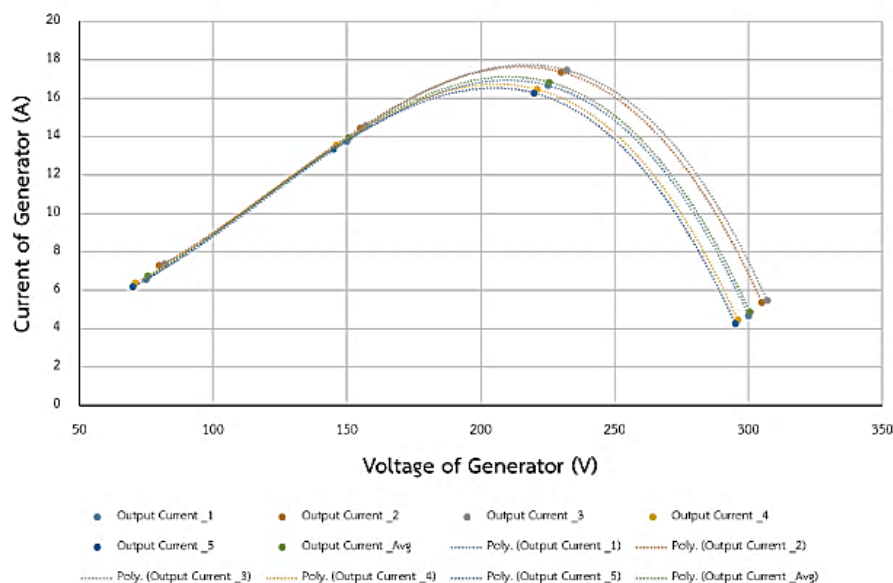


(ง)

ภาพที่ 8 การดำเนินงานสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ

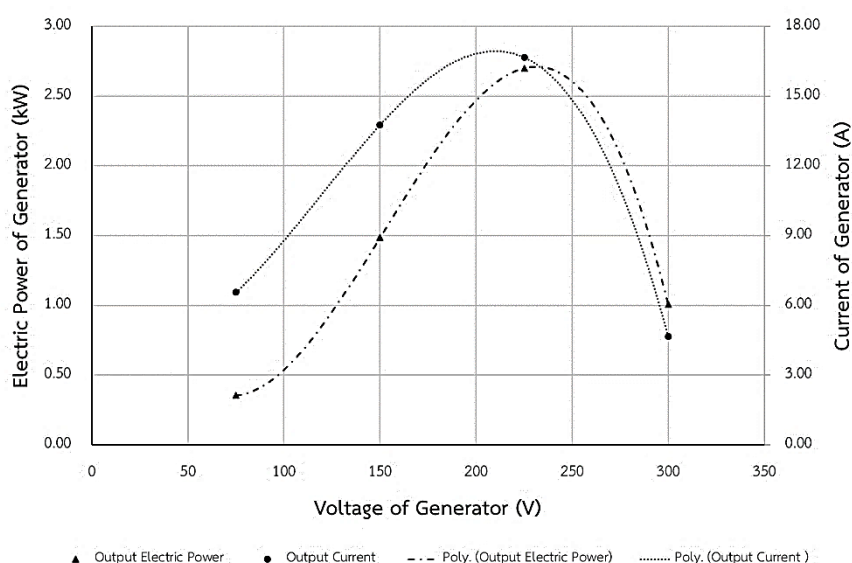
และทำการทดสอบการทดสอบระบบไฟฟ้าจากตัวกำเนิดไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการกำหนด ค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ได้จากการทดสอบข้างต้นและมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับ หัวน้ำที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 34 เมตร และทดสอบการอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ โดยวิธีการ เปิดวาล์วน้ำแบบร้อยละ 100 จากนั้นนำถังน้ำขนาด 20 แกลลอน ตวงน้ำที่ไหลผ่านท่อแบบเต็ม พื้นที่หน้าตัดจนเต็มจำนวน 10 ครั้ง และจับเวลาเพื่อหาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาความเร็ว (v) และอัตราการไหลของน้ำ (Q) โดยกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำก่อนเข้าตัวกำเนิดไฟฟ้า มีขนาด 0.0508 ตารางเมตร พบว่า ความเร็วน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อในช่วงเวลา

ที่ได้ทำการทดสอบคิดเป็นค่าเฉลี่ยเป็น 17.91 เมตรต่อวินาที และ 0.91 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีตามลำดับ และทำการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำด้วยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดเท่ากับ 4/4, 3/4, 2/4 และ 1/4 สำหรับการใช้มอเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในแต่ละเงื่อนไข



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านขาออกของตัวกำเนิดไฟฟ้าในพื้นที่

ในการติดตั้งและการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำในพื้นที่ร่วมกับกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำ ต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าหัวฉีดในระดับ 3/4 (ร้อยละ 75) จึงสามารถทำให้ตัวกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังงานในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 2.7 กิโลวัตต์ เมื่อเทียบกับคุณลักษณะของตัวกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีขนาด 3 กิโลวัตต์ สำหรับใช้งานในพื้นที่ต่อไปได้



ภาพที่ 10 คุณลักษณะของกำลังงานไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบร่วมกับกังหันน้ำ

5. สรุปผลการวิจัย

จากโครงการวิจัยเพื่อพัฒนากังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำภายในชุมชน ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนารูปแบบกังหันน้ำแรงเสียดทานต่ำให้มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนตัวกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบของกังหันน้ำเพลตัน ซึ่งได้ทำการออกแบบใบพัดให้มีความเหมาะสมในการรับน้ำและการกระจายตัวของน้ำในเครื่องผลิตไฟฟ้า โดยการปรับระดับการเปิดของหัวฉีดน้ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 57.56 ให้บังคับอัตราการไหลของน้ำให้สามารถขับเคลื่อนกังหันที่ทำการวิเคราะห์ขึ้น ทำให้ตัวกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังงานในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 2.7 กิโลวัตต์ ซึ่งประสิทธิภาพกังหันมีค่าสูง และอัตราการสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องจากองค์ประกอบทางด้านคุณสมบัติของวัสดุและองค์ประกอบทางด้านต่าง ๆ ทำให้ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ ซึ่งการนำไปใช้งานในพื้นที่อื่น ๆ ควรคำนึงถึงอัตราการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปตามระยะทางของสายไฟฟ้าด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความร่วมมือของคณะผู้วิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการเดินทางไปราชการ ประกอบกับคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้คำปรึกษา อำนวยความสะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบผลการทดสอบในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Boonbumrung, U. (2010). Power + work in the form of thinking: small hydro. **Journal of Health Policy Foundation**, 6.
- Saniso, E. (2011). Simple micro hydroelectric power generation system for households: Ban Lacosukae, Taling Chan Sub-district, Bannang Sata District, Yala Province. **Journal of Spatial Development Research**, 4 (2).
- Somchitchob, S. (2011). **Efficiency test of friction-reducing vertical axis hydroelectric turbine**. Nakhon Pathom: Faculty of Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus.
- Supakittiwong, Y. (2013). **Hydroelectricity**. [online], Available: <http://www.yp.co.th/201010-03-06-35-34/88--hydroelectricity.html>. access on June 4, 2013.
- Hydrology and Water Management Center Upper North. (2013). **Water quantity monthly - yearly**, [data file].
- La Amornchai, W. (2009). **Appropriate variable study for small, low-head power generating turbines by means of fluid dynamics analysis using a computer program**. Pathum Thani: Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

การจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (แบบตั้ง) Management of Bamboo Handicraft Waste for Briquetted Fuel Using a 200 Liter Vertical Type Charcoal Retort

วีรวิฐ เลพล^{1*}

Wirawut Lephon^{1*}

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

156 ตำบลพลาชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร 0 5526 7124 E-mail: wirawut_31@yahoo.com

¹Mechanical Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
156 Phlai Chumphon, Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok, 65000

วันที่รับบทความ 28 กันยายน 2563
Received: Sep. 28, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 19 ธันวาคม 2563
Revised: Dec. 19, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563
Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่มาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยผ่านกระบวนการเผาด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (แบบตั้ง) และผลิตถ่านอัดแท่งดูดกลิ่น โดยบรรจุภัณฑ์จากหัตถกรรมจักสานเพื่อเพิ่มมูลค่า พบว่าถ่านอัดแท่งจากเศษไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการเผา มีค่าความร้อน 3,565.47 cal/g นำมาบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์จากหัตถกรรมจักสาน สามารถสร้างรายได้ ให้กับชุมชนโดยเฉลี่ย 134,120 บาทต่อเดือน จากกระบวนการวิจัยดังกล่าวสามารถพัฒนาเทคโนโลยี ด้านพลังงานทดแทนให้เกิดความยั่งยืนในชุมชนและลดปัญหาการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งอันเป็นสาเหตุ ของลดหมอกควัน

คำสำคัญ: ชีวมวล, ถ่านชีวมวล, เตาเผาถ่าน, วัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสาน

Abstract

This research investigated how the waste from bamboo handicrafts can be used to produce briquetted fuel. Through the process of using a 200-liter vertical type charcoal retort, odor-absorbing charcoal was produced using packaging from bamboo handicrafts giving added value. The results of the research showed that the briquette fuel from the burnt bamboo scraps had a heating value of 3,565.47 cal/g. The handicraft packaging can generate income for the community of 134,120 baht on average per month. This research highlights that renewable energy technologies can be developed to create sustainability in the community and reduce the burning of waste materials that cause smog.

Keywords: Biomass Energy, Biochar, Charcoal Retort, Bamboo Handicrafts Waste

1. บทนำ

เกษตรกรบ้านห้วยไผ่ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีการทำหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่เป็นอาชีพเสริม ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการจักสานในปริมาณมาก และโดยทั่วไปจะถูกทำลายหรือกำจัดโดยวิธีการเผาทำลาย ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันรบกวนผู้ที่อยู่บริเวณโดยรอบ เศษวัสดุที่เกิดจากหัตถกรรมจักสานเหล่านี้ ซึ่งยังเป็นชีวมวลที่คงเหลือยังไม่ถูกนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ เชื้อเพลิงดังกล่าวนี้สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงพาณิชย์ได้โดยผ่านกระบวนการจัดการ คือ การรวบรวม และแปรรูปให้พร้อมใช้ จะลดการสร้างปัญหาให้เกษตรกรในการจัดการเศษวัสดุเหล่านี้ ซึ่งเกษตรกรจะนิยมเผาก่อนปัญหาหมอกควัน เชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้มีการแปรรูปให้เป็นพลังงานมีต้นทุนที่ไม่สูง เช่น การนำไม้พินมาใช้เพื่อเป็นแหล่งความร้อนสำหรับประกอบอาหาร หรือนำมาเป็นเชื้อเพลิงขั้นต้นสำหรับกระบวนการผลิตไฟฟ้า (Hoogwijk, M. et al., 2003) เชื้อเพลิงประเภทฟืนและถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงกลุ่มพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม โดยนักวิจัยได้แบ่งประเภทของชีวมวลตามปริมาณความชื้นภายในชีวมวล (Moisture Content) เพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวล ไม้พิน เป็นชีวมวลที่มีความชื้นต่ำ เรียกว่า “Dry Conversion Process” (McKendry, P., (2002a); (2002b)) นิยมนำมาแปรรูปเป็นถ่าน โดยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน กระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนไม้ให้กลายเป็นถ่านโดยให้ความร้อนกับไม้ในสภาวะควบคุมอากาศ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในเนื้อไม้ (Vitidsant, T., 2012) ผลผลิตที่ได้เป็นถ่านที่มีคุณภาพมีสารก่อมะเร็งต่ำ ชี้อ่อนนุ่ม และผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านอีกอย่างหนึ่ง คือ น้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar) ซึ่งกระบวนการผลิตใช้เตาเผาถ่านในหลายประเภท ตั้งแต่ดั้งเดิมจนถึงปัจจุบัน แต่จากสภาพปัญหาพื้นที่ป่าไม้ลดลงทำให้ขาดแคลนไม้สำหรับการเผาถ่าน รวมถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีการส่งเสริมเทคโนโลยีการเผาถ่านด้วยเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูง เช่น เตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร (Maejo Energy Research Center, 2012) โดยเตาเผาถ่านแบบถัง 200 ลิตร สามารถใช้เศษกิ่งก้านไม้ เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรือเศษวัชพืชอื่น ๆ มาเป็นวัตถุดิบแทนไม้ขนาดใหญ่ จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่สำคัญของการเผาถ่าน และประโยชน์ที่ได้จากการเผาถ่านด้วยเตาประสิทธิภาพสูงมีใช้ได้เพียงถ่านเท่านั้น ด้วยข้อเด่นของเตาชนิดนี้และการส่งเสริมอย่างจริงจังทำให้เกิดการพัฒนา รูปแบบผลผลิตและประโยชน์ที่ได้จากการเผาถ่านหลากหลาย (Ruchuwatruk, P., & Tathong, P. 2014)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นนำวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่มาแปรรูปให้มีความเหมาะสมให้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน และพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อจำหน่ายเป็นถ่านดูดกลิ่น โดยใช้บรรจุภัณฑ์จากหัตถกรรมจักสานของกลุ่มเกษตรกร เพื่อเพิ่มมูลค่าของหัตถกรรมจักสานของชุมชน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงและพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อจำหน่ายเป็นถ่านดูดกลิ่น

2.2 เพื่อเพิ่มมูลค่าหัตถกรรมจักสานโดยการนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการเผาถ่านจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการจักสานดังภาพที่ 1 โดยปกติแล้ว วัสดุเหล่านี้จะถูกเผาทำลายทิ้งโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ กระบวนการนี้ได้นำไม้ไผ่ที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับหัตถกรรมจักสานได้ โดยนำเศษไม้ไผ่ไปตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปบรรจุในเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ปริมาณ 40 กิโลกรัม ดังภาพที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการเผา 7 - 8 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุด 517 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านไม้ไผ่ดังภาพที่ 1 (ข)



