

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Industrial Technology
Lampang Rajabhat University Journal

ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564
Volume 14 No.2 July – December 2021

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 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์บุญชุด เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาคกิตกร รองศาสตราจารย์ธิดิมา คุณยศยิ่ง

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์ นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. สมชาย	ชื่นวัฒนาประณีติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ก้องกิติ พุสสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ตรีนทศ เหล่าศิริพงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สายัณห์	จันทร์วิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สุมาลี	อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร. ธนารักษ์ อีระมั่นคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์			พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ. สุวิช	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. आयวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. สุพล อนันตา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. จิรพัฒน์	วณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ผศ.ดร. นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศ.ดร. อภิรัฐ ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. นิวัตร	พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. กวิน สนิธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. เกียรติศักดิ์ เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา	ผศ.ดร. ศักดิพล	เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ชิตชัย อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. ชวงโชติ พันธุเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. ดรณิ วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร. อภิชาติ	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. ถาวร สารวิทย์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร. ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. อีรศิลป์ ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี			

รศ.ดร. นกตล อุชาภิชาติ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. นพมณี โทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร. นัฐพร ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน
	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร. ปรงศักดิ์ อัมพม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
รศ.ดร. พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
	เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. พงศ์ หรดาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
	พระนครเหนือ

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร. กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์
ศ. จำเนียร นันทิลก
รศ.ดร. นันทะ บุตรน้อย
รศ.ดร. อนิรุจน์ มะโนธรรม
ผศ. พงษ์สวัสดิ์ อำนาคกิตกร
Mr. Richard Lawrence Mann

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

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

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

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัย
และบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี

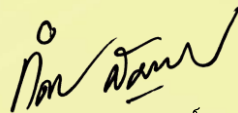
กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/itech>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ด้วยความมุ่งมั่นและความตั้งใจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งดำเนินการมาเป็นปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 โดยยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานและคุณภาพของวารสารวิชาการ และเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่บูรณาการ เข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและเป็นการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ เพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้สนใจ และการใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไปอย่างยั่งยืน

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ และขออวยพรให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประสบความสำเร็จและมีกำลังใจเพื่อผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ดำเนินการมาเป็นปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 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 จนเป็นที่รู้จักและยอมรับในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเพื่อส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ที่สนใจ การใช้ประโยชน์ของบุคคล สังคม ท้องถิ่น ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยี และพร้อมที่จะพัฒนาสู่วารสารที่มีคุณภาพยิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาคิตกร

บรรณาธิการ วารสารวิชาการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การหาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพทางกายของนักเรียน โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล กรณีศึกษาโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 1 ชิตนภัส มาศชาย, นุชนารถ ศรีชะโหม่, วิสูตร มาศชาย และวิภาวรรณ บัวทอง	1
การลดปัญหาฟองอากาศและการปรับเรียงการผลิต กรณีศึกษา บริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ ชเรอมวย เขา, วราภรณ์ จันทร์เวียง, ศักดิ์ชัย ดรดี และสุพัตรา บุตรเสรีชัย	12
การออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยี หุ่นยนต์ ณัฐลีนี ตั้งศิริไพบุลย์, นราธิป วงษ์ปัน, พงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิตติกร, วีรชัย สว่างทุกข์ และเมธาวรัตน์ กาวิลเครือ	25
โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช นันทรัฐ บำรุงเกียรติ และพีรญา เต่าทอง	36
การประเมินประสิทธิภาพพลังงาน และแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์: กรณีศึกษา อาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย นเรศ ใหญ่วงศ์ และจรัญ คนแรง	51
การเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา วรุตย์ เดชตานนท์ และจิรวัฒน์ โลพันธุ์	62
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย วิบูลพร วุฒิกุล, มณีนรัตน์ ภาจันทร์ และจรัญ คนแรง	75
การพัฒนาเครื่องอัดรีดเพื่อการผลิตเส้นพลาสติกสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ จากวัสดุรีไซเคิล วีระยุทธ จิตวิริยะ, สิทธิชัย ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และบุญฤทธิ์ แก้วประชุม	87
ภาคผนวก ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	99

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

Page

Relationship Physical Fitness Assessment Results of Students with Data 1

Mining at Rajaprachanugroh 1 School

Chitnaphat Maschai, Nutchanat Srisano, Visutr Maschai and Wipawan Buathong

Reduction of Bubble Defect and Production Leveling: 12

Case Study of a Hard Disk Drive Company

Sreymouy Sao, Waraporn Chanwiang, Sakchai Dondee and Supattra Budsareechai

Design and Development of Cardboard Prototypes to Promote Learning 25

in Robotic Technology

Natsinee Tangsiripaiboon, Narathip Wongpun, Pongsawat Amnakitikorn,

Weerachai Sawangtook and Metawat Kavilkrue

A Computer Vision Application for Appropriateness Verification of Squat 36

Exercise Posture

Nontarat Bumrungrat and Pheeraya Taathong

Energy Efficiency Assessment and Net Zero Energy Building Improvement 51

Guidelines: A Case Study at the Lifelong Learning Institute Building,

Chiang Rai Rajabhat University

Naret Yaiwong and Jarun Khonrang

Productivity of the Drinking Water Filling Process: Case Study of Thap Kaew 62

Drinking Water Plant, Nakhon Ratchasima Rajabhat University

Warutai Dejtanon and Jirawat Lopandung

Development of Herbal Incense Products of Ban Rong Pai Na Community, 75

Bua Salee Subdistrict, Mae Lao District, Chiang Rai Province

Viboonporn Wutthikun, Maneerat Pachankoo and Jarun Khonrang

Development of an Extruder in the Making of 3D Printing Filament from 87

Recycled Plastics

Weerayut Jitwiriya, Sittichai Limrungruengrat and Boonrit Kaewprachum

Appendix

Standard requirements for academic journals 99

การหาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพทางกายของนักเรียน

โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล

กรณีศึกษาโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 1

Relationship Physical Fitness Assessment Results of Students with Data Mining at Rajaprachanugroh 1 School

ชิตนภัส มาศชาย^{1*}, นุชนารถ ศรีชนะโหนด², วิสูตร มาศชาย³ และวิภาวรรณ บัวทอง⁴

Chitnaphat Maschai^{1*}, Nuchanart Srisano², Visutr Maschai³ and Wipawan Buathong⁴

^{1*,2,3,4}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 หมู่ 6 ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000

^{1*,2,3,4}Faculty of Science & Technology, Phuket Rajabhat University, 21 Moo 6, Ratsada, Muang, Phuket 83000

E-mail: s6381423101@pkr.u.ac.th

วันที่รับบทความ 17 พฤษภาคม 2564

Received May. 17, 2021

วันที่รับแก้บทความ 20 ธันวาคม 2564

Revised Dec. 20, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 22 ธันวาคม 2564

Accepted Dec. 22, 2021

บทคัดย่อ

การสร้างเสริมสมรรถภาพทางกายเป็นหน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งที่โรงเรียนจำเป็นต้องทดสอบกับนักเรียน โดยทำให้ทราบถึงความสมบูรณ์และความเปลี่ยนแปลงของร่างกาย ซึ่งในการประเมินสมรรถภาพทางกายในระดับวัยเรียนต้องประเมิน จำนวน 5 รายการ คือ 1) ดัดขึ้นมือลง 2) การยืนยกเข่าขึ้นลง 3) การลุก - นั่ง ในเวลา 4) การดันพื้นประยুক্ত ในเวลา 5) การนั่งงอตัวไปข้างหน้า ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพทางกายในการดำเนินการวิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 1 จำนวน 812 คน โดยใช้หลักการการทำเหมืองข้อมูลแบบกฎความสัมพันธ์ (Association Rule) โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบ Apriori และ FP-Growth และการทำเหมืองแบบจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) โดยเลือกการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี 2 วิธี คือ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) แบบ J48 และป่าสุ่ม (Random Forest) ซึ่งสร้างตัวแบบและหาความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Weka 3.8.5

ผลการวิจัย พบว่า การทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูลของการทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจและการประเมินแบบจำลองด้วยวิธี Percentage split ร้อยละ 70 มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยได้ค่าความแม่นยำ ร้อยละ 100 ค่าความไว ร้อยละ 100 และค่าวัดประสิทธิภาพโดยรวม ร้อยละ 100 และการทำเหมืองข้อมูลแบบกฎความสัมพันธ์แบบ Apriori และ FP Growth ได้กำหนดค่า Minimum Support เท่ากับ 0.1 และ ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.9 ได้กฎความสัมพันธ์ จำนวน 5 ข้อ และ 4 ข้อตามลำดับ ซึ่งกฎที่ได้ทั้ง 2 แบบ มีความสัมพันธ์กัน ทั้งยังพบว่ากฎที่ได้จากกฎความสัมพันธ์และแบบจำแนกประเภทข้อมูลให้ผลลัพธ์คล้ายกันและไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ: การทำเหมืองกฎสัมพันธ์, การประเมินสมรรถภาพทางกาย, ต้นไม้ตัดสินใจ, ป่าสุ่ม, อะโพริ, เอฟพี โกรวท์

Abstract

Physical fitness is one of the important functions that schools need to test with their students by making them aware of the integrity and changes of the physical condition. In which the assessment of physical fitness of students at the school age, there are 5 items to assess: 1) Body Mass Index (BMI) 2) Standing with knees raised and down 3) Stand up – Sit down at the same time 4) Applied floor pushing at the same time 5) Sit and bend forward. This research aims to analyze the relationship of physical fitness evaluation of the said assessment list. To conduct this research, a sample of 812 students at Rajaprachanugroh 1 School was selected using the data mining principles in the Association Rule model, using Apriori and FP-Growth algorithms, and Classification by selecting data comparisons using two algorithms: Decision Tree (Decision Tree), Model J48 and Random Forest, where data obtained from physical fitness testing of students. Build models and find relationships with Weka 3.8.5.

The results revealed that classification data mining of students' physical fitness tests using decision trees and model assessment using a percentage split method was 70% most effective was obtained with 100% Accuracy, 100% recall, 100% F-measure, and the Apriori and FP Growth Association Rule models were configured. Minimum Support is 0.1 and Minimum confidence is 0.9, which will have 5 and 4 relationship rules, respectively, in which both types of rules are related. It was also found that the rules derived from the relational and classification rules produce similar results and go in the same direction.

Keywords: Association Rule Mining, Physical Fitness Assessment, Decision Tree, Random Forest, Apriori, FP Growth

1. บทนำ

การทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักเรียนเป็นการส่งเสริมสุขภาพและภาวะโภชนาการของนักเรียนให้เหมาะสมกับวัย สำหรับความหมายของสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness) หมายถึง สภาวะของร่างกายที่อยู่ในสภาพที่ดีเพื่อช่วยให้บุคคลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดอัตราเสี่ยงของปัญหา ซึ่งสมรรถภาพทางกายถือเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งซึ่งช่วยในการส่งเสริมความสามารถทางด้านร่างกาย (American College of Sport Medicine, 1998) สุขภาพที่เป็นสาเหตุจากการออกกำลังกายสร้างความสมบูรณ์และแข็งแรงของร่างกายในการเข้าร่วมกิจกรรมการออกกำลังกายได้อย่างหลากหลาย (Hastad, 1998) บุคคลที่มีสมรรถภาพทางกายดีจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน (Shephard, 1978) การออกกำลังกายการเล่นกีฬา และการแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างดี (American College of Sports Medicine, 1998) โดยองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายและรายการทดสอบ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา (อายุ 7 - 12 ปี)

เทคนิคดาต้า ไมน์นิ่งเป็นกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ เป็นวิธีการค้นหาข้อมูล สำคัญเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เทคนิคนี้เป็นที่ยอมรับและถูกใช้อย่างแพร่หลาย ในหลากหลายวงการ สำหรับข้อมูลทางด้าน วิทยาศาสตร์สุขภาพก็มีงานวิจัยมากมายที่ใช้เทคนิคนี้ ในการค้นหาคำตอบหรือข้อสรุปที่เป็นประโยชน์ เทคนิคดาต้า ไมน์นิ่งถูก นำมาใช้ในการหา กฎความสัมพันธ์ (Association Rules Discovery) การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) และการจำแนกประเภทของข้อมูล (Classification) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคดาต้า ไมน์นิ่งเบื้องต้นควรมีพื้นฐาน ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ รูปแบบของข้อมูลและเทคนิคพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะสนับสนุนให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคดาต้า ไมน์นิ่งได้ดียิ่งขึ้น จากความสามารถของเทคนิคดาต้า ไมน์นิ่ง หากบุคลากรทางการแพทย์ มีความเข้าใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคนี้ ก็จะเป็นประโยชน์ในการทำงานและอาจเป็น อีกหนึ่ง เครื่องมือที่ช่วยในการค้นหาข้อมูลใหม่ที่เป็นประโยชน์ในอนาคต (Benchawan, S., 2019)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการ ศึกษาทักษะการเคลื่อนไหวทางด้านร่างกาย ของเด็กก่อนวัยเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าทักษะการเคลื่อนไหวของเด็กก่อนวัยเรียน ซึ่งได้แก่การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ การเคลื่อนไหว ในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งการออกกำลังกายโดยใช้และไม่ใช้อุปกรณ์อยู่ในระดับดี และมีรายการ ที่จะต้องมีการปรับปรุง คือ การยืนทรงตัว ซึ่งทักษะการยืนทรงตัวจะมีค่าในระดับพอใช้ทั้งเพศชาย และเพศหญิงเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า จัดกิจกรรมการออกกำลังกายให้กับเด็ก อย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 วัน ๆ ละประมาณ 30 - 50 นาที (Chaiyamang, A., 2019) และยังมีงานวิจัย การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค Apriori และ FP-Growth ในการสร้างกฎความสัมพันธ์ ของโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก ผลการศึกษาพบว่า เทคนิค FP-Growth มีความสามารถในการสร้างกฎ ความสัมพันธ์ได้มากกว่า เทคนิค Apriori และค่าความเชื่อมั่นของกฎความสัมพันธ์จากเทคนิค FP-Growth สูงกว่าเทคนิค Aprior (Thongkam, J., Sukmak, V. and Sukmak, P., 2018) นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัย ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรัง กรณีของโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง ซึ่งใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและเทคนิค K – nearest neighbor โดยทดสอบโมเดลด้วย 10 Fold Cross Validation พบว่า เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่า ร้อยละ 96.45 (Jongkasikit, N., 2016)

จากการดำเนินงานของโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 1 จังหวัดกระบี่มีการจัดเก็บข้อมูล การทดสอบสมรรถภาพทางกายเป็นประจำทุกปีการศึกษา แต่ยังไม่มีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ของการประเมินผลทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละด้าน สำหรับการทำเหมืองข้อมูลงานวิจัยฉบับนี้ จึงนำแนวคิดจากงานวิจัยฉบับต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาแล้วข้างต้น เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์การประเมิน สมรรถภาพทางกายของนักเรียนโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อหาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล

2.2 เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ของรายการทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักเรียน โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยใช้เทคนิคกฎความสัมพันธ์ (Association Rule)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบทดลอง (Experiment Research)

3.1 ประชากร

ประชากรเป็นนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 1 จำนวน 840 รายการ

3.2 กลุ่มตัวอย่าง

การเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ไม่อาศัยหลักความน่าจะเป็น (Non-Probability) โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการกลั่นกรองข้อมูล (Cleaning Data) ที่ไม่สมบูรณ์ทั้ง คงเหลือข้อมูลที่ใช้ได้ จำนวน 812 รายการ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรม Weka 3.8.5

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis)

1) พิจารณาเลือกข้อมูลสำคัญ (Data Selection) ที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จาก 13 แอตทริบิวต์ เหลือ 6 แอตทริบิวต์ รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis)

Attribute	คำอธิบาย	ประเภทของข้อมูล
BMI	ค่าดัชนีมวลกาย	numeric
Step Up and Down	ผลการยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที	numeric
Sit Ups	ผลการลุก - นั่ง 60 วินาที	numeric
Modified Push Ups	ผลการดันพื้นประยুক্ত 30 วินาที	numeric
Sit and Reach	ผลการนั่งงอตัวไปข้างหน้า	numeric
Physical Fitness Assessment Result (PFAR)	สรุปผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย	numeric

2) ทำการกลั่นกรองข้อมูล (Cleaning data) จากทั้งหมด 840 รายการ โดยลบข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ทั้ง เหลือข้อมูลที่พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ จำนวน 812 รายการ ซึ่งได้ข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมสำหรับการทำเหมืองแบบจำแนกประเภทข้อมูล

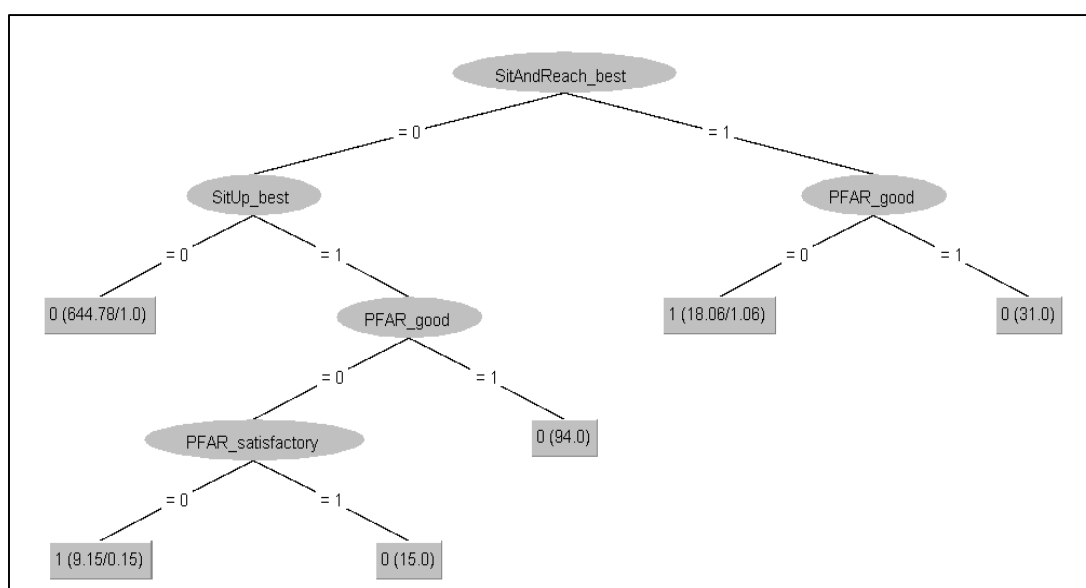
3) แปลงรูปแบบข้อมูล (Data Transformation) จากประเภทข้อมูลแบบ numeric ให้อยู่ในรูปแบบของ nominal เพื่อเหมาะสำหรับการทำเหมืองข้อมูลในการหารูปแบบความสัมพันธ์ โดยมีกำหนดค่าแอตทริบิวต์ BMI จำนวน 5 ระดับ คือ ผอมมาก = skinny, ผอม = thin, สมส่วน = smart, ทั่ว = heavysset และอ้วน = fat และการทดสอบสมรรถภาพทางกายในแบบต่าง ๆ กำหนดระดับของข้อมูล ไว้ 5 ระดับ คือ ต่ำมาก = very low, ต่ำ = low, ปานกลาง = satisfactory, ดี = good และ ดีมาก = best ดังภาพที่ 1

	BMI_skinny	BMI_thin	BMI_smart	BMI_heavysset	BMI_fat	StepUpAndDown_verylow	StepUpAndDown_low	StepUpAndDown_satisfactory	StepUpAndDown_good	StepUpAndDown_best
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 1 รูปแบบของข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการทำเหมืองข้อมูลแบบกฎความสัมพันธ์

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการดำเนินการข้อมูล เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ จะได้ลักษณะแผนภูมิของต้นไม้ตัดสินใจ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ

สำหรับการใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ แบบ J48 สามารถเขียนกฎได้ ดังนี้

1. ถ้าการนั่งงอตัวไปข้างหน้า เท่ากับ “ดีมาก” ทดสอบสมรรถภาพทางกาย จะเท่ากับ “ดี”
2. ถ้าการนั่งงอตัวไปข้างหน้า ไม่เท่ากับ “ดีมาก” และ ลูก - นั่ง 60 วินาที เท่ากับ “ดีมาก” ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย จะเท่ากับ “ดี”
3. ถ้าการนั่งงอตัวไปข้างหน้า ไม่เท่ากับ “ดีมาก” และ ลูก - นั่ง 60 วินาที เท่ากับ “ดีมาก” ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย เท่ากับ “ปานกลาง”

เมื่อพิจารณาโดยใช้ค่าความแม่นยำ ค่าความไว และค่าวัดประสิทธิภาพ เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบพยากรณ์ ได้ผลการดำเนินงาน ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของการทำเหมืองข้อมูลแบบ Classification

เทคนิคที่ใช้จำแนกข้อมูล		ค่าความแม่นยำ	ค่าความไว	ค่าวัดประสิทธิภาพ
Decision Tree	J48 5-fold cross validation	99.75	99.8	99.8
	J48 10-fold cross validation	99.75	99.8	99.8
	Percentage split 70%	100	100	100
Randomforest	5-fold cross validation	99.75	99.8	99.7
	10-fold cross validation	99.8	99.8	99.8
	Percentage split 70%	99.59	99.6	99.6

จากตารางที่ 2 การวัดค่าความแม่นยำ ค่าความไว และการวัดค่าประสิทธิภาพ ซึ่งถือเป็นการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของแบบพยากรณ์ ผลการทดสอบพบว่า ต้นไม้ตัดสินใจ Decision Tree Percentage Split 70% ได้ค่าความแม่นยำ ค่าความไวและค่าประสิทธิภาพที่เป็นค่าสูงสุดคือร้อยละ 100 ตามด้วย เทคนิคป่าสุ่ม RandomForest 10-fold ได้ค่าความแม่นยำและค่าประสิทธิภาพร้อยละ 99.80 และเทคนิคป่าสุ่ม RandomForest split 70% ได้ค่าความแม่นยำ 99.59 และค่าประสิทธิภาพ 99.6 ตามลำดับ

การทำเหมืองข้อมูลโดยหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule) แบบ Apriori และ FP-Growth

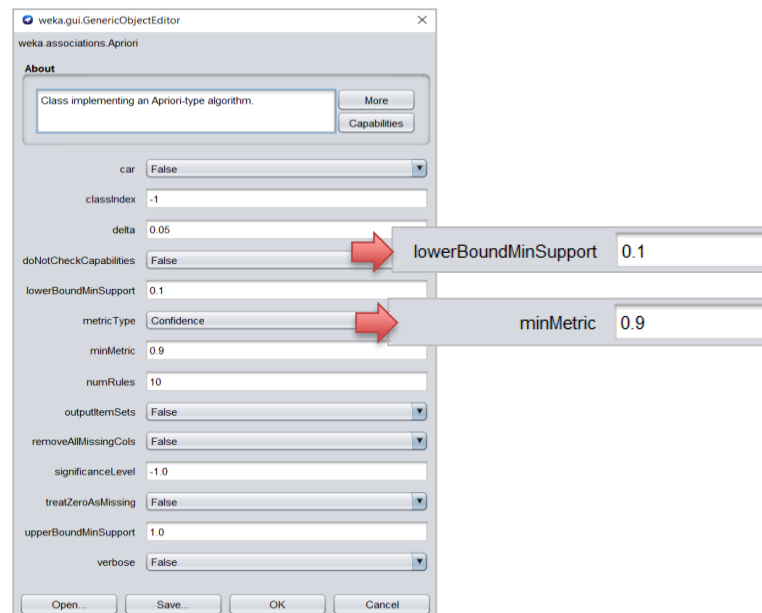
กฎของความสัมพันธ์ในการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ใช้เทคนิคกฎความสัมพันธ์ ขั้นตอนวิธีแบบ Apriori และ FP-Growth ผู้วิจัยได้กำหนดการตั้งค่า โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

ค่า lowerBoundMinSupport คือ การกำหนดค่า Minimum Support

ค่า metricType คือ การกำหนดรูปแบบของกฎความสัมพันธ์

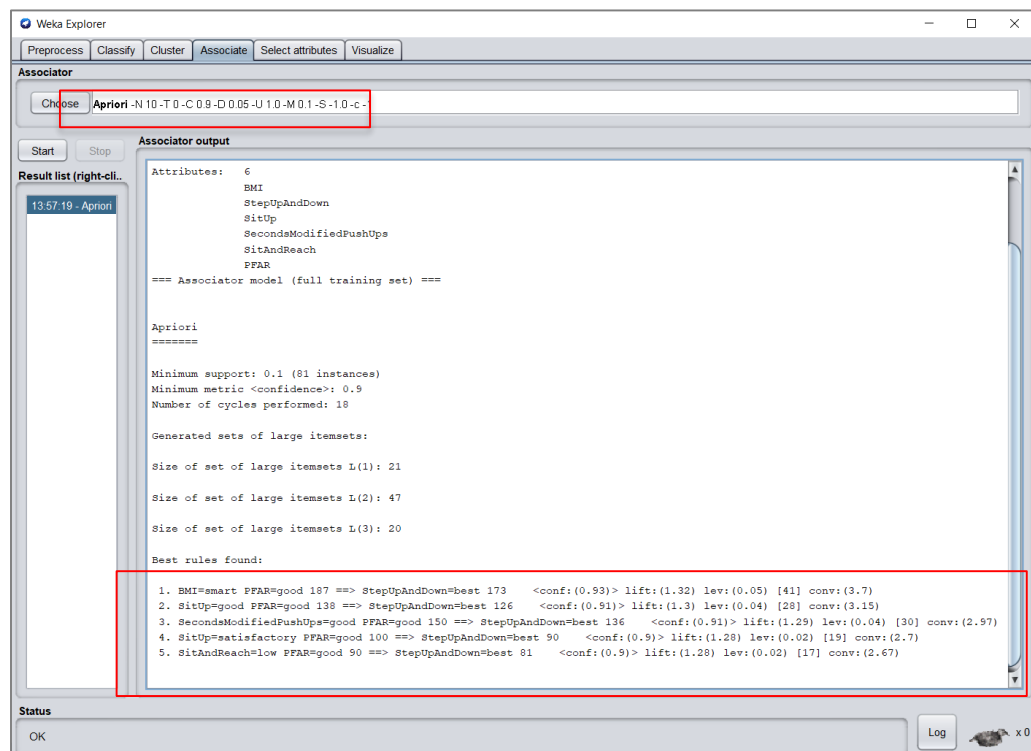
ค่า minMetric คือ การกำหนดค่า Minimum ของรูปแบบกฎความสัมพันธ์

ค่า numRules คือ การระบุจำนวนกฎความสัมพันธ์ที่ต้องการ



ภาพที่ 3 การกำหนดค่าใน Weka Association

โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่า Minimum Support และ Minimum Confidence โดยเปรียบเทียบกันหลายค่า แต่ค่าที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ Minimum Support เท่ากับ 0.1 และ ค่า Minimum Confidence = 0.9 โดยจะได้กฎจาก Apriori จำนวน 5 กฎ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลลัพธ์จากการกำหนด Apriori ค่า Minimum Support เท่ากับ 0.1 และ ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.9

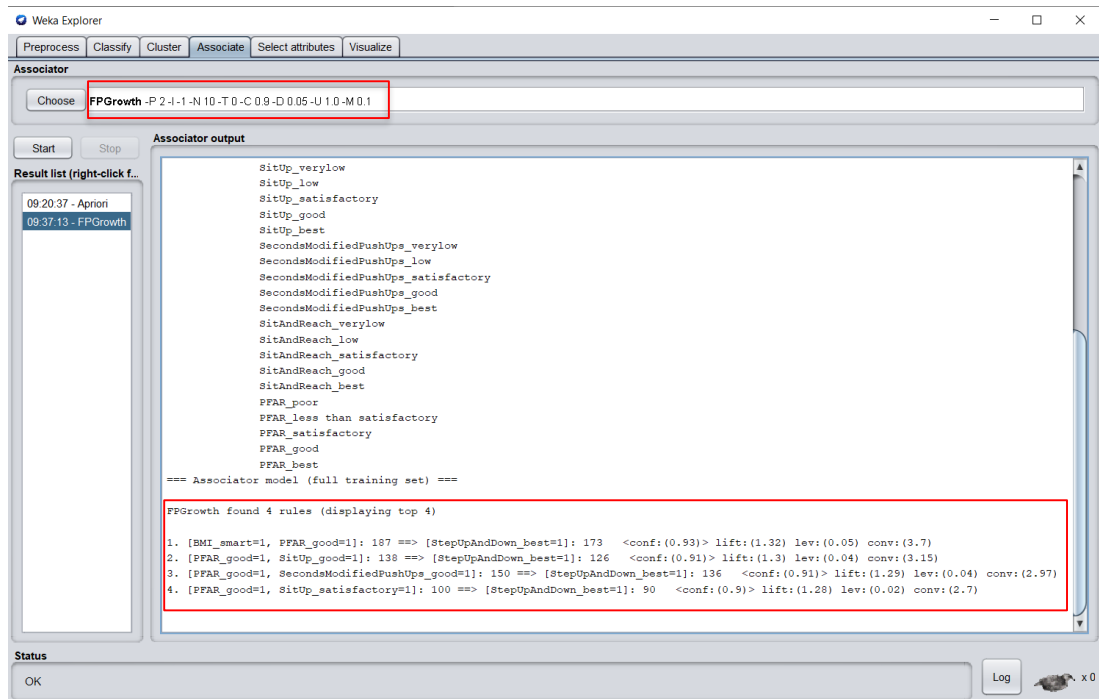
ตารางที่ 3 กฎของความสัมพันธ์ จากการกำหนด Apriori กำหนดค่า ค่า Minimum Support เท่ากับ 0.1 และ ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.9