(ก) วัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่
ภาพที่ 1 วัสดุเหลือทิ้งและถ่านจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่

(ข) ถ่านเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้ง



ภาพที่ 2 กระบวนการเผาถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งด้วยเตาเผาถ่าน ขนาด 200 ลิตรแบบตั้ง

การอัดแท่งเชื้อเพลิง

นำถ่านที่ได้จากกระบวนการเผาด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร มาบดให้ละเอียด ดังภาพที่ 3 (ก) ผสมกับตัวประสานโดยใช้แป้งมันสำปะหลัง (ภาพที่ 3 (ข)) อัตราส่วน 1:1.4 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากัน เมื่อผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว นำส่วนผสมดังกล่าวปริมาณ 100 กรัม มาอัดขึ้นรูป ด้วยมือเป็นรูปทรงต่าง ๆ ตามลักษณะของบรรจุภัณฑ์ของกลุ่มชุมชนดังภาพที่ 4 (ข) จากนั้นนำ

เชื้อเพลิงอัดแท่งไปตากแดดเพื่อลดความชื้น ประมาณ 5 – 7 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ เก็บในถุงพลาสติกมัดปากให้สนิท เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับความชื้นสำหรับบรรจุเพื่อจำหน่าย และจากกระบวนการนี้นำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง คือการวิเคราะห์ค่าความร้อน ด้วยเครื่อง Automatic Bomb Calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM D5865 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก



ภาพที่ 3 กระบวนการทำถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงและถ่านดุดกลื่น

การสร้างบรรจุภัณฑ์และจัดจำหน่าย

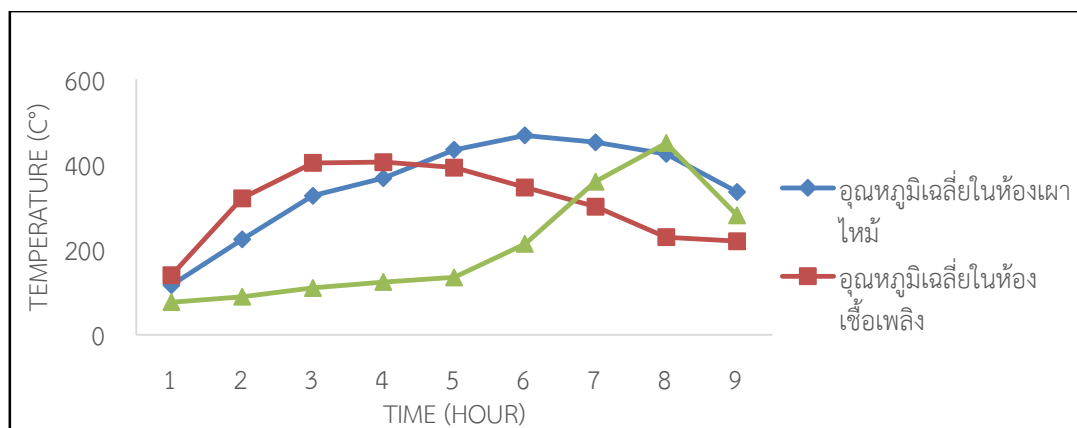
กระบวนการออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยใช้บรรจุภัณฑ์จากหัตถกรรมจักสานของกลุ่มชุมชน เพื่อสร้างมูลค่าได้ในหลากหลายรูปแบบ



ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งสำหรับดุดกลื่น

4. ผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ร่วมกับการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยการศึกษาได้ทดสอบอุณหภูมิของกระบวนการเผาถ่านร่วมด้วย เพื่อศึกษาแนวโน้มของอุณหภูมิภายในเตาเผา



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อเวลาที่ทำให้ความร้อนในกระบวนการเผา

จากภาพที่ 5 เป็นผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาเผา (ห้องเผาไหม้) ในแต่ละช่วงเวลาดังแต่เริ่มจุดไฟในห้องเชื้อเพลิงจนถึงกระบวนการทำให้ถ่านเย็นตัวลง พบว่า อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยสูงสุด 450 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากการเริ่มเผา ซึ่งเป็นช่วงที่หยุดป้อนเชื้อเพลิงและทำให้ถ่านเย็นตัวลง อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเชื้อเพลิงเฉลี่ยสูงสุด 406 องศาเซลเซียส ในเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากการเริ่มเผาและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 472 องศาเซลเซียส ณ เวลา 6 ชั่วโมง หลังจากการเริ่มเผา

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งดูดกลิ่นพร้อมบรรจุภัณฑ์หัตถกรรมจักสาน

ชนิดของถ่าน	ถ่านไม้ไผ่	ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่
น้ำหนักไม้เริ่มต้น (กิโลกรัม)	40	40
ระยะเวลาการเผา* (ชั่วโมง)	8	8
ผลผลิตถ่าน/ครั้ง (กิโลกรัม)	9.58	9.58
ค่าความร้อน (cal/g)	2,355.8	3,565.47
ราคาจัดจำหน่าย/ชุด	25	70
รายได้/คน/เดือน (บาท)	6,790	134,120

หมายเหตุ *รวมระยะเวลาการปิดหน้าเตา

จากการทดสอบใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ เพื่อเปรียบเทียบมูลค่าของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจำหน่ายพร้อมบรรจุภัณฑ์หัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ในรูปแบบต่าง ๆ พบว่า ถ่านไม้ไผ่จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสาน ซึ่งเป็นเศษไม้ที่เกิดจากการตัดไม้ไผ่เพื่อเตรียมสำหรับกระบวนการจักสาน (ภาพที่ 4 ก)) มีลักษณะคงรูปเหมือนก่อนเผาได้ผลผลิตถ่านโดยเฉลี่ยได้ 9.58 กิโลกรัมต่อครั้ง ทำการเผา 1 ครั้งต่อวัน จำนวน 20 วันต่อเดือน จะสามารถผลิตถ่านได้ 191.6 กิโลกรัม จำหน่ายกิโลกรัมละ 25 บาท จะสร้างรายได้เฉลี่ย 6,790 บาทต่อปี ถ้านำถ่านไม้ไผ่มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งสำหรับดูดกลิ่นและใช้หัตถกรรมจักสานเช่น ชะลอม ตะกร้าขนาดเล็ก

เป็นบรรจุภัณฑ์ดังภาพที่ 4 (ค) พบว่าในระยะเวลา 1 เดือนผลิตถ่านดุกกลั่นได้จำนวน 1,916 แท่ง จำหน่ายพร้อมบรรจุภัณฑ์ในราคาชุดละ 70 บาท และสามารถเพิ่มรายได้ 134,120 บาทต่อเดือน

5. สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล

เกษตรกรบ้านห้วยไผ่ เป็นหมู่บ้านที่ทำอาชีพเกษตรกรเป็นหลักและทำอาชีพเสริมจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ ดังนั้น จึงก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ของชุมชน โดยส่วนใหญ่จะกำจัดด้วยวิธีการเผาทิ้ง อันก่อให้เกิดปัญหามลพิษและความรำคาญให้กับชุมชน โดยรอบ จากการลงพื้นที่ของนักวิจัยได้มีแนวคิดร่วมกับชุมชน จึงมีความเห็นตรงกันในเรื่องของการจัดการของเสียที่เกิดจากหัตถกรรมจักสานเหล่านี้ให้เกิดประโยชน์ และสร้างรายได้ให้กับชุมชน จึงได้นำกระบวนการเผาถ่านด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (Maejo Energy Research Center, 2012) ซึ่งสามารถใช้กับไม้ไผ่ที่มีขนาดเล็ก เกิดจากการตัดส่วนเกินหรือเศษไม้ไผ่ที่ไม่สามารถนำมาเตรียมเป็นวัตถุดิบสำหรับหัตถกรรมจักสานได้ และเมื่อไม้ไผ่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ยังมีสภาพการคงรูปเหมือนก่อนผ่านกระบวนการเผา ทำให้มีรูปลักษณะและรูปร่างเป็นไม้ไผ่ที่สวยงามเหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์อีกทางหนึ่ง เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรนี้ ยังมีกระบวนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์ ด้วยความสามารถที่มีอุณหภูมิภายในเตาสูงถึง 700 องศาเซลเซียส คว้นที่ออกมาในขั้นตอนนี้จะไล่สารก่อกัมเริงออกมาด้วยทำให้ถ่านที่ได้มีสารก่อกัมเริงน้อย จึงมีความปลอดภัยต่อสุขภาพด้วย (Appropriate Technology Association, 2006) จากการเผาถ่านดังกล่าวทำให้มีรายได้จากการเผาถ่านจากเศษไม้ไผ่โดยเฉลี่ย 6,790 บาทต่อเดือน แต่ถ่านจากไม้ไผ่ไม่เป็นที่นิยมนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเหมือนกับไม้เนื้อแข็งชนิดอื่น เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นถ่านอัดแท่งในรูปแบบของถ่านดุกกลั่น โดยใช้บรรจุภัณฑ์จากเครื่องจักสานในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าทั้งให้กับถ่านและงานหัตถกรรมจักสานของชุมชน สามารถสร้างรายได้จากถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่ประมาณ 134,120 บาทต่อเดือน ซึ่งใช้บรรจุภัณฑ์จากหัตถกรรมจักสาน มีความสวยงาม มีลวดลายการสานประณีต แตกต่างจากบรรจุภัณฑ์ทั่วไปในท้องตลาด (การคำนวณการจัดจำหน่ายนี้จากฐานการผลิตเท่านั้นแต่ในหลักความเป็นจริงแล้วยังมีอุปสรรคด้านช่องทางการตลาด) สามารถใช้เป็นถ่านดับกลิ่นในตู้เย็น ห้องนอน ห้องรับแขก ไซ้ลวดลายของบรรจุภัณฑ์อันเป็นการเพิ่มมูลค่าของหัตถกรรมจักสานของชุมชน สามารถนำไปเป็นกระเช้าของขวัญ ของที่ระลึก ฯลฯ จากการดำเนินการศึกษาวิจัยนี้ สามารถการแก้ปัญหาให้กับชุมชน มีความเหมาะสมกับชุมชน ใช้งบประมาณน้อย เป็นเทคโนโลยีที่มีความไม่ซับซ้อนและยุ่งยากจนเกินไป ส่งผลเรื่องของความยั่งยืนด้านเทคโนโลยีและกระบวนการ (Lephon, W., et al., 2019) ดังนั้น ถ่านอัดแท่งชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสาน จากงานวิจัยนี้สามารถสร้างความรู้ความตระหนักด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและการมีส่วนร่วมในพื้นที่ สามารถยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชน การพึ่งพาตนเองได้มากขึ้น และเป็นการจัดการเศษวัสดุทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานชีวมวลทดแทนก๊าซหุงต้ม ลดปริมาณขยะมูลฝอย ลดการเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งอันจะก่อให้เกิดปัญหาหมอกควัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรกรบ้านห้วยไผ่ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และวัสดุเหลือทิ้งจากหัตถกรรมจักสานไม้ไผ่

7. เอกสารอ้างอิง

- Appropriate Technology Association. (2006). **Manual for 200-liter charcoal retort**. Bangkok: Pickanes Printing Center Co.,Ltd. (in Thai)
- Hoogwijk, M., et al. (2003). Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. **Biomass & Bioenergy**, 25: 119-133.
- Lephon, W., Yupum, C., & Deesom, S. (2019). Technology transfer model for renewable energy in the community sharing case study: biogas digester in Border Patrol Police school, Phitsanulok province. **The Journal of Science and Technology RMUTSB**, 3(1), 66-74. (in Thai)
- Maejo Energy Research Center. (2012). **Manual for 200-liter charcoal retort (Vertical Type)**. Chiang Mai: Maejo University. (in Thai)
- McKendry, P. (2002a). Energy Production from Biomass (part 1): Overview of Biomass. **Bioresource Technology**, 83: 37-46.
- _____. (2002b). Energy Production from Biomass (part 2): Conversion Technologies. **Bioresource Technology**, 83: 47-54.
- Ruchuwarak, P. & Tathong, P. (2014). Charcoal burning in the tradition of local communities towards alternative energy technologies. **Academic Journal of Buriram Rajabhat University**, 6(2), 52-71. (in Thai)
- Vitidsant, T. (2012). **Activated carbon: production and implementation**. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น กรณีศึกษางานปั้นดอกไม้
สำหรับตกแต่งชิ้นงานเซรามิกรูปแบบตะกร้าสาน
โรงงานจำปาเซรามิก อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

Study the factors that cause clay cracking in the case of a case
study of decorative flower molding in ceramics.