กฎของความสัมพันธ์	Confidence	Lift
1. BMI=smart PFAR=good ==> StepUpAndDown=best	0.93	1.32
2. SitUp=good PFAR=good ==> StepUpAndDown=best	0.91	1.3
3. SecondsModifiedPushUps=good PFAR=good ==> StepUpAndDown=best	0.91	1.29
4. SitUp=satisfactory PFAR=good ==> StepUpAndDown=best	0.9	1.28
5. SitAndReach=low PFAR=good 90 ==> StepUpAndDown=best	0.9	1.28

จากตารางที่ 3 ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Weka 3.8.5 จะได้ผลลัพธ์ทั้งหมด 5 กฎ (โดยมีค่า Confidence เท่ากับ 0.9) ซึ่งสามารถแปลค่าของกฎความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

1. ถ้าค่าดัชนีมวลกาย “สมส่วน” และผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 93 ว่าผลของการยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที จะได้ผล “ดีมาก”
2. ถ้าลูกนั่ง 60 วินาที “ดี” และผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 91 ว่าผลของการยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที ได้ผล “ดีมาก”
3. ถ้าดันพื้นประยุกต์ 30 วินาที “ดี” และผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 91 ว่าผลของการยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที ได้ผล “ดีมาก”
4. ถ้าลูกนั่ง 60 วินาที “ปานกลาง” และผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ว่าผลของการยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที ได้ผล “ดีมาก”
5. ถ้านั่งงอตัวไปข้างหน้า “ต่ำ” และผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ว่าผลของการยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที ได้ผล “ดีมาก”

อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่า Lift ของทุกกฎความสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กัน



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์จากการกำหนด FP Growth ค่า Minimum Support เท่ากับ 0.1 และค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.9

ตารางที่ 4 กฎของความสัมพันธ์ จากการกำหนด FP Growth กำหนดค่า Minimum Support เท่ากับ 0.1 และ ค่า Minimum Confidence เท่ากับ 0.9

กฎของความสัมพันธ์	Confidence	Lift
1. BMI=smart, PFAR=good ==> StepUpAndDown=best	0.93	1.32
2. PFAR=good, SitUp=good ==> StepUpAndDown=best	0.91	1.3
3. PFAR=good,SecondsModifiedPushUps=good==> StepUpAndDown=best	0.91	1.29
4. PFAR=good, SitUp=satisfactory==> StepUpAndDown=best	0.9	1.28

จากตารางที่ 4 ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Weka 3.8.5 จะได้ผลลัพธ์ทั้งหมด 4 กฎ (โดยมีค่า Confidence = 0.9) ซึ่งสามารถแปลค่าของกฎความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

1. ถ้าค่าดัชนีมวลกาย “สมส่วน” และผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” จะทำให้ความเป็นไปได้ร้อยละ 93 ว่าผลของการยืนยกเข้าขึ้นลง 3 นาที จะได้ผล “ดีมาก”
2. ถ้าค่าผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” และทดสอบสมรรถภาพทางกายแบบลูก - นั่ง 60 วินาที “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 91 ว่าผลของการยืนยกเข้าขึ้นลง 3 นาที จะได้ผล “ดีมาก”

3. ถ้าค่าผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” และแบบต้นพื้นประยุกต์ 30 วินาที “ดี” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 91 ว่าผลของการยืนยกเข้าขึ้นลง 3 นาที จะได้ผล “ดีมาก”

4. ถ้าค่าผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย “ดี” และทดสอบสมรรถภาพทางกาย แบบลูก - นั่ง 60 วินาที “ปานกลาง” จะทำให้มีความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ว่าผลของการยืนยกเข้าขึ้นลง 3 นาที จะได้ผล “ดีมาก”

อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่า Lift ของทุกกฎความสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กัน

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การประเมินสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 1 โดยใช้หลักการทำเหมืองข้อมูล 2 แบบ ได้แก่ การทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูล และแบบกฎความสัมพันธ์

การทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูลเลือกการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี 2 วิธี คือ ต้นไม้ตัดสินใจแบบ J48 และป่าสุ่ม พบว่าการเปรียบเทียบแบบขั้นตอนวิธีต้นไม้ตัดสินใจด้วยเทคนิค Percentage Split 70% ได้ค่าความแม่นยำ ค่าความไวและค่าประสิทธิภาพที่เป็นค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 100 และแบบป่าสุ่มด้วยเทคนิค 10-Folds cross validation ให้ค่าความแม่นยำ ค่าความไวและค่าประสิทธิภาพ ต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ ร้อยละ 99.8 สอดคล้องกับงานวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรัง กรณีของโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงของ (Jongkasikit, N., 2016) ทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัย Fake News Classification Using Random Forest and Decision Tree (J48) (Jehad, Reham & Yousif, Suhad, A., 2020) และสอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษาเทคนิคพยากรณ์อาชีพสำหรับนักศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล (Wanon, S., Areerat, T. and Sanraj, C., 2018) ที่ให้ค่าความแม่นยำ ค่าความไว และค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำเหมืองแบบกฎความสัมพันธ์โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบ Apriori ได้กฎ 5 กฎ และแบบ FP-Growth ได้กฎ 4 กฎ เมื่อพิจารณาพบว่ากฎดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการคัดกรองสุขภาพเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลของ Thongkam, J., Sukmak, V. and Sukmak, P. (2018) ผลจากการวิจัยพบว่า ไม่ว่าจะเลือกใช้การทำเหมืองแบบจำแนกประเภทข้อมูล หรือแบบกฎความสัมพันธ์ จะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน อีกทั้งผลของงานวิจัยสามารถนำกฎความสัมพันธ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพทางกายและพัฒนารูปแบบการออกกำลังกายของเด็กวัยเรียนต่อไป

6. ข้อเสนอแนะ

การทำเหมืองข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูล ยังมีอีกหลายเทคนิคที่น่าสนใจและที่ผู้วิจัยไม่ได้นำมาทำการทดลอง เช่น ขั้นตอนวิธีแบบ K-nearest neighbor, NaiveBayes, Linear Regression, MultiLayerPerceptron เป็นต้น อีกทั้งการวิจัยในครั้งนี้ใช้กับกลุ่มประชากรวัยเรียนเท่านั้น ซึ่งการทดสอบสมรรถภาพทางกายยังสามารถประยุกต์ใช้กับประชากรกลุ่มอื่นได้อีกด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- American College of Sports Medicine. (1998). **ACSM fitness book**. 2'd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 1998.
- Benchawan, S. (2019). Data Analysis with Basic Data Mining Techniques. **journal Faculty of Pharmacy Siam University**. Vol. 9 No. 2 2019 July – December.
- Chaiyamang, A. (2019). The Development Of Movement Skills Of Preschoolers, Chiangmai Rajabhat University Demonstration School, Mueang District, Chiang Mai Province. **RAJABHAT CHIANG MAI RESEARCH JOURNAL**. Vol. 21 No. 3 2020 September–November Pages 68-85.
- Hastad, DN. and Lacy, AC. (1998). **Measurement and evaluation in physical education and exercise science**. 3rd ed. Boston: Allyn and Bacon; 1998.
- Jehad, Reham & Yousif, Suhad A. (2020). Fake News Classification Using Random Forest and Decision Tree (J48). **Al-Nahrain Journal of Science**. 23. 49-55. 10.22401/ANJS.23.4.09.
- Jongkasikit, N. (2016). A Decision Support System for Analyzing the Risk of Two Chronic Diseases: Diabetes Mellitus and Hypertension. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 9 No. 2 2016 July – December. Pages 11-19.
- Shephard, RJ. and Lavalley, H. (1978). **Physical fitness assessment: principles, practice, and application**. Springfield, Ill.: Thomas; 1978.
- Thongkam, J., Sukmak, V. and Sukmak, P. (2018). Performance Comparison of Apriori and FP-Growth Techniques in Generating Association Rules to Prostate Cancer. **Journal of Applied Informatics and Technology**. Vol. 1 No. 2 2018 July – December. Pages 103-111.
- Wanon, S., Areerat, T. and Sanraj, C. (2018). A Study of Techniques in Predicting Career Counseling for Undergraduate Students of the Computer Program by Using Data Mining Technique. **Journal of Innovative Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University**. Vol. 5 No. 1 2018 January – May. Pages 164-171.

การลดปัญหาฟองอากาศและการปรับเรียบการผลิต

กรณีศึกษา บริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Reduction of Bubble Defect and Production Leveling:

Case Study of a Hard Disk Drive Company

ซเรอมวย เซา^{1*}, วราภรณ์ จันทร์เวียง², ศักดิ์ชัย ดรดี³ และสุพัตรา บุตรเสรีชัย⁴

Sreymouy Sao^{1*}, Waraporn Chanwiang², Sakchai Dondee³ and Supattra Budsareechai⁴

^{1*,2,3,4} โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ 36000

^{1*,2,3,4} Establishment Project of the Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum 36000, Thailand.

E-mail: Warapornchanwiang@gmail.com

วันที่รับบทความ 19 พฤษภาคม 2564

Received: May. 19, 2021

วันที่รับแก้ไขบทความ 14 กรกฎาคม 2564

Revised: Jul. 14, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 6 กันยายน 2564

Accepted: Sep. 6, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียจากการเกิดฟองอากาศในขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเพื่อปรับเรียบการผลิตในกระบวนการผลิตและบรรจุผลิตภัณฑ์ ด้วยแนวคิดหลักการลดความสูญเสียเปล่า 7 ประการ พบปัญหาความสูญเสียเปล่าที่เกิดจากการผลิตของเสียฟองอากาศบนฉลากสินค้า ขั้นตอนและระยะเวลาการทำงานไม่ปรับเรียบส่งผลให้ปริมาณการผลิตที่ได้ไม่สมดุล และการเคลื่อนไหวที่จำเป็นของพนักงานส่งผลต่อระยะเวลาการทำงานที่มาก การดำเนินงานการปรับปรุงแก้ไขเริ่มจากการศึกษาลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้น เก็บข้อมูลเบื้องต้น วิเคราะห์ปัญหา และสาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา ออกแบบ กำหนดวิธีการ แนวทางในการแก้ไข ด้านปัญหาของเสียจากฟองอากาศ เกิดจากการกระจายน้ำหนักรูปร่างของอุปกรณ์ยังไม่ทั่วถึง ผู้วิจัยออกแบบพัฒนาอุปกรณ์ Rubbing Tool Cover เพื่อใช้ในการรีดบนฉลาก จากนั้นปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานด้วยการศึกษาการทำงาน ระยะเวลาของแต่ละสถานีงาน เพื่อลดรอบเวลาด้วยเทคนิค ECRS พร้อมทั้งปรับปรุงอุปกรณ์ในขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ด และการแบ่งขั้นตอนการทำงานใหม่ เพื่อลดระยะเวลาการทำงานของพนักงานที่มีเวลาการทำงานสูงสุด ผลการดำเนินงานพบว่า การพัฒนาอุปกรณ์ Rubbing Tool Cover สามารถลดร้อยละของเสียที่เกิดจากฟองอากาศบนผลิตภัณฑ์จากก่อนปรับปรุงร้อยละ 18 ลดลงเหลือร้อยละ 2 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 88.88 และลดร้อยละของเสียบนบรรจุภัณฑ์ก่อนปรับปรุงร้อยละ 30 ลดลงเหลือร้อยละ 5 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 83.33 และการปรับปรุงวิธีการทำงาน สถานีงาน Featuring สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตจาก 1,324 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้นเป็น 1,381 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้น 57 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.30 ส่งผลให้ปริมาณการผลิตปรับเรียบมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การลดของเสีย, ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ, ECRS, การศึกษาการทำงาน

Abstract

This research aimed to reduce the quantity waste from bubbles in the hard disk drive labeling process and to smooth production in the process of labeling and packing products according to the 7 Wastes. One waste problem is from bubbles on product labels being not smooth resulting in employee movement and time wastes. This study sought to improve this problem by collecting data and analyzing the root causes using a fishbone diagram. It was found that the waste bubble problem was caused by the weight not being able to diffuse all of the label. The researcher designed the Rubbing Tool Cover for pressing on the labels. Then the work process was improved by 1) studying the time spent at each station and reducing the cycle times using the ECRS technique, and 2) improving the barcode scanning equipment and process, dividing and reducing the time of work for each employee. The results of the research showed that the Rubbing Tool Cover reduced the waste bubble percentage defect on products from 18% to 2% (-88.88%), the percentage defect on packaging from 30% to 12% (-83.33%), and increased production capacity from 1,324 to 1,381 or 57 pieces/day, (+4.30%). As a result, the production process could run more smoothly.

Keywords: Reduct Defect, Hard Disk Drive, 7 Waste, ECRS, Work Study

1. บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive: HDD) (Yongpisanphob, W., 2021) ของไทยเป็นผู้ส่งออก HDD อันดับ 2 ของโลก ตลาดส่งออกในสัดส่วนสูงกว่า 90% โดยมีสัดส่วนเกือบ 30% ของมูลค่าส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดของไทย เป็นอุตสาหกรรมที่บริษัทต่างชาติที่เข้ามาลงทุนขณะที่ผู้ประกอบการไทยส่วนใหญ่ทำธุรกิจในฐานะรับจ้างประกอบและมักประกอบธุรกิจรับเหมาช่วง (Subcontractors) จากการอาศัยความรู้การพัฒนาจากต่างชาติ ทำให้แรงงานขาดการพัฒนาฝีมือ และการสร้างมูลค่าเพิ่มในสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ไม่สูงนัก อีกทั้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยมีการพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมสนับสนุนที่ล่าช้า ประกอบกับค่าจ้างแรงงานไทยที่อยู่ในระดับสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของไทยปรับเพิ่มขึ้น ทำให้มีความอ่อนไหวต่อภาวะเศรษฐกิจโลก และนโยบายการลงทุนของบริษัทข้ามชาติที่มุ่งหาฐานผลิตที่มีความได้เปรียบด้านต้นทุน ส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาเน้นด้านการลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการ เช่น ปัญหาการลดของเสียที่เกิดจากฟองอากาศ บนผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ เป็นผลให้พนักงานต้องทำการแก้ไขและตัวฉลากที่มีปัญหาออกและติดใบใหม่ หากของเสียส่งไปถึงมือลูกค้า ลูกค้าส่งสินค้ากลับคืนมาทั้งหมด เป็นผลทำให้บริษัทมีต้นทุนเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีแนวคิดการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ปรับวิธีการดำเนินงานภายในกระบวนการผลิตที่สามารถดัดแปลงให้ง่ายขึ้นสะดวกต่อการปฏิบัติงานของพนักงาน (Kaewsud, J., 2019) การออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถลดระยะเวลา ลดขั้นตอนในการทำงานที่ไม่จำเป็น ช่วยให้การดำเนินงานง่ายขึ้นยิ่งขึ้น สร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เต็มศักยภาพ ซึ่งปัจจัย

เหล่านี้ล้วนมีกระทบทางตรงและผลกระทบทางอ้อมต่อผลกำไรของบริษัท ส่งผลให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจในระบบการผลิต เพื่อแข่งขันกับคู่แข่งทางธุรกิจ และตอบสนองสินค้าที่มีคุณภาพออกไปยังผู้ใช้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อลดปริมาณของเสียจากการเกิดฟองอากาศในขั้นตอนการติดฉลากบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 2.2 เพื่อปรับเรียงการผลิตในกระบวนการติดฉลากและบรรจุผลิตภัณฑ์

3. ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา : ศึกษาและดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนการดำเนินงานโดยวิเคราะห์การดำเนินงานด้วย 7 Waste หลักการ ECRS และ QC Tool

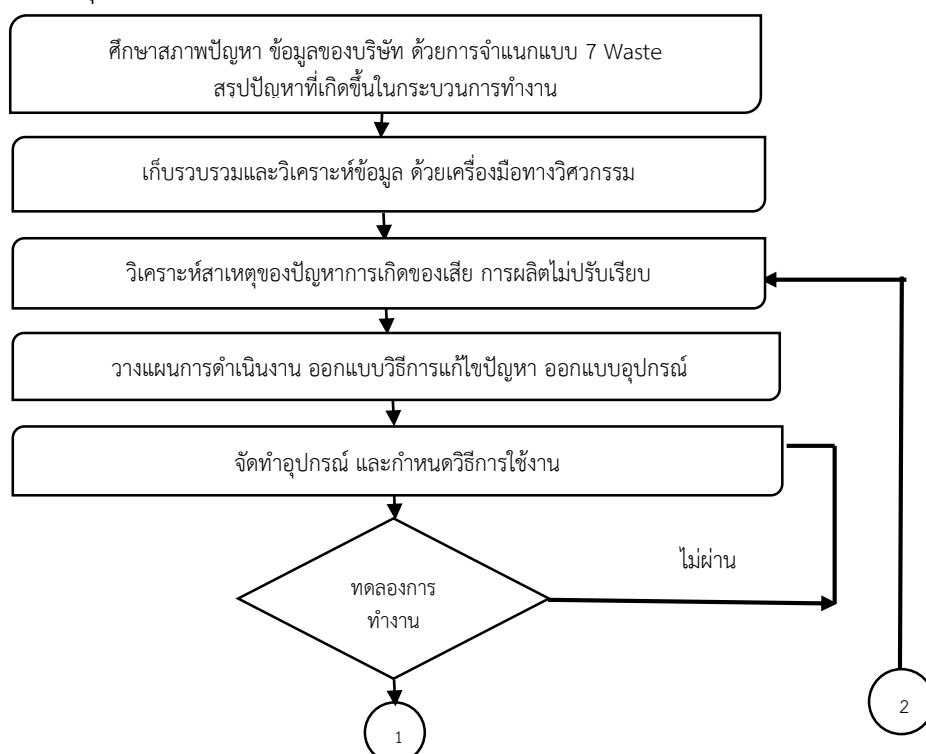
ขอบเขตด้านเวลา : ดำเนินการศึกษา เก็บข้อมูลและปรับปรุงการดำเนินงานตั้งแต่ มิถุนายน ถึง ตุลาคม 2563

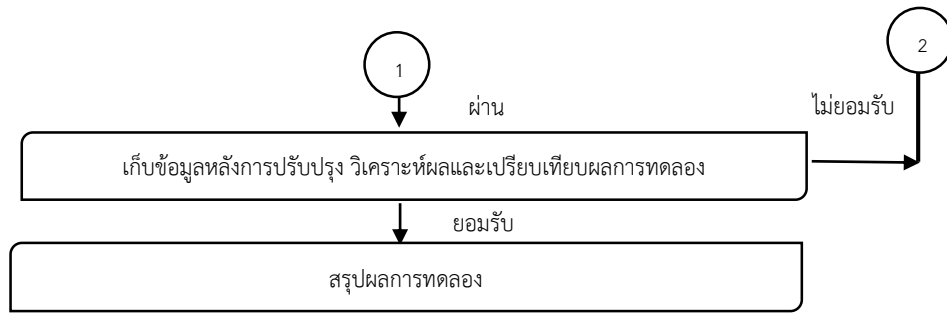
ขอบเขตด้านพื้นที่ : ศึกษาและดำเนินการปรับปรุงเฉพาะกระบวนการติดฉลากและบรรจุผลิตภัณฑ์ บริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จำนวน 1 สายการผลิตต้นแบบ จากทั้งหมด 13 สายการผลิต ด้วยวิธีการคัดเลือกจากสายการผลิตที่มีปัญหาของเสียมากที่สุด

ขอบเขตด้านอุปกรณ์ : ศึกษาและดำเนินการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดปัญหาฟองอากาศ และอุปกรณ์ยึดเครื่องสแกนติดกับโต๊ะทำงาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการดำเนินวิจัยตามลำดับขั้นตอน เพื่อให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ดังแสดงในภาพที่ 1





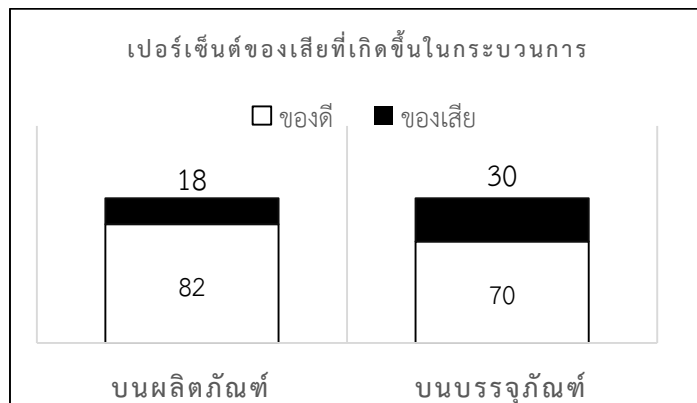
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 ศึกษาสภาพปัญหา ข้อมูลของบริษัท ด้วยการจำแนกแบบ 7 Waste ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคือ 1. ปัญหาความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตของเสียฟองอากาศบนฉลากสินค้า 2. ขั้นตอนและระยะเวลาการทำงานไม่ปรับเรียงส่งผลให้ปริมาณการผลิตที่ได้ไม่สมดุล และการเคลื่อนไหวที่จำเป็นของพนักงานส่งผลต่อระยะเวลาการทำงานที่มาก

4.2 เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยเครื่องมือทางวิศวกรรม ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหา ความถี่ที่เกิดขึ้น รวมถึงวิเคราะห์กระบวนการทำงานด้วยหลักการ 7 Waste จำนวนตัวอย่าง 310 ตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มจากจำนวนชิ้นงาน 1,324 ชิ้นต่อวัน (ทาโรยามาเน่, Yamane) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างร้อยละ 5 (เนื่องจากลักษณะขั้นตอนที่ศึกษาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และข้อจำกัดด้านระยะเวลาการประกอบของรุ่นการผลิต)

$$\text{จากสูตร } n = \frac{N}{1 + Ne^2} = \frac{1,324}{1 + 1,324(0.05)^2} = 307 \text{ ชิ้น} \quad (1)$$

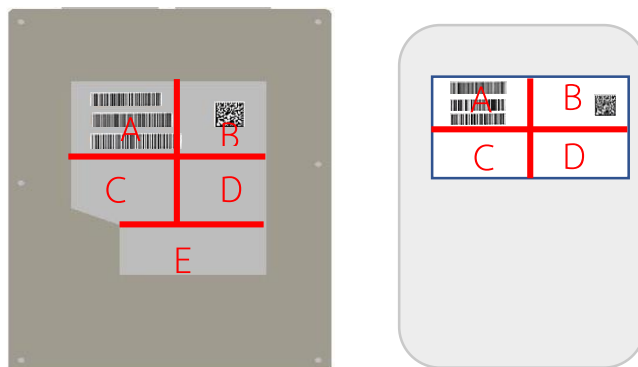
เมื่อได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาแล้วทำการตรวจสอบของเสีย พบว่าของเสียที่เกิดจากการติดฉลากบนผลิตภัณฑ์ร้อยละ 18 และของเสียที่เกิดจากการติดฉลากบนบรรจุภัณฑ์ร้อยละ 30 ของจำนวนการสุ่ม ด้วยกราฟแสดงสัดส่วน ผลการวิเคราะห์ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ของเสียที่เกิดจากฟองอากาศบนผลิตภัณฑ์และบนบรรจุภัณฑ์

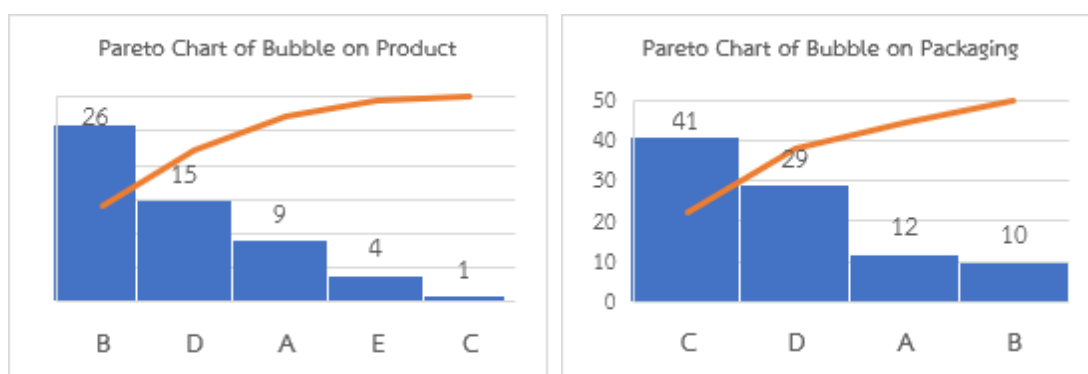
4.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเกิดของเสีย การผลิตไม่ปรับเรียบ

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดปัญหาฟองอากาศ บนฉลากผลิตภัณฑ์ โดยได้จากการสังเกต วิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับพนักงาน และผู้ที่เกี่ยวข้อง ออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลแยกตามตำแหน่งของฉลากที่ติดลงบนผลิตภัณฑ์ (ซ้าย) สามารถแบ่งได้ 5 ตำแหน่ง (A, B, C, D, E) ดังแสดงในภาพที่ 3 (ซ้าย) การติดฉลากบนบรรจุภัณฑ์ได้ 4 ตำแหน่ง (A, B, C, D) ดังแสดงในภาพที่ 3 (ขวา)



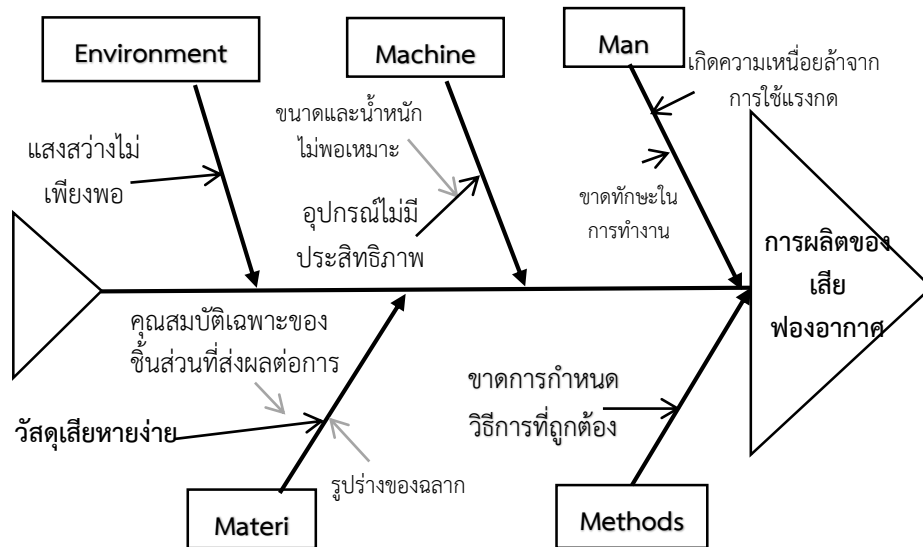
ภาพที่ 3 ตำแหน่งของฟองอากาศที่เกิดขึ้นบนฉลากผลิตภัณฑ์ บนผลิตภัณฑ์ (ซ้าย) บนบรรจุภัณฑ์ (ขวา)

ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่ 3 ผู้วิจัยใช้แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดปัญหาฟองอากาศมากที่สุดบนผลิตภัณฑ์ได้แก่ ตำแหน่ง B, D, A, E, C ดังภาพที่ 4 ตามลำดับ ปัญหาฟองอากาศบนบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ตำแหน่ง C, D, A, B ตามลำดับ



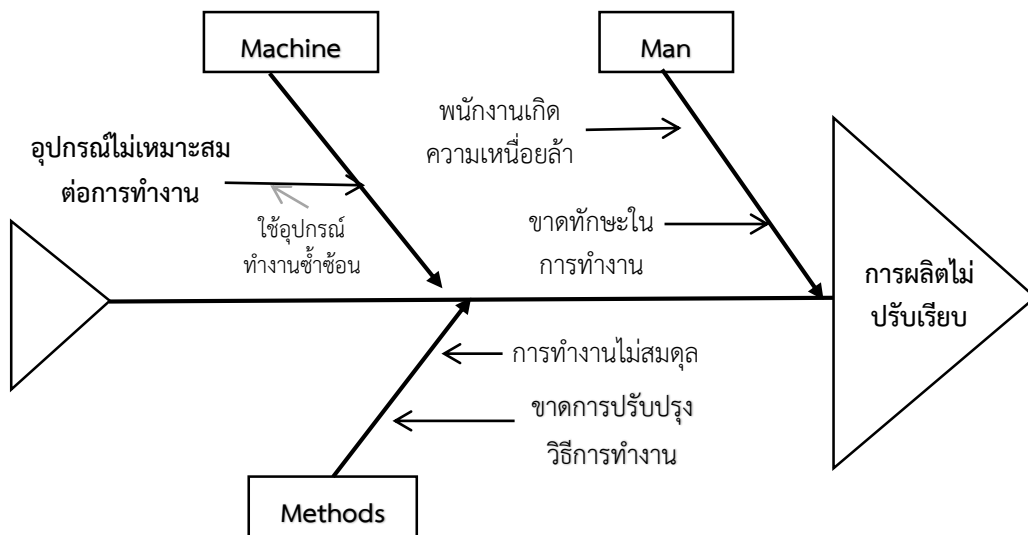
ภาพที่ 4 วิเคราะห์ตำแหน่งที่ทำให้เกิดของเสีย(ฟองอากาศ) บนผลิตภัณฑ์และบนบรรจุภัณฑ์

4.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและข้อมูลข้างต้นสามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้ดังแสดงในภาพที่ 5 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5 แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการผลิตของเสีย (พองอากาศ)

จากแผนภาพที่ 5 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการผลิตของเสีย (พองอากาศ) พบว่า สาเหตุหลักเกิดจากการใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ น้ำหนักของเครื่องมือที่ใช้ในการติดฉลากบนผลิตภัณฑ์และบนบรรจุภัณฑ์มากเกินไป และขนาดของเครื่องมือไม่เหมาะกับการถือรีดฉลากของพนักงาน ส่งผลให้พนักงานเกิดความเหนื่อยล้าในการใช้แรงกดเพื่อติดฉลากบนผลิตภัณฑ์ และทำให้เกิดพองอากาศบนฉลากได้ด้วย