Champa Ceramic Factory Mueang District Lampang Province

ศิริมา เอมวงษ์^{1*}, ปัญญา พลรักษ์² และ วาเอเลียส บินโซดาโฮะ³

Sirima Emwong^{1*}, Panya Polrak² and Waelias Binsodaoh³

^{1*,2,3}มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 119 ถนนลำปาง-แม่ทะ หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
52100 เบอร์โทร 0 5423 7399 โทรสาร 0 5423 7389 E-mail: sirima@glpru.ac.th

^{1*,2,3}Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University 119 Lampang-Mae Ta Road, Ban Hua Gnork,
Tambon Chompoo, Amphur Muang, Lampang Province 52100

วันที่รับบทความ 6 พฤศจิกายน 2563
Received: Nov. 6, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 22 ธันวาคม 2563
Revised: Dec. 22, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563
Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น กรณีศึกษางานปั้นดอกไม้สำหรับตกแต่งชิ้นงานเซรามิกรูปแบบตะกร้าสาน โรงงานจำปาเซรามิก พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกร้าวของเนื้อดินปั้นคือ ความแข็ง และความชื้นของเนื้อดินปั้น โดยเนื้อดินปั้นของโรงงานที่ใช้ในการขึ้นรูป มีความแข็งเท่ากับ 6.5 และมีความชื้นต่ำ เมื่อนำมาปั้นขึ้นรูปเป็นตะกร้าสานและปั้นดอกไม้ตกแต่งทำให้เกิดการแตกร้าว หลังจากปรับเนื้อดินปั้นโดยเติมน้ำในขั้นตอนนวดดินด้วยเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศให้เนื้อดินปั้นมีความแข็งลดลง คือ 4.5 แล้วนำมารีดให้เป็นเส้น จากนั้นเพิ่มความชื้นให้เนื้อดินปั้นด้วยการคลุมดินด้วยผ้าชุบน้ำหมาด ๆ ปิดทับด้วยพลาสติกทิ้งไว้ 1 คืน และนำมาปั้นขึ้นรูปแบบตะกร้าสาน และตกแต่งด้วยงานปั้นดอกไม้ติด พบว่าชิ้นงานที่ปั้นไม่รอยแตกร้าว

คำสำคัญ : การแตกร้าว, งานปั้นดอกไม้, เนื้อดินปั้น

Abstract

This research was to study the factors affecting the cracking of clay texture. Case study of flower sculptures for decorating ceramic items in basket pattern Champa ceramic plant. It was found that the factors affecting the cracking are the hardness and moisture content of Clay. By the clay of factory used for forming. It has a hardness of 6.5 and low moisture. When the flowers were formed into baskets and formed, they fell apart. After adjusting the clay by adding water in the clay preparation process, to have a lower hardness of 4.5, it was rolled into strips and then added moisture

to the clay by clumping with a damp cloth over it. With plastic and leave it for 1 night, then the form a basket and decorated with flower sculptures attached. Found that the work piece did not have cracks.

Keywords: Cracking, Flower sculptures, Clay body

1. บทนำ

โรงงานจำปาเซรามิกเป็นโรงงานขนาดเล็ก ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มีพนักงานปฏิบัติงาน 15 คน โดยรูปแบบการผลิตเซรามิกของโรงงานจำปาเซรามิกจะใช้แรงที่มีฝีมือในการปั้นชิ้นงาน รูปทรงของชิ้นงานที่ทางโรงงานผลิตและได้รับความนิยมจากลูกค้าจะเป็นการปั้นเลียนแบบการจักสาน จากงานไม้ไผ่ งานจักสานจากหวาย โดยพนักงานทำการรีดและคลึงดินให้เป็นเส้นจากนั้นนำเส้นดินมาสานเป็นรูปตะกร้า และตกแต่งด้วยการปั้นดอกไม้ติดชิ้นงาน โดยสินค้าที่ทำการผลิตเป็นที่ต้องการของตลาดส่งขายให้กับโรงแรมและรีสอร์ท ร้านสปาและร้านนวดแผนไทย จากการเก็บข้อมูลที่โรงงานพบว่าทางโรงงานมีปัญหาในการผลิตคือการปั้นชิ้นงานรูปดอกไม้ และนำมาติดกับงานสานรูปทรงตะกร้าจะเกิดการแตกร้าวของชิ้นงานเป็นจำนวนมาก ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามเจ้าของโรงงานและเก็บข้อมูลการทำงานของพนักงานโรงงาน ได้รับข้อมูลว่ามีของเสียในแต่ละเดือนประมาณร้อยละ 20 คิดเป็นมูลค่าที่ทางต้องเสียค่าใช้จ่ายเฉลี่ยประมาณเดือนละ 20,000 - 25,000 บาทต่อเดือน จากขั้นตอนการขึ้นรูปและมีการแตกร้าวก่อนการเผาจากกำลังการผลิตของโรงงานจำปาเซรามิก โดยจะเกิดการแตกร้าวในขั้นตอนการปั้นชิ้นงานก่อนการเผาดิบ หลังปล่อยทิ้งไว้แห้งจะสังเกตเห็นรอยแตกชัดเจน จากการสอบถามและสำรวจการทำงานพบว่าการทำงานพนักงานจะเปิดพัดลมในขณะที่ทำงานทำเนื่องจากอากาศร้อน และดินที่รีดออกมาจะรีดเป็นจำนวนมากแล้วนำมาสานขึ้นรูป โดยไม่มีการคลุมดินด้วยผ้าแต่อย่างใด หลังจากสานตะกร้าเสร็จคนงานจะนำงานปั้นดอกไม้แล้วนำมาติดที่ชิ้นงานเลย พบว่าชิ้นงานที่มีแตกร้าวส่วนใหญ่เป็นชิ้นงานที่ทำในตอนบ่ายมากกว่าชิ้นงานที่ทำในช่วงเวลาเช้า โดยการที่ก่อกำเนิดการแตกร้าวให้ทางโรงงานเสียเวลาหรือต้องทำใหม่ (Sailinthawong, K., 2020) ปัญหาการร้าวก่อนเผานั้น อาจเกิดได้ตั้งแต่การเตรียมเนื้อดิน การขึ้นรูป การอบแห้ง การเคลื่อนที่ในระหว่างการเคลือบ หรือในช่วง preheating ของการเผา ซึ่งถ้าไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวจะสามารถทำการผลิตได้ปริมาณมาก และประหยัดเวลาในการทำชิ้นงานใหม่ เพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานได้มากขึ้น

เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น กรณีศึกษาการปั้นดอกไม้เพื่อการตกแต่งชิ้นงานเซรามิกรูปแบบตะกร้าสานงานผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และยังเป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบการที่ทำการผลิตเซรามิก ประเภทงานปั้นเพื่อการตกแต่ง ในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น กรณีศึกษางานปั้นดอกไม้สำหรับตกแต่งชิ้นงานเซรามิกรูปแบบตะกร้าสาน โรงงานจำปาเซรามิก อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น จากการปั้นดอกไม้ติดชิ้นงานรูปแบบตะกร้าสาน โดยผู้วิจัยได้สรุป ขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาปัจจัยที่เกิดจากการแตกร้าวของเนื้อดินปั้นจากการปั้นดอกไม้ติดชิ้นงานชิ้นรูปแบบตะกร้าสาน การศึกษาปัจจัยที่ทำให้ชิ้นงานเซรามิกมีปัญหาเกิดการแตกร้าวขณะผู้วิจัยได้เข้าไปเก็บข้อมูลการผลิตชิ้นงานเซรามิกงานปั้นดอกไม้ติดชิ้นงานรูปแบบตะกร้าสาน เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินปั้น การขึ้นรูป การผึ่งให้แห้ง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่เกิดการแตกร้าวมากที่สุด

3.2 นำตัวอย่างเนื้อดินปั้นที่ได้จากทางโรงงานจำปาเซรามิก ทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น โดยทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนการเผา จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของทางโรงงานจะพบปัญหาการแตกร้าวมากในช่วงก่อนการเผาดิบเท่านั้น ขั้นตอนของการทดสอบทำโดย

1) การเตรียมเนื้อดินโรงงานซื้อดินสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงมาผ่านเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ (Extrude) ประมาณ 6 - 7 รอบ จากนั้นนำดินที่ผ่านการเตรียม เข้าเครื่องรีดเป็นดินเส้นเล็ก ๆ เพื่อจัดเตรียมเส้นดินที่ได้นำไปขึ้นรูปชิ้นงานตะกร้าสานต่อไป

2) การทดลองความเหนียวของเนื้อดิน ด้วยการนำเนื้อดินที่ผ่านการนวดด้วยเครื่องนวดแบบสุญญากาศ 6 - 7 รอบ นำมาทดสอบความเหนียวของเนื้อดินด้วยการกดให้เป็นวงสังเกตบริเวณผิวของดินที่กดเป็นวงถ้าดินที่มีความเหนียวผิวดินจะเรียบ แต่ถ้าเนื้อดินไม่มีความเหนียวจะไม่สามารถกดเป็นวง หรือเกิดรอยแตกบริเวณผิวของเนื้อดิน บันทึกผล

3) การทดสอบค่าความชื้นของเนื้อดิน ทำการทดสอบด้วยการชั่งน้ำหนักของเนื้อดินที่ผ่านเครื่องนวดแบบสุญญากาศบันทึกค่า จากนั้นนำดินไปอบแห้ง อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำดินที่ผ่านการอบแห้งมาชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง คำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}}$$

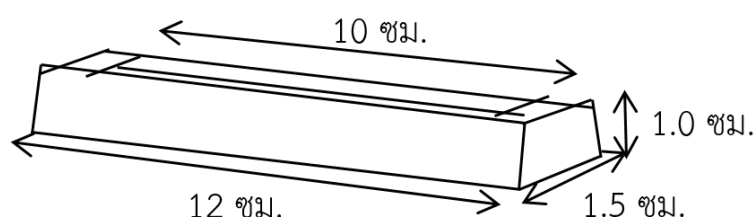
หลังจากคำนวณค่าร้อยละของความชื้นในเนื้อดินแล้ว เราสามารถทราบปริมาณเนื้อดินแห้งได้จากการคำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละของวัตถุดิบแห้ง (\%Dry)} = 100 - \text{ร้อยละของความชื้น}$$

4) ทดสอบความหดตัวของเนื้อดินจะสอดคล้องกับค่าของความเหนียวของเนื้อดินกล่าวคือเนื้อดินที่มีความเหนียวมากจะหดตัวมาก เนื้อดินที่มีความเหนียวน้อยจะมีค่าการหดตัวน้อยสามารถทำการทดสอบค่าการหดตัวของเนื้อดินได้โดยทำแท่งทดสอบสี่เหลี่ยมจากเนื้อดินที่จะใช้งาน มีขนาดกว้าง 1.0x1.5 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร และทำเครื่องหมายบอกความยาวบนแท่งทดสอบ

ยาว 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 ผึ่งแห้งทดสอบให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นนำแห้งทดสอบไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้ววัดความยาว จดบันทึกเป็นความยาวเมื่อแห้ง (เซนติเมตร) ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการหดตัวเมื่อแห้ง} = \frac{\text{ความยาวหลังการขึ้นรูป} - \text{ความยาวเมื่อแห้ง}}{\text{ความยาวหลังการขึ้นรูป}} \times 100$$



ภาพที่ 1 การทดสอบการหดตัวของเนื้อดิน

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าว มีหลายสาเหตุ
 - (1.1) วิเคราะห์การเตรียมเนื้อดินปั้นของโรงงาน การเก็บเนื้อดินหลังเตรียม
 - (1.2) เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมดิน
 - (1.3) การขึ้นรูปตะกร้าสานและการปั้นดอกไม้ติด
 - (1.4) ขั้นตอนการปฏิบัติงานของช่างปั้น

3.4 ปรับปรุงการเตรียมเนื้อดินและการขึ้นรูปชิ้นงานตะกร้าสาน

3.5 สรุปและอภิปรายผล

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลงานวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น กรณีศึกษาการปั้นดอกไม้ติดขึ้นงานรูปแบบตะกร้าสาน โรงงานจำปาเซรามิก พบว่าขึ้นได้การเตรียมดินสำหรับปั้นตะกร้าสานทางโรงงานใช้ดินสำเร็จรูป นำมานวดและผ่านเครื่องรีดดินให้เป็นเส้น พนักงานเตรียมดินด้วยการนำดินสำเร็จรูปมาผ่านเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ 6 - 7 รอบ โดยค่าความแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 1 วัดความแข็งด้วยการใช้เครื่องวัดความแข็งกดไปที่แห้งดินด้วยเครื่องวัดความแข็งของดิน (Clay Hardness Tester) จากนั้นนำไปรีดเป็นเส้น ลักษณะดินที่ได้จะมีรอยแตกบริเวณผิวของเส้นดินที่รีดออกมาเมื่อทดลองผลและทำการปรับค่าความแข็งของดินให้ลดลงด้วยการเติมน้ำลงไปขณะที่ทำการนวดดินเนื่องจากเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ และเพิ่มจำนวนรอบของนำดินผ่านเครื่องนวดดินจากเดิม

6 - 7 รอบ เป็น 10-12 รอบ เพื่อให้เนื้อดินมีความชื้นเท่ากัน ทดสอบค่าความแข็งลดลงอยู่ที่ 4.5 จากนั้นนำดินที่ได้ไปเข้าเครื่องรีดให้ดินเป็นเส้น ไม่พบรอยแตกที่บริเวณผิวด้านนอกของเส้นดิน



ภาพที่ 2 การเตรียมเนื้อดินปั้นของโรงงานจำปาเซรามิก ด้วยการใช้เครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความแข็งเนื้อดินปั้นโรงงานจำปาเซรามิก

ความแข็งของเนื้อดินวัดด้วยเครื่อง Clay Hardness Tester	
ก่อนปรับปรุงความแข็ง	หลังปรับปรุงความแข็ง
6.5	4.5



ภาพที่ 3 การวัดค่าความแข็งของเนื้อดินปั้นหลังผ่านเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ



ภาพที่ 4 การรีดดินผ่านเครื่องรีดให้เป็นเส้น มีรอยแตกบริเวณผิวด้านนอกของเส้นดินที่รีดออกมา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 การทดสอบความเหนียวของเนื้อดิน (ก) หลังจากผ่านเครื่อง (ข) เนื้อดินปั้นที่ลดความแข็งแรงลง 4.5 ผ่านเครื่องรีดคลุมด้วยผ้าทิ้งไว้ 1



ภาพที่ 6 ลักษณะเนื้อดินที่รีดเป็นเส้นและใช้ผ้าที่มีความชื้นคลุมทิ้งไว้ 1 คืนก่อนนำมาปั้นขึ้นรูปตะกร้าสานบริเวณผิวด้านนอกของเส้นดินไม่พบรอยแตก

ตารางที่ 2 ค่าการทดสอบค่าความเหนียวและค่าการหดเนื้อดินปั้นโรงงานจำปาเซรามิก ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

สมบัติทางกายภาพ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ความเหนียว	เหนียวมีรอยแตกที่ผิวดิน	เหนียวไม่มีรอยแตกที่ผิวดิน
ค่าการหดตัว (%)	2.26	2.57