ภาพที่ 6 แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการผลิตไม่ป้รับเรียบ

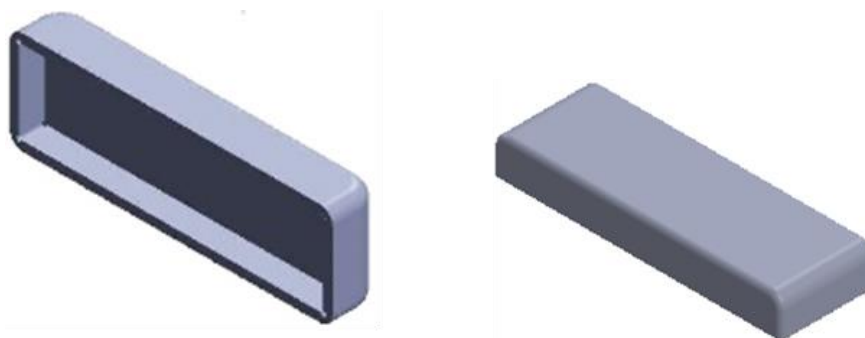
จากแผนภาพที่ 6 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการผลิตไม่ป้รับเรียบพบว่า สาเหตุหลักคือ ขั้นตอนและระยะเวลาการทำงานไม่สมดุล เช่น สถานี Featuring เวลาการทำงานคือ 21.18 วินาที สถานี Visual เวลาการทำงานคือ 13.47 วินาที สถานี Packing เวลาการทำงานคือ 12.98 วินาที

ซึ่งสถานี Featurig ใช้เวลานานที่สุดและยังพบสาเหตุทำให้เกิดความเหนื่อยล้า การใช้เวลาในการหยิบอุปกรณ์สแกนบาร์โค้ดทำงาน และเก็บเครื่องสแกนเข้าที่ จึงมีแนวคิดในการลดขั้นตอนการดำเนินงานด้วยการสร้างอุปกรณ์เพื่อการทำงานที่เร็วและสะดวกยิ่งขึ้น

4.4 วางแผนการดำเนินงาน ออกแบบวิธีการแก้ไขปัญา

จากหลักการ ECRS ผู้วิจัยมีแนวคิดจากหลักการ R Rearrang ไปใช้ในการแบ่งงานจากสถานี Featurig คือขั้นตอน Write operation name ไปยังสถานี Visual เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างสถานีงาน จากนั้นใช้หลักการ C Combine การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน โดยออกแบบอุปกรณ์การอ่านบาร์โค้ดลดการเคลื่อนไหว และหลักการ S Simplify การออกแบบอุปกรณ์ในการติดสติกเกอร์บนผลิตภัณฑ์

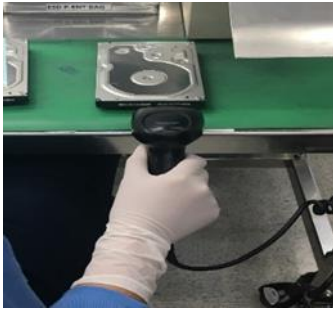
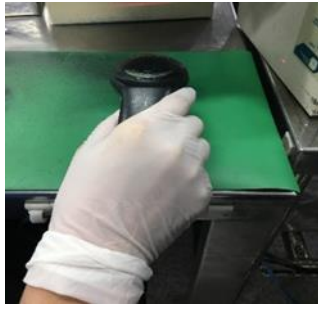
1) จากข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต ดังภาพที่ 4 พบว่าการติดฉลากมีปัญหาด้านแรงที่ใช้กดลงไปยังฉลากไม่ทั่วถึงทั้งแผ่น (ปัจจุบันใช้เพียงพองน้ำในการรีดฟองอากาศ) จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ เพื่อใช้สวมครอบบนพองน้ำ ลักษณะคล้ายแปรงลบกระดาน ทำการทดลองใช้ในสายการผลิตต้นแบบ เพื่อให้พนักงานมีส่วนร่วมในการประเมินความสามารถการใช้งานของอุปกรณ์ได้จริงหรือไม่ ผู้จัดทำได้ออกแบบอุปกรณ์ โดยการทดลองใช้ปรับแก้ขนาด และความสูง โดยได้ข้อสรุปขนาดร่วมกันระหว่างผู้ออกแบบและผู้ใช้งานคือ กว้าง 3.5 ซม. ยาว 10.5 ซม.หนา 0.2 ซม. พร้อมทั้งทำรอยยี่ดภายในเพื่อให้ยึดเกาะพองน้ำได้ ด้วยหลักการการเลือกวัสดุต้องไม่ทำให้ฉลากเกิดรอยเสียหาย ขนาดเบาไม่ทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้า ไม่ขัดกับสรีระการทำงานเดิม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุจาก โพลีเพนคโ (Polyphencol) เป็นวัสดุในการผลิต เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่เกิดไฟฟ้าสถิต เมื่อเกิดการเสียดสีขึ้น วัสดุนี้นับบริษัทอนุมัติให้ใช้สร้างอุปกรณ์นี้ถูกเรียกว่า Rubbing Tool Cover ดังในภาพที่ 7



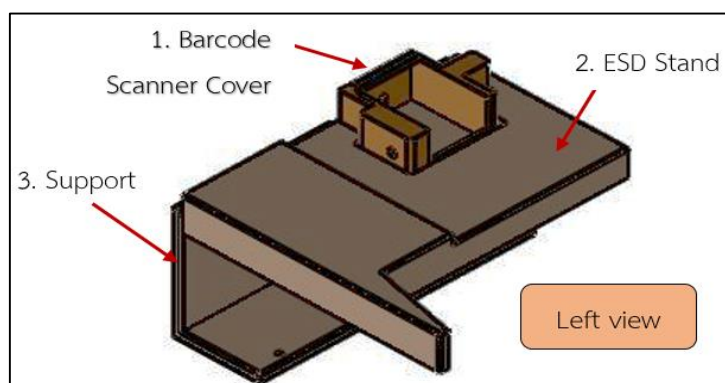
ภาพที่ 7 อุปกรณ์ที่ใช้ครอบลงบนพองน้ำ Rubbing Tool Cover

2) ศึกษาวิธีการทำงาน ในขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ด พร้อมทั้งเสนอให้มีการออกแบบชิ้นส่วน Jig Fixture ประกอบเข้ากับโต๊ะทำงาน เพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง ในสถานีงาน Featurig

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ดก่อนการปรับปรุง

ขั้นตอน	1. หยิบ barcode reader	2. สแกน STD& S/N	3. วาง barcode reader
ก่อนปรับปรุง 2.3 Sec.			

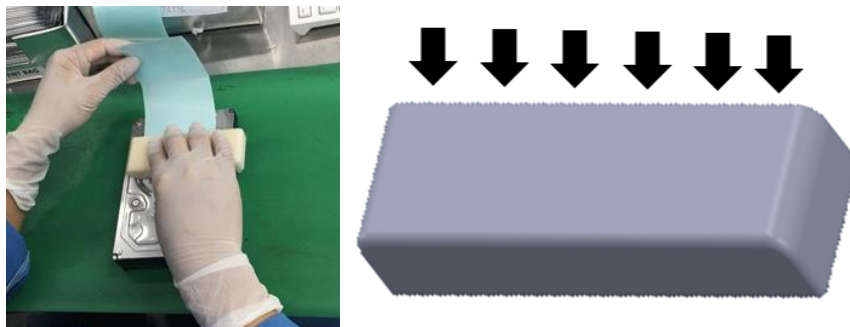
จากตารางที่ 1 ขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ดบนผลิตภัณฑ์ก่อนปรับปรุงจำนวน 3 ขั้นตอน เริ่มด้วยการยกเครื่องสแกนไปยังบาร์โค้ด สแกนเสร็จแล้ววางไปตำแหน่งเดิมซึ่งใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 2.3 วินาทีต่อชิ้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนวคิดออกแบบอุปกรณ์เพื่อลดขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ดบนผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการติดตั้งเครื่องสแกนกับโต๊ะทำงาน

4.5 จัดทำอุปกรณ์ และกำหนดวิธีการใช้งาน

1) วิธีการใช้อุปกรณ์ Rubbing Tool Cover การอบรมและสร้างความเข้าใจต่อการทำงาน จากการสังเกตพฤติกรรมและการทำงานของพนักงานสามารถระบุสาเหตุได้ว่า พนักงานเกิดความเมื่อยล้าจากการใช้แรงกดตลอดทั้งวัน อีกทั้งลักษณะการวางนิ้วมือยังไม่ถูกต้อง และขาดทักษะการทำงานที่เหมาะสม จึงได้มีการเสนอให้จัดอบรมพนักงานทั้ง 13 สายการผลิต ในการใช้อุปกรณ์ใหม่ เพื่อให้เข้าใจลักษณะการทำงานและวิธีการที่ถูกต้อง โดยการกระจายแรงจากนิ้วมือในขณะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Rubbing Tool Cover ดังภาพที่ 9



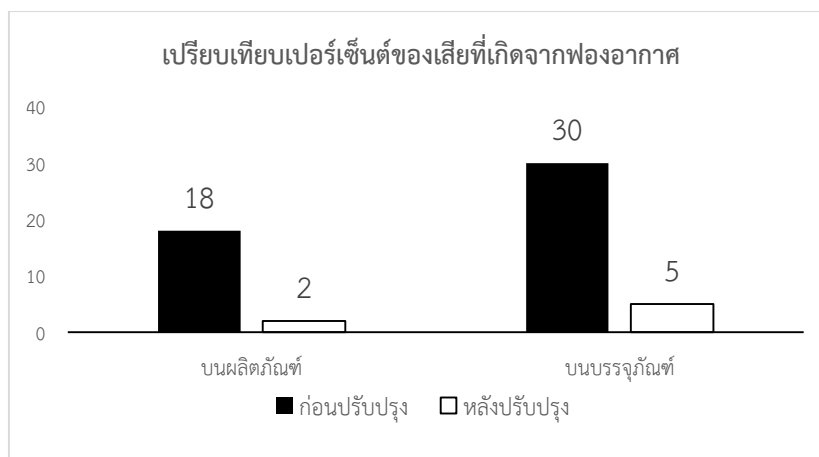
ภาพที่ 9 แสดงวิธีการใช้อุปกรณ์ Rubbing Tool Cover

2) ทดลองการทำงานของอุปกรณ์

เมื่อทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์แล้ว ทดลองการใช้งานด้วยพนักงานที่เกี่ยวข้อง สังเกต สอบถาม และวิเคราะห์การปฏิบัติงาน พนักงานมีความพึงพอใจต่อการใช้งาน และสามารถทำงานได้สะดวก รวดเร็ว ลดระยะเวลาการทำงานลง จำนวนของเสียจากฟองอากาศ ลดลง จากนั้นเก็บผลการดำเนินงานหลังการทดลอง ระยะเวลาการปฏิบัติงาน จำนวนของเสีย นำไปเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการปรับปรุง

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการดำเนินงานปัญหาการเกิดของเสียจากฟองอากาศ จากการสังเกตและเก็บข้อมูลตามตำแหน่งที่เกิดฟองอากาศ พบตำแหน่งที่ติดสลากรมีผลต่อการเกิดฟองอากาศ ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์สาเหตุเกิดจากอุปกรณ์เดิมที่ใช้อยู่ไม่สามารถกระจายแรงกดได้ทั่วทั้งแผ่นฉลาก ด้วยหลักการ ECRS (S = Simplify สร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น) จึงนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ครอบลงบนฟองน้ำ เพื่อสามารถกระจายน้ำหนักไปยังฉลากที่ใช้ติดบนผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ พร้อมทั้งทดลองใช้งานกับพนักงานจริง เพื่อให้ใช้งานได้สะดวก รองรับการดำเนินงาน ผู้วิจัยเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างจำนวน 310 ชิ้นงาน สามารถสรุปจำนวนเปรียบเทียบผลการปรับปรุงร้อยละของเสียที่เกิดจากฟองอากาศ บนผลิตภัณฑ์จากก่อนปรับปรุงร้อยละ 18 ลดลงเหลือร้อยละ 2 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 88.88 และสามารถลดร้อยละของเสียที่เกิดบนบรรจุภัณฑ์จากก่อนปรับปรุงร้อยละ 30 ลดลงเหลือร้อยละ 5 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 83.33 ส่งผลให้ทางบริษัทและพนักงานยอมรับการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวในกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดจากฟองอากาศ

5.2 ผลการดำเนินงานปรับปรุงขั้นตอนการทำงานด้วยเครื่องสแกนบาร์โค้ด

จากปัญหาด้านระยะเวลาการทำงานไม่ปรับเรียบ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์สาเหตุการทำงานล่าช้าของพนักงานเกิดจากความเหนื่อยล้าระหว่างทำงาน ในขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ด ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ Jig Fixture เพื่อยึดเครื่องสแกนเข้ากับโต๊ะทำงานด้วยหลักการ 7 waste (การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น) และ ECRS (S = Simplify สร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น) ได้เสนอลดขั้นตอนการยกเครื่องสแกนไปทำงานยังชิ้นงาน เปลี่ยนวิธีการ คือให้ติดตั้งเครื่องสแกนอยู่กับที่ จากนั้นเลื่อนชิ้นงานผ่านเครื่องสแกน ลดขั้นตอนการนำเครื่องสแกนมาทำงาน และนำกลับไปวางที่จุดวางเก็บข้อมูลระยะเวลาหลังการใช้อุปกรณ์ Jig Fixture ผลการดำเนินงาน คือระยะเวลาการทำงานหลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 0.5 วินาทีต่อชิ้น แสดงขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ด หลังการปรับปรุง

ขั้นตอน	ไม่ต้องหยิบ barcode reader	ยกชิ้นงานสแกน STD& S/N	ไม่ต้องวาง barcode reader
หลังปรับปรุง 0.5 Sec.			