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความชื้นและปริมาณน้ำของเนื้อดินปั้น โรงงานจำปาเซรามิก

สมบัติทางกายภาพ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ค่าความชื้น(%)	25.40	26.46
ปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้น	20.25	21.65

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นก่อนการปรับปรุงพบว่าเนื้อดินปั้นที่ทางโรงงานจำปาเซรามิก ทำการนวดด้วยเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ มีความแข็งที่ 6.5 เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความแข็งของเนื้อดิน นำมาทดสอบความเหนียวของเนื้อดินปั้นหลังผ่านเครื่องนวดดิน ด้วยการชดเป็นวงสามารถชดเป็นได้บริเวณผิวรอบ ๆ มีรอยแตกร้าวบริเวณผิวด้านนอกมีค่าความชื้นร้อยละ 25.40 นำมาทดสอบค่าการหดตัว เมื่อแห้งพบว่ามีค่าการหดตัวที่ร้อยละ 2.26

หลังจากปรับให้เนื้อดินปั้นมีค่าความแข็งลดลง โดยการเติมน้ำด้วยการพ่นเป็นละอองฝอยระหว่างการนวดด้วยเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปคิดเป็นร้อยละ 1.9 ของปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้น จากนั้นเพิ่มจำนวนรอบของการนวดดินด้วยเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศจากเดิมที่ทำการนวดดิน 6 - 7 รอบ เพิ่มเป็นนวดดิน 10 - 12 รอบ เพื่อให้เนื้อดินปั้นมีความชื้นสม่ำเสมอ จากการวัดค่าความแข็งของเนื้อดินปั้นพบว่าเนื้อดินมีความแข็งลดลงโดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 4.5 และรีดดินให้เป็นเส้นจากนั้นใช้ผ้าชุบน้ำหมาด ๆ ปิดทับคลุมด้วยแผ่นพลาสติกทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ทดสอบความเหนียวของเนื้อดินปั้นด้วยการชดเป็นวงไม่พบรอยแตกร้าวบริเวณผิวดินปั้น ทดสอบค่าความชื้นของดินพบว่าเนื้อดินปั้นมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นโดยมีค่าความชื้นร้อยละ 26.46 ทดสอบค่าการหดตัวเมื่อแห้งที่ร้อยละ 2.57 จากนั้นได้ทดลองให้พนักงานนำมาขึ้นเป็นรูปทรงตะกร้าสานและเป็นรูปดอกไม้ติด โดยจากการทดลองให้พนักงานแผนกปั้นของโรงงานจำปาเซรามิก นำเนื้อดินปั้นที่ได้ทำการปรับปรุงไปขึ้นรูปงานปั้นพบว่าสามารถลดอัตราการแตกร้าวได้เกือบทั้งหมดกล่าวคือไม่พบการแตกร้าวในชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานเผาดิบที่ 800 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ไม่พบการแตกร้าวของชิ้นงาน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ตัวอย่างชิ้นงานปั้นโรงงานจำปาเซรามิก (ก) จากการปั้นดินเหนียว และ (ข) ชิ้นงานปั้นหลังจากเผาเคลือบ

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น จากการปั้นดอกไม้ติดชิ้นงานรูปแบบตะกร้าสาน กรณีศึกษาโรงงานจำปาเซรามิก พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแตกร้าวของเนื้อดินคือ ความแข็ง ความชื้น ความเหนียวของเนื้อดินปั้น โดยเนื้อดินของที่โรงงานจำปาเซรามิกจะใช้ในการขึ้นรูปเป็นเนื้อดินที่ทางโรงงานซื้อสำเร็จรูปมาใช้ในการผลิตชิ้นงานของโรงงาน โดยนำดินสำเร็จรูปเข้าเครื่องนวดดินแบบสุญญากาศ 6 - 7 รอบ วัดความแข็งได้ 6.5 และทดสอบความเหนียวด้วยการขีดมีรอยแตกบริเวณผิวดินทดสอบความชื้นของเนื้อดินมีความชื้นต่ำ เมื่อนำมาปั้นขึ้นรูปเป็นตะกร้าสานและปั้นดอกไม้ตกแต่งทำให้เกิดการแตกร้าว หลังจากทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นและปรับปรุงเนื้อดิน โดยเติมน้ำด้วยการฉีดเป็นละอองน้ำในขณะทำการนวดด้วยเครื่องนวดแบบสุญญากาศให้เนื้อดินมีความแข็งลดลง โดยมีค่าความแข็งลดลงที่ 4.5 ปริมาณน้ำที่เติมเพิ่มเข้าไปคิดเป็นร้อยละ 1.9 และเพิ่มจำนวนรอบของการนวดดินจากเดิม 6 - 7 รอบ เป็น 10 - 12 รอบ เพื่อให้เนื้อดินมีความชื้นความสม่ำเสมอและนำมารีดให้เป็นเส้นด้วยเครื่องรีดดินเพิ่มความชื้นให้เนื้อดินด้วยการหมักดินโดยคลุมดินด้วยผ้าชุบน้ำหมาด ๆ ปิดทับด้วยพลาสติกทิ้งไว้ 1 คืน และนำมาปั้นขึ้นรูปแบบตะกร้าสาน ตกแต่งด้วยงานปั้นดอกไม้ติด พบว่าชิ้นงานที่ปั้นไม่รอยแตกร้าว โดยขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานยังมีขั้นตอนการทำงานเหมือนเดิมจากการเข้าปรับให้เนื้อดินปั้นมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น ทำให้โรงงานจำปาเซรามิกสามารถลดต้นทุนการแตกร้าวจากชิ้นงานปั้นได้ประมาณเดือนละ 20,000 - 25,000 บาทต่อเดือน

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อดินปั้น จากการปั้นดอกไม้ติดชิ้นงานรูปแบบตะกร้าสาน กรณีศึกษาโรงงานจำปาเซรามิก พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแตกร้าว ได้แก่ เนื้อดินปั้นที่ใช้ในการปั้นนั้นมีความแข็งมากเกินไปสำหรับงานปั้นรูปแบบตะกร้าสาน ซึ่งการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นจะเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในเนื้อดินปั้น หรือความชื้นของเนื้อดิน ความเหนียวของเนื้อดินปั้น (Ingsiriwat, P., 1998) หลังจากได้ปรับให้เนื้อดินความแข็งลดลงที่ 4.5 ด้วยการเติมน้ำในขั้นตอนการนวดด้วยเครื่องนวดดินก่อนทำการรีดดินให้เป็นเส้นและเพิ่มความชื้นให้เนื้อดินด้วยการคลุมดินด้วยผ้าชุบน้ำหมาด ๆ ปิดทับด้วยพลาสติกทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนนำมาทำการขึ้นรูป (Laksawat, S.2005) กล่าวว่าดินจะมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นเมื่อหมักดินทิ้งไว้ก่อนการขึ้นรูป (Saiinthawong, K., 2020) การรีดดินให้เป็นเส้นแล้วใช้ผ้าคลุมทิ้งไว้หรือการหมักดินจะช่วยให้เนื้อดินมีความชื้นที่สม่ำเสมอ ความเหนียวของเนื้อดินจะมีความเกี่ยวข้องกับขนาดอนุภาคในเนื้อดินด้วยเนื้อดินที่ขนาดอนุภาคเล็ก เช่น ดินเหนียวจะมีความเหนียวมากกว่าดินขาวที่เนื้อดินมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า จากการปรับปรุงเนื้อดินให้มีความแข็งลดลงด้วยการเติมน้ำมีผลให้เนื้อดินปั้นมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น จะเพิ่มความเหนียวของเนื้อดินปั้นด้วยการหมักดินเพิ่ม เมื่อนำมาขึ้นรูปชิ้นงานปั้นจึงทำให้ไม่พบปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงาน

6. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทางโรงงานจำปาเซรามิก ใช้ดินสำเร็จรูปที่ซื้อภายในจังหวัดลำปาง และไม่ทราบถึงอัตราส่วนผสมของเนื้อดินปั้น ดังนั้นการนำผลงานวิจัยไปใช้อาจต้องมีการทดสอบสมบัติทางกายภาพเพิ่มเติมอีกครั้ง

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย และขอขอบคุณโรงงานจำปาเซรามิกที่ให้ข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

Ingsiriwat, P. (1998). **Ceramic Body**. Bangkok: Odean Store. (in Thai)

Laksawat, S. (2005). Pottery: **Fundamentals of Desing and Implantation**.

Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Sai Inthawong, K. (2020). **Cracking Problem in Ceramics Products**. [online],

Available: http://www.thaiceramicsociety.com/ts_mark_broken.php.

access on January 13, 2020.

การเพิ่มสมบัติด้านความสามารถในการป้องกันแมลงของไม้สักอายุน้อย ด้วยนวัตกรรมชีวภาพ เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์

Increasing the Insect Protection Properties of Young Teak with Bio-innovation for Product Design

อภิญญา สาริบุตร^{1*}, เกียรติศักดิ์ เขียวมั่ง² และมียอง ซอ³

Attama Saributr^{1*}, Kriangsak Khiaomang² and Miyoung Seo³

^{1,2,3}สาขาวิชาทัศนศิลป์และการออกแบบ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถ.ลงหาดบางแสน ต.แสนสุข

อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131 โทร. 08 5946 5790 e-mail attama.saributr@gmail.com

^{1*,2,3}Visual Arts and Design, Faculty of Fine and Applied Art, Burapha University 169 Long-Hard Bangsaen Road, Saensook, Meung, Chonburi 20131 Thailand

วันที่รับบทความ 6 พฤศจิกายน 2563

Received: Nov. 6, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 18 ธันวาคม 2563

Revised: Dec. 18, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563

Accepted: Dec. 28, 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ คือ 1. เพื่อทดลองเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ 2. เพื่อนำผลการทดลองประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อย ผลการวิจัยพบว่า ผลการทดลองการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยจากสูตรสารสกัด จำนวน 24 สูตร สารสกัดจากสะเดาและขี้เหล็ก สูตรที่ 22 ให้ประสิทธิภาพในการป้องกันแมลงแก้วสัดไม้สักอายุน้อยได้ดีที่สุด และมีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์น้อยที่สุด โดยมีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ชนิด HaCat ที่ร้อยละ 53.561 และชนิด Vero ที่ร้อยละ 33.318 เมื่อสรุปผลการทดลองแล้ว ผู้วิจัยประยุกต์นำผลการทดลองการป้องกันแมลงของไม้สักอายุน้อยมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยทำการออกแบบผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชั้นวางของเล่นผลิตภัณฑ์แกะสลักหิ้งพระ และของเล่นเสริมทักษะสำหรับเด็ก ซึ่งมีผลการประเมินความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด 1 ชนิด คือ ของเล่นเสริมเสริมทักษะสำหรับเด็ก ($\bar{X} = 4.52$, S.D. = 0.17) และผลการประเมินความเหมาะสมในระดับมาก 3 ผลิตภัณฑ์ คือ หิ้งพระ ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.21) ผลิตภัณฑ์แกะสลัก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.30) และชั้นวางของ ($\bar{X} = 4.33$, S.D. = 0.25) **คำสำคัญ:** ไม้สักอายุน้อย, นวัตกรรมชีวภาพ, ผลิตภัณฑ์จากไม้สัก

Abstract

This research objectives are: 1. To experiment to increase the properties of young teak with biological innovation 2. To apply the results of the experiments to the design of products from young teak for 24 extracts formulas. The 22nd formulas is from extracts from neem and cassia provide the best insect protection for young teak material and has the lowest cytotoxic value. The cytotoxicity of HaCat cells at 53.561% and Vero at 33.318%. Then the researcher applied the results of the insect prevention experiment of young teak applied to used in product design for four products: a toy shelf, a carved product, the Buddha shelf, and a wood block toy. The highest level of

suitability evaluation is wood block toy ($\bar{X}$ = 4.52, SD = 0.17) and the evaluation of suitability at a high level are toy shelf ($\bar{X}$ = 0.21), carved products ($\bar{X}$ = 4.37, SD = 0.30) and the Buddha shelves ($\bar{X}$ = 4.33, SD = 0.25).