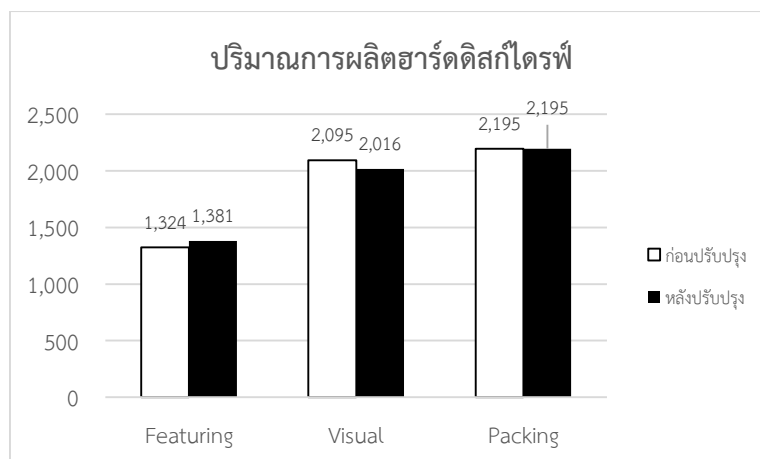
5.3 ผลการดำเนินงานด้านการปรับระยะเวลารอบในสายการผลิต

จากสาเหตุของปัญหา การปรับระยะเวลารอบการผลิต พนักงานมีระยะเวลาการทำงานที่ไม่สมดุล เสนอให้มีการจัดแบ่งงานใหม่ โดยได้ทำการย้ายขั้นตอน Write operation name มีเวลาการทำงาน 0.64 วินาทีต่อชิ้น จากสถานีงาน Featurig ไปยังสถานีงาน Visual ส่งผลให้เวลาสถานีงาน Featurig จาก 21.18 วินาทีเหลือเพียง 20.54 วินาที และเวลาในสถานีงาน Visual เพิ่มขึ้นจาก 13.47 วินาที เป็น 14.11 วินาที ส่งผลให้ระยะเวลาของสถานีงานปรับเรียบมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3 (Ruanglok, S., 2017)

ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนและเวลาการทำงานของสถานีงาน Featurig และ Visual

1. Featurig	ก่อน	หลัง	2. Visual	ก่อน	หลัง
Pick up from side printer	0.67	0.67	Take unit Bag	1.55	1.55
Take model label	0.74	0.74	Inspection Unit	9.24	9.24
Pick up unit#2	1.81	1.81	Send unit	1.63	1.63
Read unit	2.3	2.3	Write operation name	-	0.64
Inspection	2.5	2.5			
Affix model label	4.63	4.63			
Send unit to next station	0.93	0.93			
Take Bag	4.35	4.35			
Send ESD Bag	0.98	0.98			
Read WI	0.25	0.25			
Turn around half dolly	0.33	0.33			
Write operation name	0.64	-			
Cycle Time	20.13	19.49	Cycle Time	12.42	13.06
Fatigue 5%	1.05	1.05	Fatigue 5%	1.05	1.05
STD Time	21.18	20.54	STD Time	13.47	14.11
Product Out put	1,324	1,371	Product Out put	2,095	2,016

จากนั้นผู้วิจัยได้สรุปผลเปรียบเทียบอัตราการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง ของสถานีงาน Featurig จากก่อนปรับปรุงมีกำลังการผลิต 1,324 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้นเป็น 1,381 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้น 57 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.30 และในสถานีงาน Visual เมื่อมีการเพิ่มขั้นตอนการทำงานส่งผลให้กำลังการผลิตปรับเรียบลดลง และอยู่ในกำลังการผลิตรวมที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบกำลังการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

6. สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้เสนอการแก้ปัญหาของเสียที่เกิดจากฟองอากาศ ที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ บนบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ Rubbing Tool Cover ที่มีขนาดเหมาะสม เบา สะดวก กะทัดรัด ที่มีผลการวิจัยดังตัวอย่างงานวิจัยของ (Singthanu, S., 2018) โดยออกแบบร่วมกับพนักงานที่ปฏิบัติงานในขั้นตอนนี้ ด้วยการทดลองใช้ สอบถาม สังเกต และวิเคราะห์ผลของการใช้งานร่วมกันตลอดระยะเวลาการทดลอง จนได้เป็นอุปกรณ์ที่พนักงานยอมรับใช้งานได้ ส่งผลให้ลดปัญหาของเสียฟองอากาศลงได้ อีกทั้งปัญหาการผลิตไม่ปรับเรียบที่เกิดจากการเคลื่อนไหวไม่จำเป็นในขั้นตอนการสแกนบาร์โค้ด ผู้วิจัยได้ออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ Jig Fixture ร่วมกับหลักการ ECRS เพื่อยึดเครื่องสแกนเข้ากับโต๊ะทำงาน ลดขั้นตอนการทำงานจาก 3 เหลือเพียง 1 ขั้นตอน เวลาในการทำงานลดลงจาก 2.3 เป็น 0.5 วินาที ลดลง 1.8 วินาที ต่อชิ้น ปัญหาขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาไม่สมดุลได้ปรับวิธีการทำงานจากสถานีงาน Featuring และ Visual ส่งผลให้เวลาการทำงานปรับเรียบยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างงานวิจัยของ (Thamchaisopit, P., 2016) พร้อมทั้งมีการอบรมพนักงานในการทำงาน เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในขั้นตอนการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้กำลังการผลิตในแต่ละวันเพิ่มขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถพัฒนาแนวคิดการออกแบบอุปกรณ์ เพื่อลดของเสียที่ได้ไปยังสายการผลิตใกล้เคียงของบริษัทกรณีศึกษา หรือประยุกต์ใช้กับงานที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกัน แต่แตกต่างกันด้านผลิตภัณฑ์ เช่น การติดฉลากสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้า รถจักรยานยนต์ รถยนต์ ที่ต้องการติดฉลากคงทน เพื่อสะดวกต่อการหาข้อมูลของผลิตภัณฑ์ในการใช้งานได้ง่าย

8. เอกสารอ้างอิง

- Kaewsud, J. (2019). **Production process improvement by using lean concept: The Case of Gloves Manufacturing in Songkhla**. Published honours thesis, Prince of Songkla University. Thailand.
- Ruanglok, S. (2017). **Efficiency Improvement of Small Earth Leak Breaker**. Published honours thesis, Thammasat University. Thailand.
- Singthanu, S. (2018). Optimization the Production Line Auto Parts with Design Techniques Jigs, **IE Network Conference 2018**, Ubon Ratchathani, Thailand. 36, 560-567. (in Thai)
- Thamchaisopit, P. (2016). **Efficiency Enhancement of Production Process for Electronic Industry by Using Lean Manufacturing**. Published honours thesis, Burapha University. Thailand.
- Yongpisanphob, W. (2021). **“Trends of Thai Business and Industry in 2021-2023 Electronics and Electrical Appliances Industry Hard Disk Drive (HDD)”**. [online], Available: <https://www.krungsri.com/th/research/industry>. access on June 10, 2021.

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีหุ่นยนต์

Design and Development of Cardboard Prototypes to Promote Learning in Robotic Technology

ณัฐสินี ตั้งศิริไพบูลย์^{1*}, นราธิป วงษ์ปัน², พงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิตติกร³, วีรชัย สว่างทุกซ์⁴ และเมธาวัตน์ กาวิลเครือ⁵
Natsinee Tangsiripaiboon^{1*}, Narathip Wongpun², Pongsawat Amnakitikorn³, Weerachai Sawangtook⁴
and Metawat Kavilkrue⁵

^{1*,2,3,4,5}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง,
อีเมล natsinee1984@gmail.com, โทร 06 4428 2524

^{1*,2,3,4,5}Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University, 119 Moo 9, Chompu, Muang, Lampang,
E-mail: natsinee1984@gmail.com, Tel. 06 4428 2524

วันที่รับบทความ 25 มกราคม 2564

Received: Jan. 25, 2021

วันที่รับแก้ไขบทความ 4 ธันวาคม 2564

Revised: Dec. 4, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 8 ธันวาคม 2564

Accepted: Dec. 8, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีหุ่น งานวิจัยนี้เป็นแนวทางให้ผู้สนใจสามารถพัฒนาหุ่นได้ด้วยตนเอง ในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีเค้าโครงตัวหุ่นมาจากงานวิจัยนี้ โดยใช้บอร์ดโนดเอ็มซียู (NodeMCU) เป็นบอร์ดพัฒนาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี ซึ่งสามารถออกแบบและพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริง ในการตรวจจับก๊าซและกลุ่มควันแบบง่าย ๆ โดยสามารถพัฒนาและประกอบหุ่นและเขียนโปรแกรม โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีหุ่นยนต์ 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ของนักศึกษาในกลุ่มเรียนรู้ และ 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ 1) สามารถออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์โดยใช้กล่องกระดาษได้ดี โดยมีผลในการประเมินทั้ง 5 ด้าน ได้ผลโดยรวมมีค่าเฉลี่ยที่ 4.23 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยที่ 0.73 อยู่ในระดับดี และ 2) นักศึกษากลุ่มเรียนรู้ จำนวน 18 คนมีความพึงพอใจเฉลี่ยที่ 3.79 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยที่ 0.64 อยู่ในระดับดี และ 3) การทดลองตัวจับก๊าซและควันโดยใช้ก๊าซจากไฟแช็ค ทำการทดลอง 10 ครั้ง หน่วยที่วัดได้คือ ppm ได้ค่าเฉลี่ยรวมของก๊าซที่ตรวจวัดได้คือ 412.2 ppm ซึ่งหุ่นสามารถแสดงผลออกทางจอภาพได้ตามคำสั่งของโปรแกรมอยู่ในระดับดี

คำสำคัญ: หุ่นกล่องกระดาษ, เครื่องมือพัฒนา, หุ่นเพื่อการศึกษา

Abstract

The aim of this research was to design, develop, and evaluate the performance of cardboard prototypes to promote learning in robotic technology. This research sought to provide a way for interested parties to develop their own robots in various forms. The programming board “NodeMCU” using C language and able to be designed

and developed for use in the detection of gas and smoke, was used in this research. This research had 3 objectives: 1) to design and develop a robot prototype; 2) to assess the participants' (n = 18) satisfaction with the robot prototype design and their development; and 3) to assess the performance of the prototype robot. The results of the experiment are as follows: 1) assessment in 5 areas of the design and development of the robot prototype using cardboard showed a good level (4.23/5, standard deviation = 0.73); 2) assessment of the participants' satisfaction showed a good level (3.79/5, standard deviation = 0.64); and 3) the prototype robot could display output from the screen according to the instructions of the program at a good level: the gas and smoke detector using gas from the lighter was performed 10 times with the unit measured in part per million (ppm)- average of the gas was 412.2 ppm.

Keywords: Cardboard, Tool kits, Educational Robot

1. บทนำ

หุ่นถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นผู้ช่วยคอยทำงานให้มนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันหุ่นเข้ามาทำงานแทนมนุษย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแนวคิดและการพัฒนาในเรื่องเทคโนโลยีด้านหุ่นนี้ อาจทำให้ชีวิตมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลง ในอดีต หุ่นได้ถูกวางรูปแบบให้เป็นเครื่องจักรที่สามารถคิดเองได้ และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี คนส่วนใหญ่จะเห็นหุ่นในลักษณะของเครื่องจักรกลที่มีรูปร่างคล้ายสิ่งมีชีวิต เช่น คน หรือสัตว์ต่าง ๆ แต่ในความเป็นจริงแล้ว หุ่นสามารถมีรูปร่างได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งานนั่นเอง (Krungru Guru, 2020)

ไอบีเอ็ม (IBM) ได้สร้างหุ่น โอเพนซอร์ส (open source) ที่มีชื่อว่า TJBOT (Maker Kits, 2016) โดยสร้างจากกล่องกระดาษ หรือ 3D printer โดย ไอบีเอ็มเปิดโอกาสให้ผู้สนใจพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นเบื้องต้นสามารถดาวน์โหลดโครงสร้าง หรือซื้อชุดเครื่องมือ TJBOT จาก ไอบีเอ็มเพื่อนำไปพัฒนาการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นด้วยตนเองได้ ซีชาร์ วัลเดเวลล์ และคณะ (Vandeveld, C. et al., 2016) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาหุ่นขนาดเล็กด้วยตัวเอง โดยทำการทดสอบและสร้างหุ่นและทำการแข่งขันหุ่น ในรูปแบบหุ่นดับเพลิง ในประเทศไทยมีการจัดการแข่งขันหุ่นทั้งระดับอุดมศึกษาและมัธยมศึกษาเกิดขึ้นมากมาย เช่น การแข่งขันหุ่นแกรมาโก้ แต่หุ่นที่ใช้ในการแข่งขันมีราคาแพงไม่เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นที่สนใจในการสร้างหุ่นด้วยตนเอง และหุ่นแต่ละตัวทำหน้าที่ได้ไม่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของหุ่นและผู้เริ่มต้น เช่น นักเรียน นักศึกษา ที่อยากพัฒนาหุ่นไม่รู้อะไรจะพัฒนาหุ่นอย่างไร อุปกรณ์ที่ใช้มีอะไรบ้าง จึงเป็นปัญหาสำหรับผู้เริ่มต้นที่ต้องการพัฒนาหุ่นด้วยตนเอง

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นจากกล่องกระดาษ โดยตัวหุ่นถูกสร้างจากกล่องกระดาษที่มีราคาถูก และใช้บอร์ดโนดเอ็มซียู (NodeMCU) เป็นบอร์ดซึ่งสามารถทำงานได้หลากหลายและพัฒนาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับนักเรียนนักศึกษาและผู้สนใจในด้านเทคโนโลยีหุ่น สามารถต่อยอดพัฒนาเป็นหุ่นยนต์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ด้วยตัวเอง เช่น หุ่นตรวจจับฝุ่น PM 2.5, หุ่นตรวจจับความชื้นในอากาศ

และหุ่นตรวจจับควันไฟ ฯลฯ ซึ่งเหมาะสำหรับการเรียนรู้ในยุคปัจจุบัน และเป็นการพัฒนา ด้านเทคโนโลยีหุ่นได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ ด้านเทคโนโลยีหุ่น

2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ของนักศึกษา กลุ่มเรียนรู้

2.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษสำหรับนักเรียนนักศึกษา มีรายละเอียด และขั้นตอนในการดำเนินงาน โดยใช้ตามหลักวงจรพัฒนาระบบ (Systems development life cycle – SDLC) มีขั้นตอนทั้งหมด 7 ขั้นตอน แต่ผู้วิจัยได้ตัดขั้นตอนที่มีการซ้ำซ้อนบางขั้นตอน ให้เป็นขั้นตอนเดียวกัน โดยเหลือขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน และมีกรอบแนวคิดงานวิจัยดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

3.1 ขั้นวิเคราะห์ (Analysis) ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับการสร้างหุ่น และการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษา ค้นคว้า หาข้อมูล โดยการรวบรวมข้อมูลและโปรแกรมต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบและสร้างหุ่น และเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาพัฒนาต้นแบบหุ่น

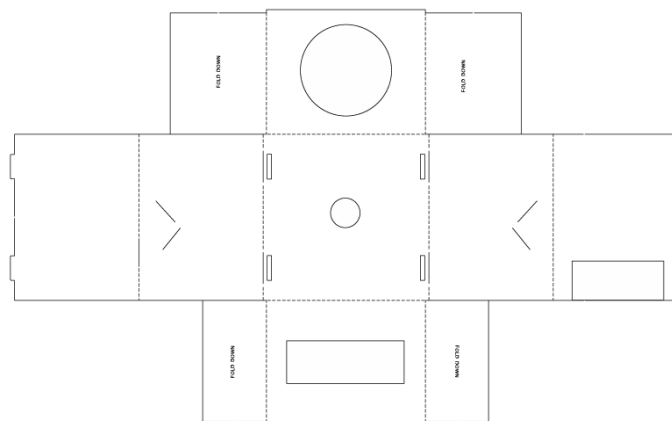
2) ผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

(1) นักศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จำนวน 18 คน

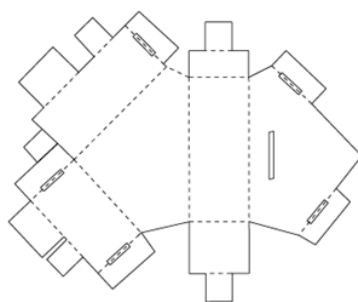
(2) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ เป็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับหุ่น หรือที่เกี่ยวข้องจำนวน 5 คน โดยมีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นมากกว่า 5 ปี ขึ้นไป