Keywords: Young Teak Wood, Bio-Innovation, Teak Wood Product Design

1. บทนำ

ไม้สักเป็นไม้ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศ แต่ในปัจจุบัน ไม้สักธรรมชาติลดน้อยลงไป กรมป่าไม้จึงส่งเสริมให้ภาครัฐและเอกชนปลูกสักสวนป่าขึ้น และกำหนดกรอบพื้นที่จาก 60 ปี เป็น 30 ปี และมีโอกาสที่จะเปลี่ยนเป็น 12 - 15 ปีได้ (Poosoodsawang, A., 2010. pp.5 - 6) ซึ่งไม้สักสวนป่าต้องมีการตัดสาง เพื่อให้ไม้สักเกิดการเจริญเติบโต โดยรอบที่ 1 คืออายุ 7 - 10 ปี และรอบที่ 2 คือ 15 - 22 ปี ไม้สักอายุ 7 - 10 ปีนั้น เป็นไม้สักอายุน้อย ซึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์น้อย เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น การป้องกันแมลง เช่น ปลวก และความแข็งแรงของเนื้อไม้มีน้อย โดยไม้สักอายุต่ำกว่า 10 ปี จะไม่มีสาร O - cresyl methyl ether เพราะสารเคมีดังกล่าว จะเกิดขึ้นเองในเนื้อไม้ ต่อเมื่อไม้สักมีอายุตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป (Royal Forest Department, 2011: 4) ดังนั้น การจะนำไม้สักมาใช้ประโยชน์ในการสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ควรต้องเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยก่อนการนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งศัตรูของเนื้อไม้ที่สำคัญ คือ ปลวก ปลวกสามารถทำลายเนื้อไม้สักได้ หากไม้สักไม่มีการสะสมสาร O - cresyl methyl ether ที่เพียงพอ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทดลองหาวิธีเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยให้มีสมบัติสามารถป้องกันแมลงศัตรูเทียบเคียงกับไม้สักที่มีอายุ 10 ปีขึ้นไป โดยอาศัยสมุนไพรรักษาแมลงจากภูมิปัญญา จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ กระเทียม ตะไคร้ สะเดา และขี้เหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันแมลง (HDAR – The Organic organization, 2001 : 10)

ผลิตภัณฑ์จากไม้สักเป็นผลิตภัณฑ์ไม้ที่ได้รับความนิยมเป็นวงกว้าง การนำวัสดุไม้สักอายุน้อยมาใช้ประโยชน์ จะต้องผ่านกระบวนการอบน้ำยาเคมี เพื่อป้องกันแมลงทำลายเนื้อไม้ แต่ในปัจจุบัน ผู้บริโภคมักนิยมผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสารเคมีสังเคราะห์ การหาแนวทางนำสมุนไพรมีฤทธิ์ต่อต้านแมลงศัตรูมาใช้แทนสารเคมี จึงเป็นแนวทางที่ผู้วิจัยสนใจในการทดลองเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ เพื่อให้วัสดุไม้สักสามารถป้องกันแมลงศัตรูได้ จากนั้นนำวัสดุไม้สักดังกล่าว ไปใช้ในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการเพิ่มสมบัติไม้สักนี้ ชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไม้สักจะต้องสามารถผลิตได้ในชุมชน เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคสามารถใช้ผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อยที่ปราศจากสารเคมี

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อทดลองเพิ่มสมบัติของไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ

2.2 เพื่อนำผลการทดลองประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย ตามวัตถุประสงค์ ข้อที่ 1

3.1 การศึกษาทดลองเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ มีวิธีการ ดังนี้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสมุนไพรป้องกันแมลงศัตรู ไม้สักอายุน้อย ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค รวมถึงศึกษาข้อมูลจากเอกสาร และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.2 การกำหนดวิธีทดลอง

1) กระบวนการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ

ผู้วิจัยทำการศึกษาจากเอกสาร หลักฐาน ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาออกแบบกระบวนการทดลองการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อย ซึ่งผลการออกแบบกระบวนการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ มีดังนี้

(1.1) สมุนไพรที่ใช้ศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดสมุนไพรที่ออกฤทธิ์กับแมลงศัตรูของไม้สัก โดยสมุนไพรที่ศึกษาจากเอกสารของ HDAR – The Organic organization (2001 : 10) และข้อมูลจากการศึกษาจากภูมิปัญญาชาวบ้าน ซึ่งสมุนไพรที่ศึกษา คือ ประกอบไปด้วยสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ กระเทียม ตะไคร้ สะเดาและขี้เหล็ก

(1.2) การสกัดสารสกัดสมุนไพรด้วยน้ำเปล่า ผู้วิจัยตวงสมุนไพร 1 ชนิด โดยใช้ถ้วยตวง ขนาด 250 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 250 มิลลิลิตร หรืออัตราส่วน 1:1 เพื่อให้ได้สารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด ปั่นด้วยเครื่องปั่น ใช้เวลาในการปั่น 1 นาที และกรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อให้ได้สารสกัดสมุนไพรชนิดนี้

(1.3) ผสมจับคู่สารสกัดสมุนไพร โดยใช้กระบวนการทดลองเชิงทฤษฎีเส้นตรง (Line Blend) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสกัดสมุนไพร ดังนี้ (1) กระเทียมและตะไคร้ (2) กระเทียมและสะเดา (3) กระเทียมและขี้เหล็ก (4) ตะไคร้และสะเดา (5) ตะไคร้และขี้เหล็ก (6) สะเดาและขี้เหล็ก

(1.4) นำตัวอย่างทดลอง คือ ไม้สักอายุน้อย ที่แปรรูปเป็นลูกบาศก์ ขนาด 1x1 นิ้ว ไปแช่ลงในสารสกัดที่เกิดจากกระบวนการทดลองเชิงทฤษฎีเส้นตรง จำนวน 24 สูตร โดยกำหนดเวลาในการศึกษาการซึมสารสกัดของสมุนไพรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 168 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งในอุณหภูมิห้องปกติ

(1.5) ทดสอบการเข้าทำลายตัวอย่างทดลองของแมลงศัตรู โดยนำตัวอย่างทดลอง ใส่ลงในรังปลวก กำหนดเวลาทดสอบ 1 เดือน

(1.6) บันทึกผลการทดลอง และเลือกสารสกัด 3 ชนิดเพื่อทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์

2) การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ (Primary Screen)

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ (Primary Screen) จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ African Green Monkey Kidney Fibroblast (Vero) และ Human Keratinocyte Immortal Cells (HaCat) โดยแทนค่าสารสกัดสมุนไพร ดังนี้ สารสกัดสมุนไพร A คือ สารสกัดขี้เหล็ก และกระเทียม สารสกัดสมุนไพร B คือ สารสกัดสมุนไพร B และสารสกัดสมุนไพร C คือ สารสกัดขี้เหล็กและสะเดา โดยกำหนดความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับร้อยละ 100 เมื่อแทนค่าสารสกัด

สมุนไพรต่าง ๆ แล้ว ผู้วิจัยทำการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ (Primary Screen) โดยมีขั้นตอนดังนี้

(2.1) ปลุกเซลล์ไลน์ จำนวน 1×10^5 cells/ml. ลงใน 96-well plate ปริมาตร 100 μm /well บ่มในตู้บ่ม อุณหภูมิ 37°C , 5% CO_2 นาน 24 ชั่วโมง

(2.2) หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ดูอาหารออกจากแต่ละหลุม จากนั้นเติมสารตัวอย่าง ความเข้มข้น 50% ปริมาตร 100 μm /well แล้วนำไปบ่มในตู้บ่ม อุณหภูมิ 37°C , 5% CO_2 นาน 20 ชั่วโมง

(2.3) เมื่อบ่มเซลล์ในสารหมักครบเวลาที่กำหนด เติม MTT ความเข้มข้น 5 mg./ml., 10 μm /well นำไปบ่มในตู้บ่ม อุณหภูมิ 37°C , 5% CO_2 นาน 4 ชั่วโมง

(2.4) เมื่อบ่มเซลล์ใน MTT ครบ 4 ชั่วโมง ดูสารละลาย MTT ทั้ง และเติมสารละลายผลึก Formazan ในที่นี้ใช้ 100% DMSO:10% SDS อัตราส่วน 9:1 ปริมาตร 100 μm /well

(2.5) นำไปวัดค่า OD ที่ wavelength 570 nm. ตั้งโปรแกรมเขย่า 5 นาที ก่อนวัดค่า

(2.6) คำนวณค่า % Cytotoxicity ของสารแต่ละชนิด

3.3 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างตามวัตถุประสงค์ ข้อที่ 1

ประชากร คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี จำนวน 2 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

ประชากร คือ (1) ผู้บริโภคที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ไม้สักที่ปลอดภัยจากสารเคมี

(2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ

กลุ่มตัวอย่าง คือ (1) ผู้บริโภคที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ไม้สักที่ปลอดภัยจากสารเคมี จำนวน 103 คน จากตารางการกำหนดกลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูปของ Taro Yamane (1973) ซึ่งมีจำนวนประชากรไม่สิ้นสุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 10 (2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ จำนวน 3 ท่าน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตามวัตถุประสงค์ ข้อที่ 1

1) แบบบันทึกผลการทดลองกระบวนการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุสั้นด้วยนวัตกรรมชีวภาพด้วยวิธีการเชิงประจักษ์

2) แบบบันทึกผลการทดลองการทดสอบค่าความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ของสารสกัดสมุนไพร เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตามวัตถุประสงค์ ข้อที่ 2

3) แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้บริโภคด้านความต้องการผลิตภัณฑ์ไม้สักอายุสั้นด้วยนวัตกรรมชีวภาพ เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์

4) แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อความเหมาะสมของรูปแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุสั้นด้วยนวัตกรรมชีวภาพ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ตามวัตถุประสงค์ ข้อที่ 1

1) ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองเชิงประจักษ์ จากการสังเกตนำไปวิเคราะห์เชิงพรรณนา

2) ผู้วิจัยวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์จากผลการทดลองความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์จากห้องปฏิบัติการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ข้อที่ 2

3) ผู้วิจัยวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อความต้องการผลิตภัณฑ์ไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยค่าเฉลี่ยร้อยละ และการบรรยายในรูปแบบเชิงพรรณนา

4) ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลด้านความเหมาะสมของรูปแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean : $\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) และการบรรยายในรูปแบบการวิเคราะห์เชิงพรรณนา

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

4.1 ผลการศึกษาเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ

ผู้วิจัยได้ทำการสกัดสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด คือ กระเทียม ตะไคร้ สะเดา และขี้เหล็ก โดยกำหนดการจับคู่ส่วนผสมตามทฤษฎีเส้นตรง (Line Blend) เพื่อหาส่วนผสมของสูตรสารสกัดที่เหมาะสมต่อการทดลอง ผู้วิจัยสามารถสรุปสูตรสารสกัดได้ 24 สูตร จากนั้น ผู้วิจัยนำตัวอย่างทดลอง ไปแช่ในสารสกัดสมุนไพร เป็นเวลา 7 วัน และนำตัวอย่างทดลองไปใส่ในจอมปลวก และสังเกตการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 1 เดือน



ภาพที่ 1 ลักษณะสมุนไพรที่เกิดจากการสกัดด้วยน้ำ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผสมสารสกัด 2 ชนิดเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 3 นำตัวอย่างทดลองแช่ลงในสูตรสารสกัดสมุนไพร 7 วัน



ภาพที่ 4 นำตัวอย่างทดลองที่ผ่านการแช่สารสกัดสมุนไพร ไปใส่ลงในจอมปลวกเป็นเวลา 1 เดือน

4.2 ผลการทดลองการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ

หลังจากที่ผู้วิจัยนำตัวอย่างทดลองไปใส่ลงในจอมปลวกเป็นเวลา 1 เดือน ผู้วิจัยนำตัวอย่างทดลองมาสังเกตการเปลี่ยนแปลง ซึ่งนำเสนอ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการทดลอง

สูตรสารสกัดสมุนไพร	สูตรที่	ผลการทดลอง
กระเทียมและตะไคร้	1	เนื้อไม้ถูกทำลาย
	2	ถูกทำลายบางส่วน มีเชื้อราบนพื้นผิว
	3	ถูกทำลายบางส่วน มีเชื้อราบนพื้นผิว
	4	ไม่ถูกทำลายมีเชื้อราบนพื้นผิว
กระเทียมและสะเดา	5	ถูกทำลายบางส่วนมีเชื้อราบนพื้นผิว
	6	ถูกทำลายบางส่วนมีเชื้อราบนพื้นผิว
	7	ถูกทำลายบางส่วนมีเชื้อราบนพื้นผิว
	8	ถูกทำลายบางส่วน
กระเทียมและขี้เหล็ก	9	ถูกทำลายบางส่วนมีเชื้อราบนพื้นผิว
	10	มีเชื้อราบนพื้นผิวไม่มีการย่อยสลาย
	11	ไม่ถูกทำลายมีเชื้อราบนพื้นผิว
	12	ไม่ถูกทำลายมีเชื้อราบนพื้นผิว
ตะไคร้และสะเดา	13	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
	14	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
	15	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
	16	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
ตะไคร้และขี้เหล็ก	17	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
	18	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
	19	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
	20	มีเชื้อราบนพื้นผิวมาก
สะเดาและขี้เหล็ก	21	ไม่ถูกทำลายมีเชื้อราบนพื้นผิว
	22	ไม่ถูกทำลาย
	23	ไม่ถูกทำลาย
	24	ไม่ถูกทำลายมีเชื้อราบนพื้นผิว

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการทดสอบการทำลายเนื้อไม้ของแมลงศัตรูจากตัวอย่างทดสอบ พบว่าตัวอย่างที่ถูกทำลายน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างที่ 22 และ 23



ภาพที่ 5 ตัวอย่างทดลองที่ 22 - 23 ที่ถูกแมลงศัตรูทำลายน้อยที่สุด

ดังนั้น ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า สารสกัดที่มีส่วนผสมของขี้เหล็ก มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเข้าทำลายของปลวกได้มากที่สุด จากนั้น ผู้วิจัยจึงนำสารสกัดที่มีส่วนผสมของสมุนไพรขี้เหล็กกับสมุนไพรชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ได้แก่ กะเทียม ตะไคร้ และสะเดา เป็นตัวอย่างทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ โดยกำหนดอัตราส่วน คือ ส่วนผสมของสารสกัดสมุนไพรขี้เหล็กในอัตราส่วนที่มากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น

ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ (Primary Screen)

ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ (%Cytotoxicity) ทั้ง 2 ชนิด เพื่อหาสารสกัดที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุยืนด้วยนวัตกรรมชีวภาพเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้วัสดุมีความเป็นพิษน้อยที่สุด ซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการทดสอบความเป็นพิษของสารต่อเซลล์ไลน์ HaCat และ Vero

สาร No.	รายละเอียดของสาร	%Cytotoxicity	
		HaCat	Vero
1.	สารสกัดสมุนไพร A	75.192	62.918
2.	สารสกัดสมุนไพร B	71.581	49.498
3.	สารสกัดสมุนไพร C	53.561	33.318

จากตารางที่ 8 พบว่า สารสกัดสมุนไพร C มีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ชนิด HaCat และชนิด Vero น้อยที่สุด คือร้อยละ 53.561 และ 33.318 ตามลำดับ ดังนั้น ผู้วิจัย สามารถสรุปได้ว่า สารสกัดที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุยืนด้วยนวัตกรรมชีวภาพเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ คือ สารสกัดขี้เหล็กและสะเดา

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อนำผลการทดลองประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุยืน

4.3 ผลการสังเคราะห์ผลการทดลอง ประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุยืน

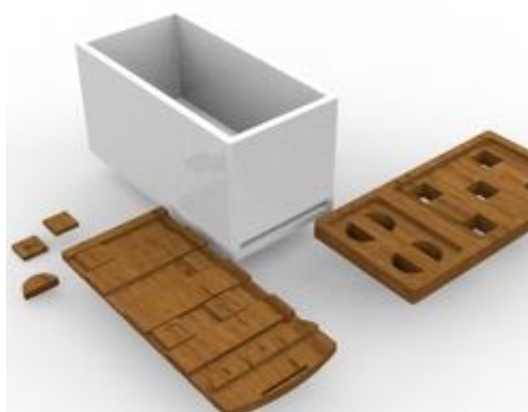
ผู้วิจัยทำการสรุปผลการทดลอง และนำผลการทดลอง คือ การนำสูตรสารสกัดจากสารสกัดขี้เหล็กและสะเดา นำไปใช้เพิ่มสมบัติให้วัสดุเพื่อใช้ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยการสำรวจความต้องการผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุยืนของผู้บริโภคจำนวน 103 คน โดยใช้แบบสอบถามแบบมีโครงสร้าง (Structure Interview) ซึ่งผู้บริโภครายนี้สามารถตอบได้หลายคำตอบ ซึ่งมีผลการสำรวจดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการสำรวจความต้องการผลิตภัณฑ์ไม้สักอายุน้อยของผู้บริโภค

ลักษณะผลิตภัณฑ์	จำนวนผู้ตอบ (n=103)	ร้อยละ
1. เฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เตียง ตู้เสื้อผ้า	96	93.20
2. เฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก เช่น โต๊ะพับญี่ปุ่น ชั้นวางของเล่น	57	55.33
3. ของตกแต่งบ้าน เช่น นกคุ้ม โคมไฟ ตุ๊กตาแกะสลัก กรอบรูป นาฬิกา	36	34.95
4. ผลิตภัณฑ์ประเภทความเชื่อ เช่น พระพุทธรูปแกะสลัก พระพิฆเนศวรแกะสลัก หิ้งพระ	19	18.45
5. ผลิตภัณฑ์เบ็ดเตล็ด เช่น อุปกรณ์เครื่องครัว ของเล่นเสริมทักษะ ของที่ระลึก	67	65.05

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อย อันดับที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทเฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เตียง ตู้เสื้อผ้า เป็นต้น มีผู้สนใจ 96 คน คิดเป็นร้อยละ 93.20 อันดับที่ 2 คือ ผลิตภัณฑ์เบ็ดเตล็ด เช่น อุปกรณ์เครื่องครัว ของเล่น ของที่ระลึก เป็นต้น มีผู้สนใจ 67 คน คิดเป็นร้อยละ 65.05 อันดับที่ 3 คือ ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก เช่น ชั้นวางรองเท้า หิ้งพระ โต๊ะพับญี่ปุ่น ชั้นวางของเล่น มีผู้สนใจ 57 คน คิดเป็นร้อยละ 55.33 อันดับที่ 4 คือ ของตกแต่งบ้าน เช่น นกคุ้ม โคมไฟ ตุ๊กตาแกะสลัก กรอบรูป นาฬิกา มีผู้สนใจ 36 คน คิดเป็นร้อยละ 34.95 และอันดับที่ 5 ผลิตภัณฑ์ประเภทความเชื่อ เช่น พระพุทธรูปแกะสลัก พระพิฆเนศวรแกะสลัก มีผู้สนใจ 19 คน คิดเป็นร้อยละ 18.45

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์ จากผลความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีความสนใจใช้ผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรม โดยเลือกจากประเภทผลิตภัณฑ์ 4 ประเภท ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ คือ 1. ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก คือ ชั้นวางของเล่น 2. ผลิตภัณฑ์ของตกแต่งบ้าน คือ ผลิตภัณฑ์แกะสลัก 3. ผลิตภัณฑ์ประเภทความเชื่อ คือ หิ้งพระ และ 4. ผลิตภัณฑ์เบ็ดเตล็ด คือ ของเล่นเสริมทักษะสำหรับเด็ก



ภาพที่ 6 ต้นแบบของเล่นเสริมทักษะสำหรับเด็ก



ภาพที่ 7 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ชั้นวางของเล่น



ภาพที่ 8 ต้นแบบผลิตภัณฑ์แกะสลัก



ภาพที่ 9 ต้นแบบผลิตภัณฑ์หิ้งพระ

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์จากไม้สัก จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์แล้ว ผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของรูปแบบผลิตภัณฑ์ ต่อการนำไม้สักอายุน้อยมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการประเมินมีดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงความเหมาะสมของรูปแบบผลิตภัณฑ์ต่อการนำไม้สักอายุน้อยมาใช้ประโยชน์

รายการประเมิน	ของเล่นเสริมทักษะสำหรับเด็ก		ผลิตภัณฑ์แกะสลัก		หิ้งพระ		ชั้นวางของเล่น	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
1.ด้านโครงสร้างผลิตภัณฑ์	4.50	0.19	4.00	0.27	4.50	0.33	4.17	0.33
2. ด้านความสวยงาม	4.66	0.00	4.50	0.19	4.58	0.17	4.41	0.17
3. ด้านการใช้สอย	4.58	0.17	4.58	0.17	4.50	0.19	4.25	0.16
4. ด้านการผลิต	4.33	0.00	4.44	0.19	4.33	0.00	4.55	0.19
รวม	4.52	0.17	4.37	0.30	4.48	0.21	4.33	0.25
ระดับความเหมาะสม	มากที่สุด		มาก		มาก		มาก	

จากตารางที่ 4 ผู้วิจัยพบว่า อันดับที่ 1 คือ ของเล่นไม้ มีระดับความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{X} = 4.52$, S.D. = 0.17) อันดับที่ 2 คือ หิ้งพระ มีระดับความเหมาะสมมาก ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.21) อันดับที่ 4 คือ ผลิตภัณฑ์แกะสลัก มีระดับความเหมาะสมมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.30) และอันดับที่ 5 ชั้นวางของเล่น มีระดับความเหมาะสมมาก ($\bar{X} = 4.33$, S.D. = 0.25)

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ ผู้วิจัยออกแบบกระบวนการทดลองการสกัดสารสกัดสมุนไพรด้วยน้ำจากสมุนไพรจำนวน 4 ชนิด เพื่อให้เกิดเป็นสารสกัดชนิดของเหลว จำนวน 24 สูตร ซึ่งเกิดจากการจับคู่โดยใช้ทฤษฎีเส้นตรง (Line Blend) (Kosiyapan, S., 1991 อ้างถึงใน Netrathip, W., 2017 : 87) จากนั้นนำตัวอย่างทดลองขนาด 1x1 นิ้ว ไปแช่สารสกัดทั้ง 24 สูตร และนำไปทดสอบการเข้าทำลายของแมลง พบว่า ตัวอย่างทดลองไม้สักที่ 22 เป็นตัวอย่างทดลองที่ไม่ถูกแมลงศัตรูทำลาย ซึ่งเกิดจากสูตรสารสกัดสมุนไพรสะเดาและขี้เหล็ก จากนั้น ผู้วิจัยจึงนำสารสกัดไปทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์ (Primary Screen) 2 ชนิด ผลการทดสอบ ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า สารสกัดขี้เหล็กและสะเดามีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ไลน์น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดขี้เหล็กและกระเทียม และสารสกัดขี้เหล็กและตะไคร้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่า สารสกัดขี้เหล็ก และสะเดาเป็นสูตรสารสกัดสมุนไพรที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาเพิ่มสมบัติไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ

5.2 อภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ที่ 2 ผู้วิจัยทำการสำรวจความต้องการผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคที่มีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากไม้สักอายุน้อยด้วยนวัตกรรมชีวภาพ จำนวน 103 คน ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ 5 ประเภท ได้แก่ 1. ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่ 2. ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก 3. ของตกแต่งบ้าน 4. ผลิตภัณฑ์ประเภทความเชื่อ และ 5. ผลิตภัณฑ์เบ็ดเตล็ด จากนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ 4 ผลิตภัณฑ์ และประเมินความเหมาะสมของรูปแบบผลิตภัณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ผลการประเมิน ผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด 1 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เบ็ดเตล็ด คือ ของเล่นเสริมทักษะสำหรับเด็ก และผลิตภัณฑ์ 3 ประเภท ที่มีความเหมาะสมของรูปแบบผลิตภัณฑ์ อยู่ในระดับมาก ได้แก่ ชั้นวางของเล่น ผลิตภัณฑ์แกะสลัก และหิ้งพระ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรศึกษาสมุนไพรชนิดอื่นที่มีฤทธิ์ในการป้องกันแมลง เช่น พริก สาบเสือ เป็นต้น รวมถึงส่วนอื่น ๆ ของสมุนไพรชนิดนั้น ๆ เช่น เมล็ดสะเดา เนื่องจากสมุนไพรบางชนิด มีส่วนของพืชในส่วนอื่นที่สามารถป้องกันแมลงได้มากกว่าส่วนใบ รวมถึงวัตถุดิบจากธรรมชาติชนิดอื่น เช่น เปลือก ซึ่งมีส่วนช่วยในการป้องกันแมลงได้มากขึ้น

6.2 ควรเพิ่มการจับคู่ด้วยทฤษฎีเส้นตรง (Line Blend) ของสูตรสารสกัดสมุนไพร ให้มากกว่า 2 สมุนไพร เพราะสมุนไพรแต่ละชนิดสามารถป้องกันแมลงได้แตกต่างกัน

6.3 ควรศึกษาสมุนไพรที่ออกฤทธิ์ในการป้องกันแมลงศัตรูของไม้สักชนิดอื่น เช่น มอด หนอนเจาะไม้สัก เป็นต้น

6.4 ไม้สักอายุน้อย 7 - 14 ปี มีส่วนของกระพี้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ไม่ควรออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องรับแรงกด เช่น เฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่ ได้แก่ เติง โต๊ะรับประทานอาหาร ตู้เสื้อผ้า ตู้วางโทรทัศน์ เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- HDRA-The Organic Organisation. (2001). **Termites Control Without Chemical**. Ryton Organic Garden. Coventry. United Kingdom.
- Matan, N., et al. (2009). Durability of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) treated with peppermint oil, eucalyptus oil, and their main components. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 63, 621-625.
- Netrathip, W. (2017). The Study of the Ratio of Ban Huai Weir Soils with the Suitable Cultured Soils for Pottery Products. **Journal of Industry Technology Lampang Rajabhat University**, 10(2), 85-94. (in Thai)
- Poosoodsawang, A. (2010). **Teak Planting and Management Economic for farmers and the private sector**. Bangkok: AKSORN SIAM LTD., (in Thai)
- Royal Forest Department. (2011). **Teak**. Bangkok: Forest Research and Development Office, Royal Forest Department. (in Thai)
- _____. (2013). **Knowledge about Thailand's Teak**. Bangkok: Forest Research and Development Office, Royal Forest Department. (in Thai)
- Taro Yamane. (1973). **Statistics: An Introductory Analysis**. 3rd Ed. New York. Harper and Row Publications.

A new locomotion concept using shell transformation for a Reconfigurable Spherical Robot

แนวคิดการเคลื่อนที่แบบใหม่โดยใช้การแปลงร่างสำหรับหุ่นยนต์ทรงกลม

Natthaphon Bun-Athuek^{1*} and Pudit Laksanacharoen²

^{1*}College of Industrial Technology, King Mongkut University of Technology North Bangkok

1518, Wongsawang, Bangsue, Bangkok, Thailand 10800 Tel. +66 2 555 2000 ext. 6439

E-mail: natthaphonb@kmutnb.ac.th

²Faculty of Engineering, King Mongkut University of Technology North Bangkok

1518, Wongsawang, Bangsue, Bangkok, Thailand 10800

วันที่รับบทความ 22 มิถุนายน 2563

Received: Jun. 22, 2020

วันที่รับแก้ไขบทความ 24 ธันวาคม 2563

Revised: Dec. 24, 2020

วันที่ตอบรับบทความ 28 ธันวาคม 2563

Accepted: Dec. 28, 2020

Abstract

This paper presents a new locomotion concept for a reconfigurable Spherical Robot. The robot is a spherical shape that can be transformed into two hemispherical shapes with three omnidirectional wheels. Each side of hemispherical shapes can split into three shell segments where each segment is connected to a leg with three degrees of freedom. At the tip of each leg kept inside this shell is equipped with an omnidirectional wheel. The robot can perform two locomotions: (1) rolling using shell transformation and (2) moving with three omnidirectional wheels. The test results show that this robot can go forward with rolling using shell transformation and moving with three omnidirectional wheels successfully.

Keywords: Shell transformation, Reconfigurable Spherical Robot

1. Introduction

In recent years, robotic technology has become prevalent in many types of industry such as food industry, military operation, hotel services, rescue operation especially in dangerous environments (Nozaki, H., et al., 2018). The design of each robot task has become the primary concern to fulfill each mission. The reconfigurable spherical robot is designed to keep all parts such as surveillance camera, communication equipment, and robot legs inside the spherical shell to protect them from damage during transportation of hazardous environments (Nakashima, A., et al., 2018).

In recent works of our research (Jearanaisilawong, P., et al., 2009), (Manoonpong, P. and Laksanacharoen, P., 2014), (Bunathuek, N. and Laksanacharoen, P., 2017), (Bunathuek, N., et al., 2014) we have demonstrated concept and design of reconfigurable spherical robot that can move using omnidirectional wheels equipped at the end of each

leg or legged movement. However, our previous robots show that rolling of spherical shape requires external forces or force of gravity which causes the uncontrollability. This work proposed a new type of locomotion called shell transformation. This locomotion use the outer shell of the hemisphere to push against the floor for movement. The outer shell of the spherical shape can split into three shell segments to hit the floor alternately for movement. The shell transformation can be controlled by flexion and extension from each shell segment. It can also help the robot to navigate while in spherical shape. It is also safe for internal parts while rolling. This type of locomotion will enable the movement of the robot to move across rough surface and can possibly move across narrow path. With the additional mobility of the robot, this will make the robot be able to do much more maneuvering in different types of environment.