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ (Design)

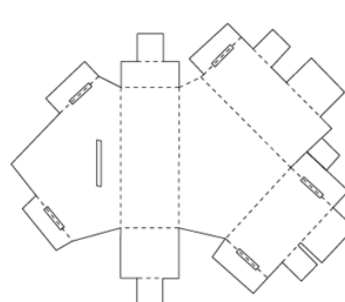
1) การออกแบบหุ่น ได้ทำการออกแบบตัวหุ่นจากกล่องกระดาษ โดยมีโครงสร้างดังนี้



ภาพที่ 2 ส่วนหัวของหุ่น

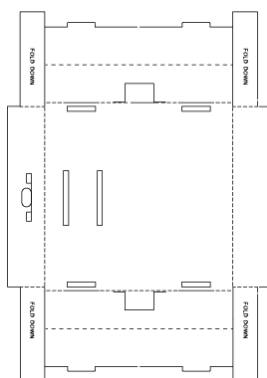


(ก) ล้อด้านซ้าย



(ข) ล้อด้านขวา

ภาพที่ 3 ส่วนล้อด้านซ้ายและด้านขวาของหุ่น



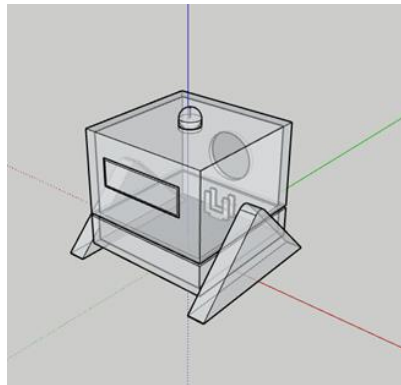
(ก) ส่วนฐานของหุ่น



(ข) ตัวยึดจับบอร์ด

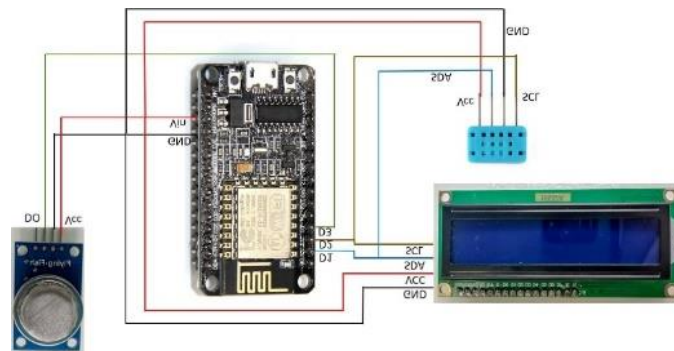
ภาพที่ 4 ส่วนฐานและตัวยึดจับบอร์ดของหุ่น

จากภาพข้างบนจะเห็นว่าเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ภายนอก ซึ่งสามารถใช้กล่องกระดาษมาตัดตามแม่แบบแล้วขึ้นรูปหุ่นได้เหมือนในภาพที่ 5 ในขั้นตอนการออกแบบนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบหุ่นให้มีหน้าตาเป็นมิตร เข้าถึงง่าย มีหน้าจอแสดงผลเพื่อให้สามารถโต้ตอบกับผู้พัฒนาได้ โดยใช้หลักการเบื้องต้นในการพัฒนาหุ่น เช่น สมอง หน้าตา ขา เป็นต้น และออกแบบให้มีความยืดหยุ่นที่ผู้พัฒนาสามารถปรับเปลี่ยนรูปลักษณะหุ่นได้ด้วยตัวเอง เช่น การเพิ่มล้อ เปลี่ยน เซนเซอร์ ให้เหมาะกับงานที่ผู้พัฒนาต้องการให้ทำงานได้



ภาพที่ 5 หุ่นในมุมมอง 3 มิติ

2) การออกแบบวงจร โดยมีมีวงจรต่าง ๆ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผังวงจรของหุ่นกล่องกระดาษ

จากภาพที่ 6 ใช้บอร์ดวงจรโนดเอ็มซียู ชื่อ ESP32 WiFi Bluetooth ซึ่งใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมควบคุมวงจรเบื้องต้น และสามารถเชื่อมต่อด้วย ไร้ไฟ และบลูทูธ ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อไปยังคลาวด์ (Cloud) ได้ ตัวหุ่น จะมีหน้าตาโดยใช้ LCD ซึ่งสามารถแสดงตัวอักษรได้ 2 บรรทัด ทั้งหมด 16 ตัวอักษร และมีเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อไว้สำหรับเขียนโปรแกรมอยู่ 2 ตัว คือเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับก๊าซและควัน และเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับความชื้น ซึ่งเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้สามารถสลับเปลี่ยนให้หุ่นได้โดยการต่อวงจรเข้ากับบอร์ด หรือผู้สนใจมีความเชี่ยวชาญจนสามารถพัฒนาหุ่นได้ด้วยตัวเอง สามารถเปลี่ยนเซนเซอร์ตัวอื่นเข้ามาพัฒนาทำให้มีความยืดหยุ่น

มากยิ่งขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบหุ่น ให้เป็นตัวจับควันไฟและตรวจจับความชื้นแบบง่าย ๆ ให้ผู้เริ่มต้นสนใจ หรือนักเรียน และนักศึกษาสามารถสร้างตามได้ด้วยตนเอง

3.3 ขั้นการพัฒนา (Development) ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองทำการสร้างตัวต้นแบบ โดยสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ได้ดังภาพที่ 7 โดยมีขั้นตอนการพัฒนาการทดสอบ (Try out) มี 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้ 1) ออกแบบส่วนหัวของหุ่นและหน้าต่างให้มีความเป็นมิตร โดยวัดให้มีขนาดในการรองรับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น จอภาพ, ที่ตรวจจับควัน 2) ออกแบบในส่วนฐานและตัวยึดจับบอร์ด เพื่อให้สามารถใส่บอร์ดวงจรและสายไฟต่าง ๆ ได้ และ 3) ออกแบบส่วนล้อซึ่งเป็นตัวประสานระหว่างหัวและฐานของหุ่นเอาไว้ด้วยกัน



ภาพที่ 7 ตัวต้นแบบหุ่น

3.4 ขั้นการทดลอง (Implementation) ทำการทดลองกับกลุ่มเป้าหมายจำนวน 18 คน คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ ลำปาง มีวิธีการทดลองดังนี้ 1) ให้กลุ่มเป้าหมายทดลองสร้างหุ่นต้นแบบตามวิธีและตัวอย่างที่มอบให้ 2) กลุ่มเป้าหมายทดสอบหุ่นเบื้องต้นโดยการเขียนคำสั่งควบคุมหุ่น 3) กลุ่มเป้าหมายลองปรับเปลี่ยนโค้ดตามโจทย์ที่ตั้งไว้ และดูการทำงานของหุ่นยนต์ในหน้าจอแสดงข้อความว่าสามารถแสดงคำสั่งได้ถูกต้อง 4) กลุ่มเป้าหมายทำแบบประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการสร้างและใช้งานหุ่น 5) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ 6) สรุปผลลัพธ์ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่



(ก) ทดลองสร้างหุ่นจากกล่องกระดาษ



(ข) ทดสอบเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นจากกล่องกระดาษเบื้องต้น

ภาพที่ 8 การทดลองสร้างและเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นเบื้องต้น

3.5 ขั้นตอนการประเมินผล (Evaluation) การประเมินประสิทธิภาพต้นแบบหุ่นแบ่งกลุ่มผู้ประเมินเป็น 2 กลุ่มโดย 1) ผู้เชี่ยวชาญและ 2) กลุ่มนักเรียนนักศึกษา โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญประเมินด้านการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพต้นแบบหุ่น มีขั้นตอนดังนี้ 1) ผู้เชี่ยวชาญทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นว่าสามารถทำตามคำสั่งเบื้องต้นได้หรือไม่ 2) ผู้เชี่ยวชาญทำแบบประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ โดยประเมิน 5 ด้านดังนี้ 1) ด้านการออกแบบเฉลี่ยรวม 2) ด้านชิ้นงานภาพรวมเฉลี่ยรวม 3) ด้านประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยรวม 4) ด้านการใช้งานเฉลี่ยรวม และ 5) ด้านระดับความคุ้มค่าเฉลี่ยรวม และกลุ่มนักเรียนนักศึกษาประเมินความพึงพอใจภาพรวมของต้นแบบหุ่นหลังจากทำการสร้างแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล

4. ผลการวิจัย

4.1 ออกแบบและพัฒนาต้นแบบต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีหุ่นยนต์

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษ มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีหุ่น ซึ่งจากการทดลองกลุ่มตัวอย่างสามารถสร้างตามที่ได้วิจัยออกแบบได้ด้วยตนเอง และสามารถเขียนคำสั่งได้ โดยคำสั่งที่กลุ่มตัวอย่างเขียนเพื่อการตรวจจักษุภาพ คิว และความชื้น ซึ่งจากผลการทดสอบหุ่นสามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

4.2 ประเมินความพึงพอใจในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบหุ่นยนต์ของนักศึกษา กลุ่มเรียนรู้

ผลการประเมินความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ในการทดสอบหาความพึงพอใจเกี่ยวกับภาพรวม ด้วยวิธีการใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จำนวน 18 คน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจภาพรวม

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ค่าผลแปร
ภาพรวมของหุ่น			
1. รูปร่างของหุ่น	3.56	0.51	ดี
2. สีของหุ่น	3.44	0.71	ปานกลาง
3. วัสดุมีความแข็งแรง	3.33	0.59	ปานกลาง
4. การทำงานน่าสนใจ	4.00	0.59	ดี
5. ชนิดของอุปกรณ์และเซนเซอร์เหมาะสม	4.06	0.80	ดี
6. อุปกรณ์และเซนเซอร์ทำงานได้ถูกต้อง	4.17	0.62	ดี
7. ความยากง่ายในการประกอบ	3.67	0.59	ดี
8. ความยากง่ายในการเขียนโปรแกรม	3.78	0.73	ดี
9. ปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้ง่าย	3.83	0.61	ดี
10. ความพึงพอใจโดยรวม	4.11	0.68	ดี
ค่าเฉลี่ยในภาพรวม	3.79	0.64	ดี

4.3 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบ

1) ผลการประเมินด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของหุ่นโดยผู้เชี่ยวชาญ ด้วยวิธีการใช้แบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ซึ่งมีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่น 5 ปีขึ้นไป ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของต้นแบบหุ่นโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ค่าผลแปร
1. ด้านการออกแบบเฉลี่ยรวม	3.87	0.44	ดี
2. ด้านชิ้นงานภาพรวมเฉลี่ยรวม	4.09	0.76	ดี
3. ด้านประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยรวม	4.05	0.87	ดี
4. ด้านการใช้งานเฉลี่ยรวม	4.47	0.78	ดี
5. ด้านระดับความคุ้มค่าเฉลี่ยรวม	4.67	0.82	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.23	0.73	ดี

2) การทดสอบประสิทธิภาพด้านการทำงานตามคำสั่งที่พัฒนาในการตรวจจับก๊าซและควัน โดยก๊าซที่ใช้เป็นก๊าซไฟแช็ค (GAS LIGHTER) ทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ระยะห่างในการปล่อยก๊าซจากจุดปล่อยถึงตัวหุ่น 30 เซนติเมตร หน่วยที่วัดได้คือ ppm ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพด้านการทำงานตามคำสั่งที่พัฒนาจำนวน 10 ครั้ง

ทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ผลที่ได้	350	380	345	450	400	450	500	387	440	420

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์ จากการที่ผู้วิจัยได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการออกแบบและพัฒนาชุดเครื่องมือหุ่นกล่องกระดาษ 2 ข้อ ดังนี้

1) เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบต้นแบบหุ่นกล่องกระดาษเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีหุ่น หลังจากการดำเนินการได้หุ่นรวมทั้งหมด 8 ตัว สามารถทำงานได้สมบูรณ์ และถูกต้องสามารถทำงานตามคำสั่งโปรแกรมได้ และนักเรียนนักศึกษาสามารถพัฒนาโปรแกรมคำสั่งในการควบคุมหุ่นได้ด้วยตนเอง

2) เพื่อประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นต้นแบบ ผลการประเมินแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ดังนี้ 1) การประเมินความพึงพอใจภาพรวมของหุ่น โดยนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จำนวน 18 คน 2) การประเมินด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของต้นแบบหุ่นโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่น 5 ปีขึ้นไป จำนวน 5 คน และ 3) การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นต้นแบบตามคำสั่งโปรแกรมในการทดลองตัวจับก๊าซและควันโดยใช้ก๊าซจากไฟแช็คทำการทดลอง 10 ครั้ง

(1) การประเมินความพึงพอใจภาพรวมของหุ่นโดยกลุ่มตัวอย่างข้างต้น จำนวน 18 คน พบว่ามีความคิดเห็นโดยรวม แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี ค่าเฉลี่ย 3.79 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าข้อที่มีค่าสูงสุด คือ อุปกรณ์และเซนเซอร์ทำงานได้ถูกต้องซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี ลำดับที่ 2 คือ ความพึงพอใจโดยรวม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี และลำดับที่มีค่าต่ำสุด คือ วัสดุมีความแข็งแรง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.33 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพปานกลาง และลำดับที่มีค่าต่ำสุดรองลงมา คือ สีของหุ่น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.44 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพปานกลาง ทำให้สามารถสรุปผลได้ว่าตัวหุ่นและเซนเซอร์สามารถทำงานได้จริง ตามคำสั่งที่พัฒนาด้วยภาษาซี แต่ตัววัสดุอุปกรณ์ของหุ่นไม่มีความแข็งแรงและสีไม่สวยงามเนื่องจากหุ่นใช้กล่องกระดาษในการสร้าง และสีของหุ่นอ้างอิงตามกล่องกระดาษที่ใช้ ทำให้หุ่นไม่มีความสวยงาม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นี้ เป็นแนวทางในการพัฒนาหุ่นต่อไปในอนาคต โดยเปลี่ยนตัววัสดุในการสร้างหุ่นให้มีความคงทนมากกว่ากล่องกระดาษแต่ยังอยู่ในราคาที่ไม่แพงจนเกินไป

(2) การประเมินด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของต้นแบบหุ่นโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการออกแบบหรือเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นมีประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 5 ปีขึ้นไป จำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินประสิทธิภาพทั้งหมด 5 ด้าน มีค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 5 ด้าน แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.23 เมื่อพิจารณาแต่ละด้านพบว่า ด้านที่มีค่าสูงสุด คือ ด้านความคุ้มค่าซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดีมาก ลำดับที่ 2 คือ ด้านการใช้งานซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี และลำดับที่มีค่าต่ำสุด คือ ด้านการออกแบบซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี สามารถสรุปได้ว่าตัวหุ่นมีประสิทธิภาพสามารถใช้