2. Research purpose

2.1 The purpose of this research is to design and construct the reconfigurable spherical robot with two types of locomotion: (1) rolling using shell transformation and (2) moving with omnidirectional wheels.

2.2 The study includes the robot control for the two types of locomotion.

3. Method

3.1 Conceptual Design

Our previous spherical robot has two inter-connected hemispherical shapes which require more space during its transformation. In addition, the direction of movement cannot be controlled by any internal equipment. Our previous robots have inspired us to design a new version of a reconfigurable spherical robot which can be controllable while in spherical shape. Locomotion design of the robot was inspired from Whegs (Tantichattanont, P., et al., 2007), (Quinn, R.D., et al., 2001) which are a type of robot that has the combination of wheels and legs. Figure 1 shows the shell transformation movements as spoke wheel mechanism with three appendages. The tip of the appendages create discontinuous contact point. This work utilize the spherical shell as the surface contact to create more stability. These appendages are shell segments arranged evenly with an angle of 120 degrees apart.

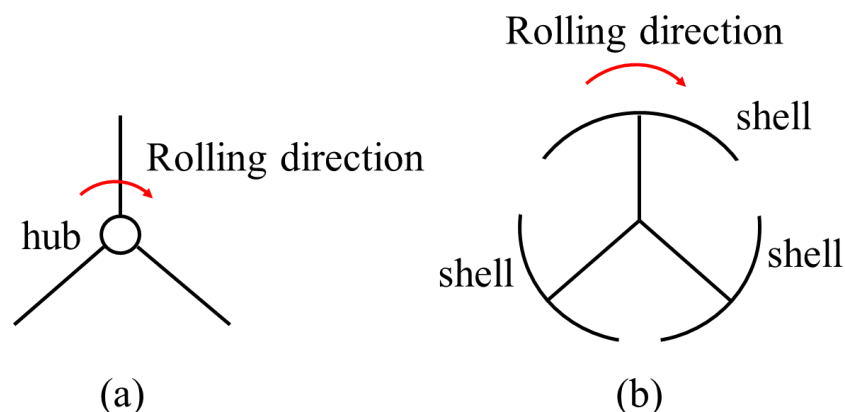


Figure 1 Schematic diagram for (a) whegsTM with three appendages (b) the reconfigurable spherical robot with three flexion outer shells.

We use the concept of shell transformation by splitting each side of hemispherical shape into three shell segments. Each shell segment can be flexed and extended independently. There are a total of six shell segments. There is an omnidirectional wheel installed on the inside structure of the shell segment to create wheel movement. The robot can perform two types of locomotion: rolling by shell transformation and wheel movement by the omnidirectional wheels. Those two types of locomotion require changing the center of gravity of the robot to create the internal forces so that the robot can move in the desired direction. While the outer shell of spherical shape can still protect internal parts of the robot. This work is focused on the robot's locomotion on flat ground and will extend to grass and rough terrain. The flexion and extension of the leg creates shell movement in rolling robot as shown in Figure 2. The spherical shape of the robot has a diameter of 365 mm (the spherical shape is formed by fiberglass).

The spherical shape can be transformed into two inter-connected hemispherical shapes; white and red. Each side of the hemisphere consists of three legs attached with outer shell segments (the omnidirectional wheels with a diameter of 50 mm are installed at the end of spherical structure for wheel movement) and the other end of each leg is connected to a microcontroller as shown in Figure 3. The microcontroller board is installed in the center of the robot so that it can be kept inside the spherical shell. The robot weighs about 5 kg.

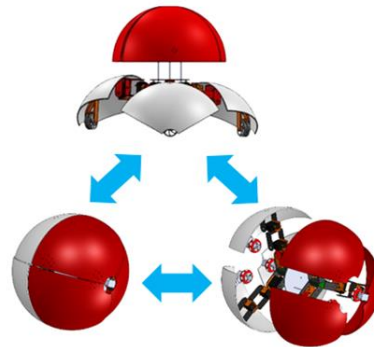


Figure 2 Conceptual design of the new locomotion concept.

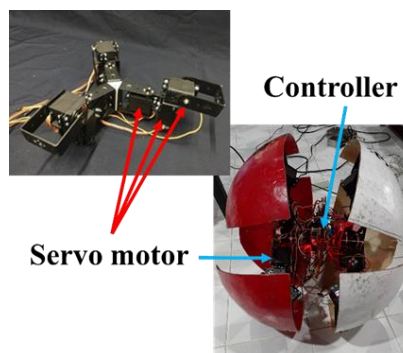


Figure 3 Three legs segment on each hemispherical shell.

3.2 Actuator selection

In order for the robot to change its center of gravity as planned, we need to select the proper types of actuator in which it can be defined as the following

1) Magnitude of forces on each leg

When the robot is in spherical shape and ready for rolling. There are four contact points which can calculate the amount of force for each leg as

$$4R = mg \quad (1)$$

Where: R is reaction force in N , m is mass in kg , g = gravity in m/s^2 Therefore, $4R = 5 \times 9.81$, The forces on each leg $R = 12.2625 N$

2) Size of servomotors

To select the size of servomotors we have to calculate the amount of torque on each joint and distance from the exerted force to servomotor. With the assumption of the exerted force to the distance has the length of $70 mm$. The amount of torque can be calculated as

$$T = F \times r \quad (2)$$

Where: T is Torque in N-m, F is Normal exerted Force on distance of servomotor in N, r is distance of servomotors to the force

$$\text{Therefore, } T = 12.2625 \times 0.070$$

$$\text{The forces on each leg } T = 0.8583 \text{ N-m}$$

With a safety factor of 1.5, we will use the servo motor with the minimum torque as $1.5 \times 0.85 = 1.275 \text{ Nm}$. We then choose the servomotor off the shelf with the torque of 1.4715 N-m (15 kg-cm).

3.3 Robot Controller Design

To achieve high productivity, the robot has been equipped with multiple actuators and controllers as shown in Figure 4. The controller receives a start command from human to computer via USB cable to controller signal generator. Then, the Arduino Uno generates control signal with motor driver L298N dual motor Controller Module and 16 channel PWM servo drive module (12-bit PWM with I2C interface) PCA9685 sends control signal to DC gear motor (2.4-3.0 V), hyper-dash 3 motors to drive the omnidirectional wheels. The 18 servo motors MG996r 7.2 V with maximum torque of 11 kgf-cm speed 0.13 s/60 degrees drive the robot leg. There are two sensors to sense its location and orientation installed on this robot: GPS module GY-NEO6MV2 and gyroscope module GY 521 MPU6050.

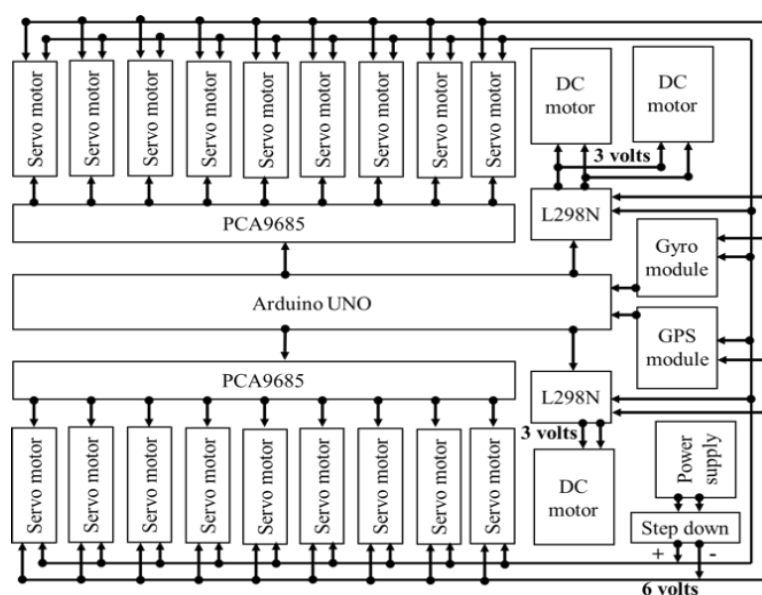


Figure 4 Schematic Diagram of the reconfigurable spherical robot.

3.4 Locomotion concept

1) Rolling using shell transformation

(1.1) Rolling forward

The shell transformation of the robot is to change its center of gravity. The weight of the robot will drive its body into defined direction as shown in Figure 5. The shell transformation can be described when forward direction moving as the following; 1) the robot legs are expand fully into spherical shape, 2) one shell No. 2 is tugged in so that the CG has changed and the weight of the robot drive the spherical in clockwise direction in step 3 and 4, once the shell No. 2 has moved into the rear the leg are expanded again to bring back the spherical shape and then start over again. Figure 6 shows kinematics analysis of the shell transformation movement of the robot.

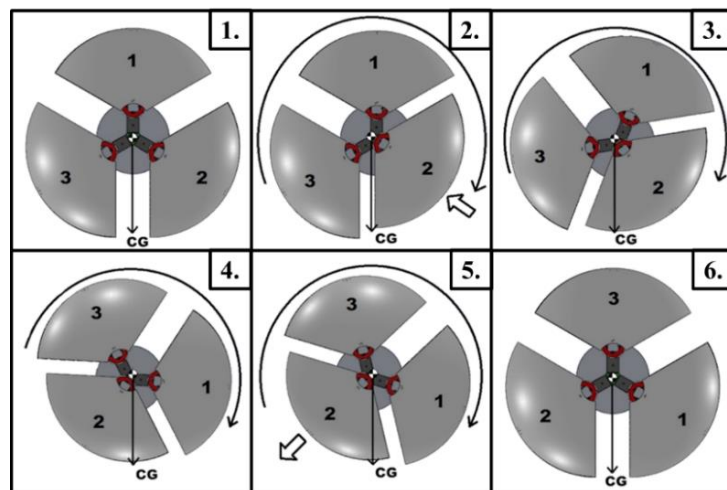


Figure 5. Shell transformation of the robot.

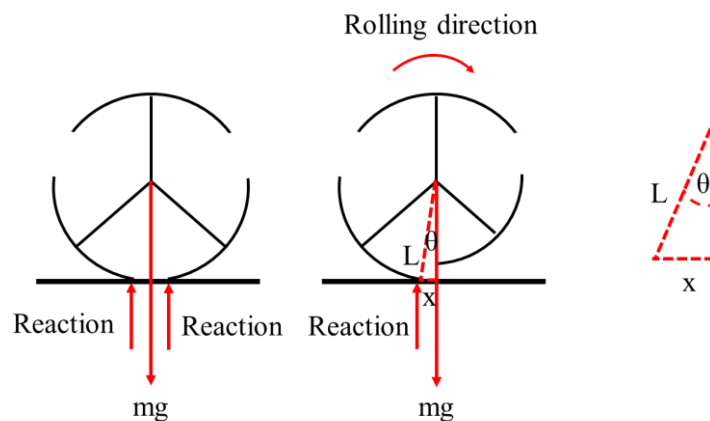


Figure 6. Robot's rolling motion illustrated.

$$\sum \tau = I\alpha \quad (3)$$

$$mg(L \sin \theta) = I\ddot{\theta} \quad (4)$$

When $\theta \approx 0$, $\sin \theta \approx \theta$

$$I\ddot{\theta} - mgL\theta = 0 \quad (5)$$

$$\ddot{\theta} + K\theta = 0, K = -\frac{mgL}{I} \quad (6)$$

Where; m is mass of the robot, g is gravity, L is radius of the robot while extending, I is mass moment of inertia, θ is angle between support and center of gravity.

(1.2) Steering Motion

Steering motion uses the same concept as the rolling forward but adjusting its shell extension segment to support its weight to control its center of mass to move to a desired direction.

2) Moving with three Omnidirectional Wheels

One side of the hemisphere kept its shape and the other side expanded three shell segments to allow the three omnidirectional wheels to touch the ground. The configuration and vector analysis are shown in Figure 7.

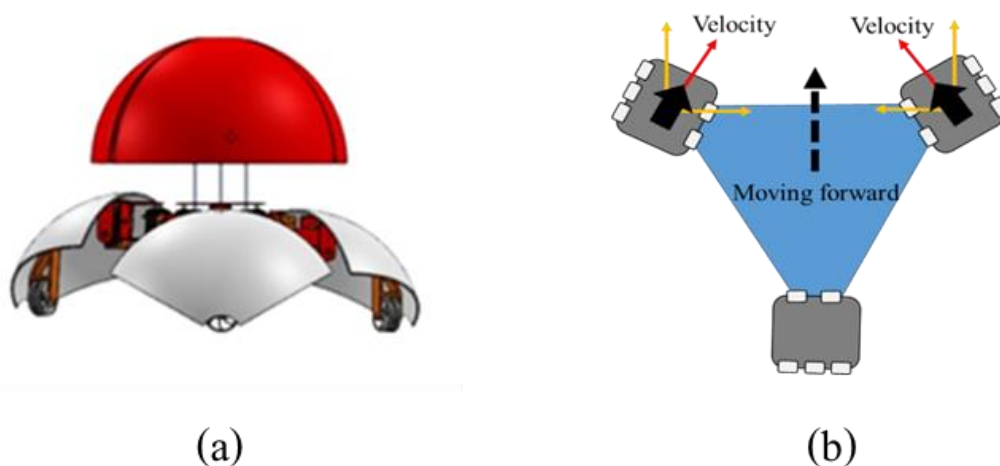


Figure 7 (a) Robot transformation into three omni directional wheels (b) vector algebra to drive the robot in the defined direction.

3.5 Performance Analysis

1) Rolling using shell transformation

(1.1) Rolling forward

A number of experiments have been analyzed in different types of surface such as flat ground, grass, rough terrain. We estimated the velocity for the rolling forward by measuring distance travel within a timeframe. We can then use the velocity equation to calculate the velocity as shown here.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (7)$$

where; v is the average velocity of the robot in m/s, Δs is the travel distance in meter, Δt is time in sec

(1.2) Steering motion

This test was done on flat ground only. We time when the robot starts to transform until it finishes its steering to sharp left or right. The velocity of the robot can be calculated as the angular velocity.

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (8)$$

Where; ω is average angular velocity of the robot in rad/s, $\Delta \theta$ is angular displacement in rad, Δt is time in sec

2) Moving with three Omnidirectional Wheels

Similarly, we estimated the velocity for the Moving forward with three Omnidirectional Wheels by measuring distance travel within a timeframe. We used the same velocity equation to calculate the velocity as shown in section 3.5.1.

4. Results

For all experiments of rolling forward and steering motion, we have tested approximately 5 times respectively as shown in Table 1. The average velocity can be calculated. We then could separate the experiments result into 2 parts as following

Table 1 Speed of reconfigurable spherical robot

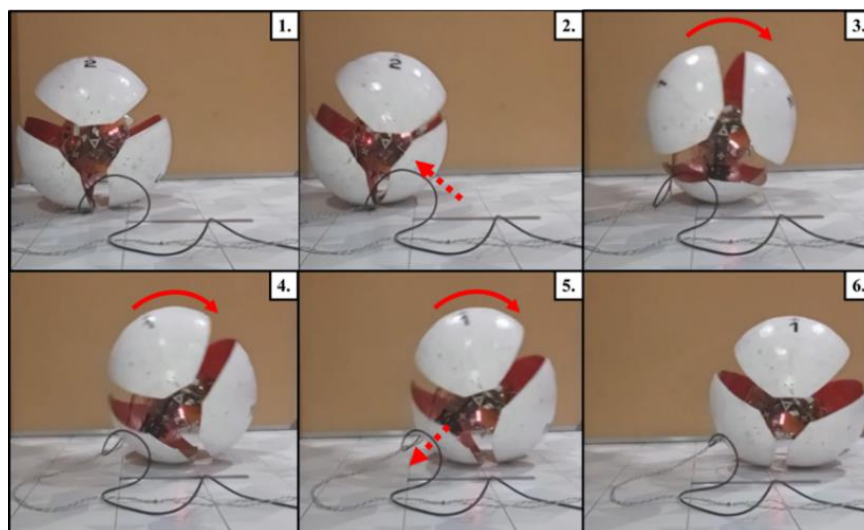
No.	Moving Forward (m/s)				Steering motion (rad/s)
	Rolling			Wheel	Turn left and right
	Flat ground	Glass	rough terrain	Flat ground	Flat ground
1	0.334	0.213	0.293	0.363	0.610
2	0.337	0.276	0.287	0.389	0.675
3	0.356	0.237	0.278	0.397	0.623
4	0.342	0.256	0.276	0.387	0.610
5	0.325	0.257	0.291	0.389	0.631

4.1 Shell transformation results

Figures 8-10 exhibited that the robot is capable of moving with the speed of 0.339, 0.247 and 0.285 m/s on flat ground, grass, rough terrain respectively. Figure 11 shows that the robot is capable to transform until it finished its steering to sharp left or right with the speed of 0.629 rad/s on flat ground.

4.2 Omni directional wheels transformation

Figure 12 shows the robot transformation from spherical shape into omni-wheels configuration. The omni-wheels are attached to the end of each robot leg. The robot can move with the speed of 0.385 m/s. Nevertheless, the robot must be hanged from the pole since its omni-wheels can not fully support its body weight.

**Figure 8** Robot shell transformation on flat ground.

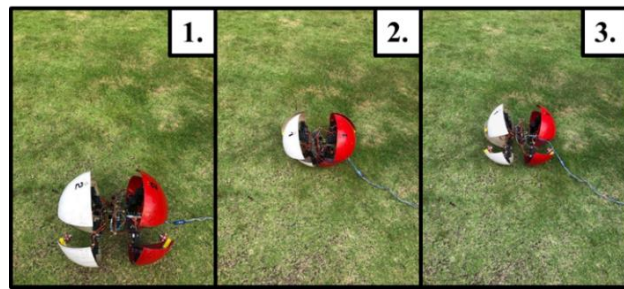


Figure 9 Robot shell transformation on grass.

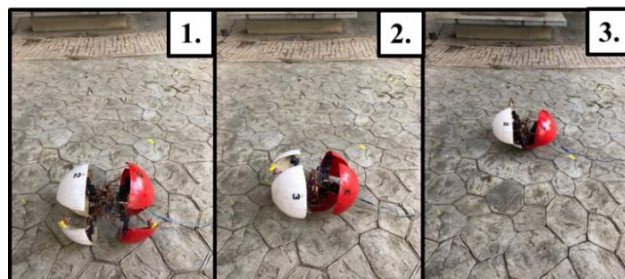


Figure 10 Robot shell transformation on rough terrain.

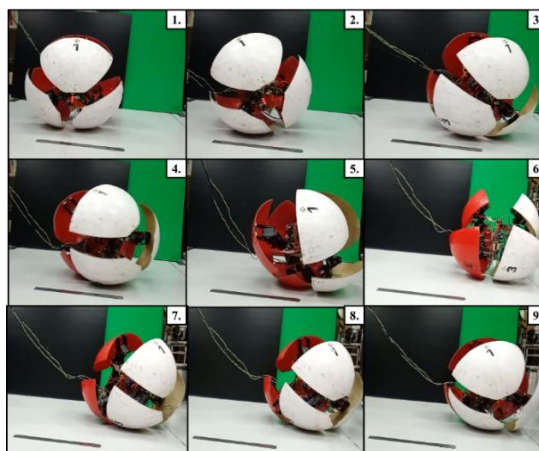


Figure 11 Robot shell transformation to sharp left or right on flat ground.

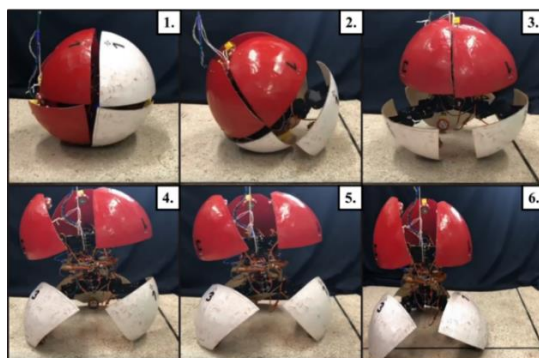


Figure 12 Robot omnidirectional wheels transformation.

5. Discussion and conclusion

We have successfully constructed a new type of spherical robot which can be transformed into two types of motion: rolling and wheel movement. The rolling locomotion used its shell transformation driven by 18 internal servomotors. The robot is capable of rolling forward on different types of surface such as flat ground, grass and rough terrain. For steering motion, the robot also used shell transformation as moving forward but it requires several steps more than forward movement to keep its balance so that the robot will not tip over. This work presents steering motion on flat ground only. We can foresee that the robot can possibly move in a narrow path but not able to move up to slope or staircase. For wheel movement using three omnidirectional wheels can move with the velocity of 0.385 m/s. However, the robot is tethered with cable to help support its body while moving on wheels. However, the new type of spherical robot is able to move forward faster than our previous work with the velocity of 0.068 m/s and 0.05 m/s respectively. The new robot is still tethered with external power sources so the robot is not able to travel independently. For future work, we plan to implement internal power sources and add additional rolling concepts for the robot.

6. Acknowledgements

This research was supported by the Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Tech North Bangkok, THAILAND. In addition, we would like to say thank you to Mr. Pongnarin Poeisiri, Mr. Teeraphat Ketsoi and Mr. Puchong Noisaard for their help to construct a new type of spherical robot.

7. References

- Nozaki, H., et al. (2018) Continuous Shape Changing Locomotion of 32-legged Spherical Robot, **paper presented in the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems**, Madrid, Spain. pp. 2721-2726
- Nakashima, A., Maruo, S., Nagai, R. and Sakamoto, N. (2018). 2-Dimensional Dynamical Modeling and Control of Spherical Robot Driven by Inner Car, **paper presented in the 2018 International Conference on Robotics and Biomimetics**, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 1846-1851
- Manoonpong, P. and Laksanacharoen, P. (2014). Biologically inspired modular neural control for a leg-wheel hybrid robot. **Advances in Robotics Research**, Vol. 1(1), pp. 101–126.

- Bunathuek, N. and Laksanacharoen, P. (2017). Inverse Kinematics Analysis of the Three-Legged Reconfigurable Spherical Robot II, **paper presented in the 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics**, Nagoya, Japan. pp. 31-35
- Bunathuek, N., Saisutjarit, P. and Laksanacharoen, P. (2014). Design of A Reconfigurable Spherical Robot II, **paper presented in The Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems**, Hong Kong, China. pp. 62-66
- Tantichattanont, P., Songschon, S. and Laksanacharoen, S. (2007). Quasi-Static Analysis of a Leg-Wheel Hybrid Vehicle for Enhancing Stair Climbing Ability, **paper presented in the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics**, Sanya, China. pp. 1601-1605
- Quinn, R.D., et al. (2001). Insect designs for improved robot mobility, **paper presented in the 4th International Conference on Climbing and Walking Robots, CLAWAR 2001**, Karlsruhe, Germany. pp. 69-76

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 2 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 2 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 2 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/Itech> 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 XXXXXXXXXXXX

Received: XXXXXXXXXXXX

วันที่รับแก้ไขบทความ XXXXXXXXXXXX

Revised: XXXXXXXXXXXX

วันที่ตอบรับบทความ XXXXXXXXXXXX

Accepted: XXXXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 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 ($8\frac{1}{4} \times 11\frac{1}{4}$ 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 นอกจากคำเหล่านี้จะถูกรูปลักษณ์นำชื่อเรื่อง) 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 ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

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 โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

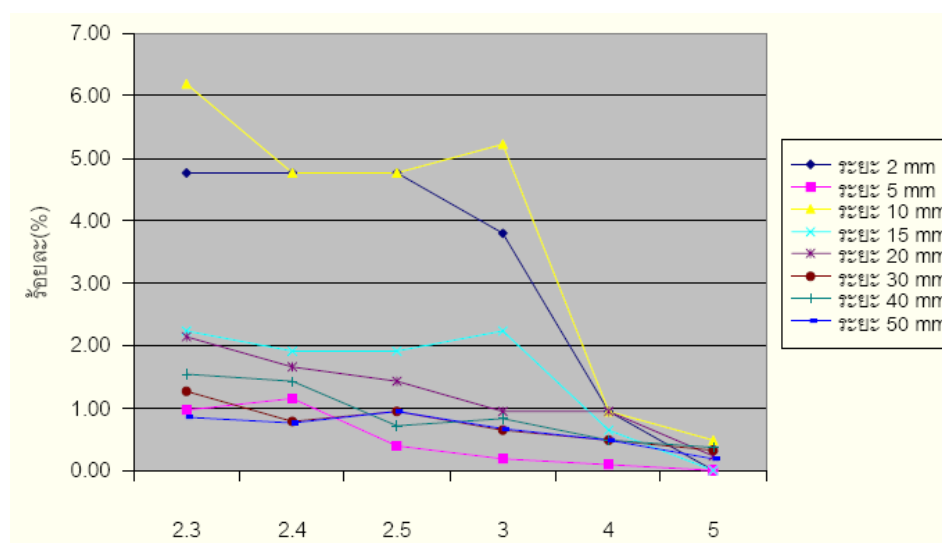
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อาคาร
1)กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1)กระเบื้องดินเผาที่ขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2)ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อาคารอาจจะลื่นเมื่อใช้งาน
	3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่งแสดงถึงความไม่ทนทานแข็งแรง

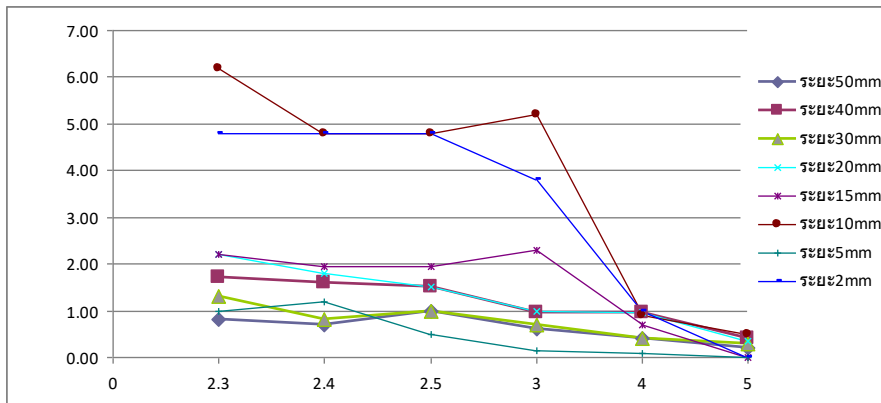
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อาคารอาจจะลื่น เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

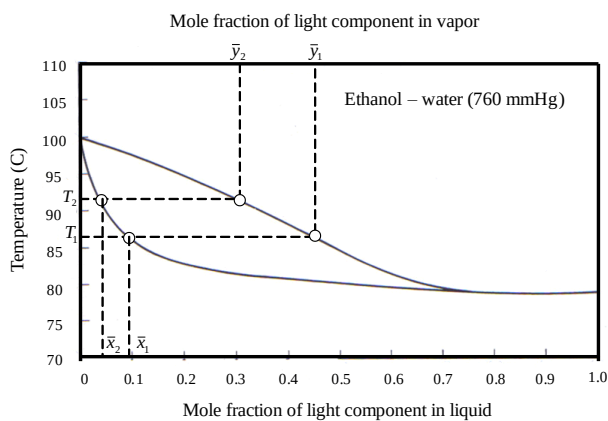


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



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 ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

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

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 และทงเกียรติ 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 เกลิมพลาภาพ. (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 ตีรakanันท์, 2553) (Tirakanan, S., 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ตีรakanันท์. (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. **วารสารนักบริหาร**, 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). สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศเข้าในปี 2555. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.

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

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