งานได้จริง และมีความคุ้มค่าต่อการพัฒนาเพราะวัสดุที่ใช้มีราคาถูกหาได้ง่าย ตัวบอร์ดและเซนเซอร์ต่าง ๆ สามารถซื้อได้ตามเว็บไซต์ และร้านค้าทั่วไป แต่การออกแบบหุ่น ความคงทนของวัสดุ และความสวยงามยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ซึ่งสามารถนำผลการทดลองนี้มาปรับปรุงพัฒนาและต่อยอดหุ่นได้ในอนาคต

(3) การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นต้นแบบตามคำสั่งโปรแกรม ในการทดลองตัวจับก๊าซและควันโดยใช้ก๊าซจากไฟแช็ค ทำการทดลอง 10 ครั้ง ระยะห่างในการปล่อยก๊าซจากจุดปล่อยถึงตัวหุ่น 1 ไม้มบรทัดหรือ 30 เซนติเมตร หน่วยที่วัดได้คือ Part Per Million (ppm) ได้ค่าเฉลี่ยรวมของก๊าซที่ตรวจวัดได้ คือ 412.2 ppm ซึ่งหุ่นสามารถแสดงผลออกทางจอภาพได้ตามคำสั่งของโปรแกรม และในการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ในด้านประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.05 และด้านการใช้งานเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.47 แปรผลได้ว่ามีคุณภาพดี ดังนั้นตัวหุ่นต้นแบบสามารถทำงานได้จริงตามคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนควบคุมอยู่ในระดับดี

5.2 อภิปรายผลตามวัตถุประสงค์

นักวิจัยใน ไอบีเอ็ม (IBM) ได้ทำการพัฒนาหุ่นที่ชื่อว่า Tjbot (Maker Kits, 2016) เป็นหุ่นเพื่อการเรียนการสอนให้ผู้สนใจพัฒนาการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นเบื้องต้น ซึ่งตัวหุ่นสามารถเขียนโปรแกรมพัฒนาไปได้หลายทางเช่น หุ่นควบคุมสภาพอากาศ หุ่นตรวจจับการเคลื่อนไหว ฯลฯ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของเราที่ได้ทำการพัฒนาหุ่นจากกล่องกระดาศ โดยตัวบอร์ดและภาษาที่ใช้ในการพัฒนาหุ่นมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระบบการเรียนการสอนของแต่ละประเทศ และยังมีงานวิจัยที่คล้ายคลึงกันอีกสองงาน โดยงานวิจัยแรกเป็นของ ชาร์ วิลเดเวลล์ และคณะ (Vandeveld, C. et al., 2016) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาหุ่นซึ่งสามารถประกอบด้วยตัวเองเพื่อการศึกษา และเป็นหุ่นราคาถูกที่มีขนาดเล็ก โดยผลที่ได้เป็นที่พึงพอใจต่อผู้ใช้งานและเป็นก้าวแรกในการสร้างหุ่นเพื่อการศึกษาที่มีราคาถูก และงานวิจัยของ เอมี (Eguchi, A., 2014) ได้นำหุ่นเข้ามาช่วยในการศึกษาและการเรียนรู้สำหรับเด็กในด้านการคิดคำนวณการเข้ารหัสและด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของการเรียนรู้ในรูปแบบสเต็ม (STEM Learning) โดยเน้นการบูรณาการวิทยาการหุ่นเพื่อการศึกษาเป็นเครื่องมือการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีสำหรับนักเรียนมัธยม ในประเทศไทยมีการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นโดยผ่านการสื่อสารไร้สาย (Kadthaisong, N. et al., 2016) แต่ในด้านการศึกษาหรือการพัฒนาสื่อการสอนโดยใช้วิทยาการหุ่นเข้ามาบูรณาการเป็นเครื่องมือการเรียนรู้มีงานวิจัยเกิดขึ้นน้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้ถือเป็นงานวิจัยใหม่ที่ทำเกี่ยวกับการเรียนการสอนโดยตรง และยังสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดได้ในอนาคต ในเรื่องของวัสดุที่ใช้ในการสร้างหุ่น สามารถพัฒนาให้มีความคงทนได้ดีกว่ากล่องกระดาศและเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใส่ประกอบเพิ่มเติมได้ เช่น กล้องดวงตาหุ่น ล้อ และแขนจักรกล ฯลฯ ซึ่งทำให้นักเรียนนักศึกษาได้มีความคิดสร้างสรรค์ สามารถเรียนรู้และพัฒนาได้ด้วยตนเอง ตามหลักการเรียนรู้ในยุคไทยแลนด์ 4.0

6. เอกสารอ้างอิง

- Eguchi, A. (2014). **Robotics as a Learning Tool for Educational Transformation**. Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics. Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education.
- Kadthaisong, N. and Pholsayom, N., (2016). Carry a wheel through wireless. **Journal of Intellectual Computer Science Project**. Vol 2. (1).
- Kits, M. (2016). **IBM TJBOT**. [online], Available: <https://ibmtjbot.github.io/#gettj> access on March 27, 2021.
- Krungsri Guru. (2021). **Cities of the future when the system can work for real people**. [online], Available: <https://www.krungsri.com/th/plearn-plearn/robotic-system-in-near-future>. access on March 27, 2021.
- Vandeveld, C., et al. (2016). **Design and Evaluation of a DIY Construction System for Educational Robot Kits**. Int J Technol Des Educ 26. 521–540.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้อง ของท่าออกกำลังกายสควอช

A Computer Vision Application for Appropriateness Verification of Squat Exercise Posture

นนทรัฐ บำรุงเกียรติ^{1*} และพีรญา เต้าทอง²

Nontarat Bumrungrat^{1*} and Pheeraya Taothong²

^{1,2}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ถนนนารายณ์มหาราช

ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000 Email: nontarat.b@lawasri.tru.ac.th

^{1,2}Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University,

Naraimaharat Road, Talaechubsorn, Muang, Lopburi, 15000 Email: nontarat.b@lawasri.tru.ac.th

วันที่รับบทความ 29 พฤษภาคม 2564

Received: May. 29, 2021

วันที่รับแก้ไขบทความ 25 พฤศจิกายน 2564

Revised: Nov. 25, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 8 ธันวาคม 2564

Accepted: Dec. 8, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอนวัตกรรมในรูปแบบของการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชผ่านกล้องวิดีโอ โดยอาศัยหลักการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ นักกีฬา ผู้ฝึกสอน นักกีฬาหรือบุคคลทั่วไป ใช้ประกอบท่าออกกำลังกายสควอชได้อย่างถูกต้อง ไม่ได้รับอันตรายหรือเกิดการบาดเจ็บ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขของการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้อง ร่วมกับการศึกษาถึงหลักการประมวลผลภาพดิจิทัล นำมาออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ทำงานร่วมกับกล้องวิดีโอ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบการแสดงท่าทางการสควอชที่ถูกต้อง ลดอาการบาดเจ็บจากการใช้สายตามนุษย์และสร้างความสนุกสนานในการออกกำลังกายอีกด้วย ผลการออกแบบและสร้างโปรแกรมนี้อาจตรวจสอบความถูกต้องของการออกกำลังกายท่าสควอชจากผู้ทดสอบจำนวน 5 คน ผู้ทดสอบแต่ละคนทำท่าทางสควอชจำนวน 20 ครั้ง เก็บผลการทดลองโปรแกรมแต่ละครั้ง พบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 93 ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแสงในบริเวณที่ทดสอบอย่างกะทันหันหรือจังหวะการทำท่าสควอชไม่เป็นธรรมชาติ เช่น มีการเคลื่อนไหวเร็วหรือช้ากว่าอัตราเฟรมปกติ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญด้านกีฬา นักกีฬาและบุคคลทั่วไปจำนวน 5 ท่าน พบว่าผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมอยู่ในระดับดี มีคะแนนเฉลี่ย 4.06

คำสำคัญ: ออกกำลังกาย, สควอช, คอมพิวเตอร์วิทัศน์, การประมวลผลภาพดิจิทัล

Abstract

This research focused on the innovation of a computer vision program for appropriateness verification of the squat exercise posture using a video camera and the principle of digital image processing. The purpose of this research was to provide gesture checking of the squat position during exercise for athletes' trainers, athletes,

or other individuals in order to promote the correct posture, decrease injuries and allow users to have more comfort and fun when exercising. The result of designing and creating this program, done by 5 testers each performing 20 squats, achieved an accuracy of 93%. The cause of the error may have been a sudden change in lighting conditions in the test area or an unnatural squat rhythm, such as faster or slower than the normal frame rate. The assessment of satisfaction from the sport experts, athletes and normal users found that overall satisfaction with use of the program was good, with an average rating of 4.06/5.

Keywords: Exercise, Squat, Computer Vision, Digital Image Processing

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการรักษาสุขภาพและการออกกำลังกายกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ท่ามกลางสภาพสังคมที่มีความเป็นเมืองมากขึ้น การออกกำลังกายภายในบ้านด้วยตนเองได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องมาจากภาวะการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ที่ไม่สามารถออกกำลังกายกลางแจ้งหรือใช้บริการสถานบริการออกกำลังกายกับคนหมู่มากได้ การออกกำลังกายยุคนี้ จึงมาเน้นที่องค์รวมของร่างกายเพื่อความเป็นอยู่ที่ดี ทั้งนี้นอกจากจะสามารถป้องกันหรือลดอันตรายที่อาจเกิดจากเหตุการณ์ไม่คาดฝัน เช่น การลื่นไถล การเสียการทรงตัว แล้วยังเพื่อการมีบุคลิกที่ดี การมีร่างกายแข็งแรง จะช่วยในการผ่อนคลายความตึงเครียดของอวัยวะและจิตใจ รวมไปถึงการที่สามารถรักษาน้ำหนักตัวที่เหมาะสมอีกด้วย การออกกำลังกายให้เกิดประโยชน์แก่สุขภาพ คือ การจัดลักษณะของความหนัก ความนาน และความบ่อยของการออกกำลังกายให้เหมาะสมกับเพศวัย สภาพร่างกาย สภาพแวดล้อม ดังนั้น ท่าทางการออกกำลังกายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยการออกกำลังกายท่าสควอช (Squat) ถือว่าเป็นท่าหลักที่คนออกกำลังกายทุกคนทำเพื่อเพิ่มความกระชับของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของช่วงล่างของร่างกาย เช่น เอว ต้นขา และน่อง ซึ่งกล้ามเนื้อบริเวณนี้ถือเป็นกลุ่มของกล้ามเนื้อมัดใหญ่ สามารถเผาผลาญพลังงานได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสมต่อการนำไปเป็นวิธีการออกกำลังกายเพื่อการลดน้ำหนัก นอกจากนี้ท่าสควอชยังสามารถปรับบุคลิกภาพและช่วยให้สามารถทำกิจวัตรประจำวันให้ดีขึ้นด้วย แต่หากการแสดงท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชไม่ถูกต้อง ผิดตามหลักการวิทยาศาสตร์การกีฬา อาจส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บแก่ผู้ออกกำลังกายได้ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

เทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing Technology) การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่าง ๆ

ปัจจุบันจึงมีการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัลมาใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการดำเนินชีวิตมากมาย

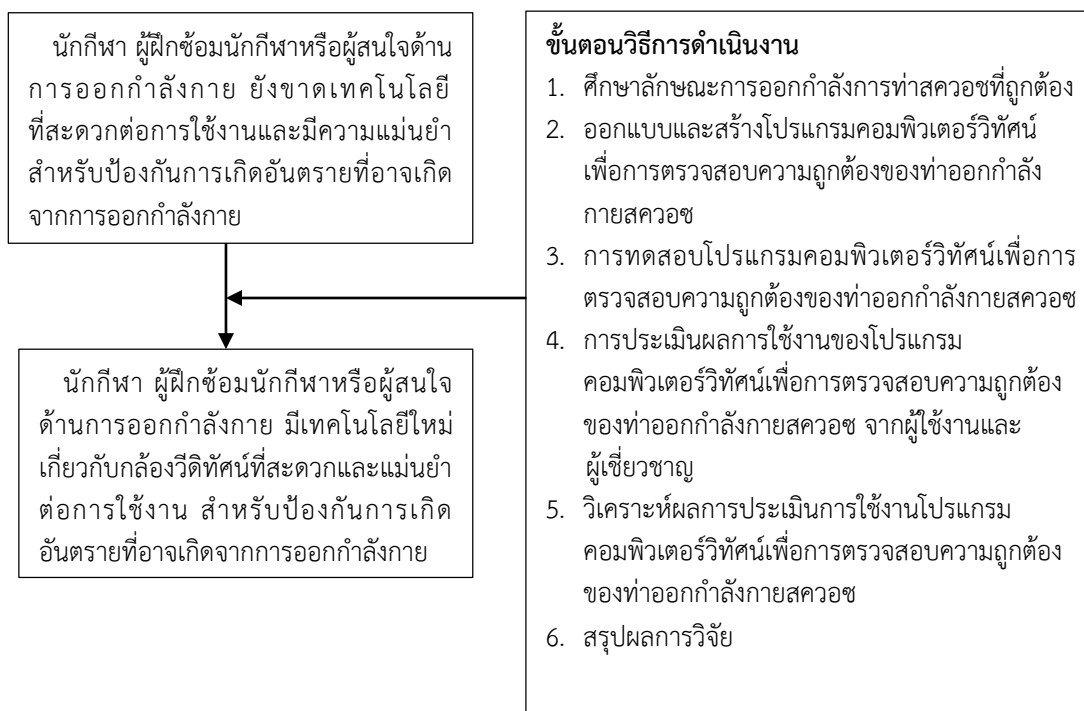
จากปัญหาและการศึกษาข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการศึกษาหลักการในส่วนนี้ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับหลักการประมวลผลภาพดิจิทัลรวมถึงการประมวลผลภาพวีดิทัศน์เพื่อสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชขึ้นในการวิจัยนี้ อาศัยกล้องวีดิทัศน์ในการตรวจสอบแทนที่การตรวจสอบท่าทางการสควอชที่ถูกต้องด้วยสายตาของมนุษย์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อความสะดวกสบายในการฝึกฝนการทำท่าทางการออกกำลังกายสควอชสำหรับการออกกำลังกายที่ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดอาการบาดเจ็บน้อยลงและยังทำให้ผู้ใช้งานเกิดความสนุกสนานกับการออกกำลังกายมากขึ้นด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชโดยอาศัยหลักการประมวลผลภาพดิจิทัล

3. วิธีดำเนินการวิจัย

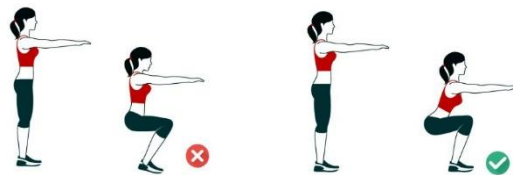
ผู้วิจัยมีขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยตามลำดับตามกรอบแนวคิดการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

3.1 ลักษณะการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้อง

นนท์ อัลภาชน์ ณ ป้อมเพชร (Thairath. online, 2019) ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา กล่าวว่า การสควอช (Squat) ถือว่าเป็นท่าหลักที่คนออกกำลังกายทุกคนทำเพื่อเพิ่มกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของช่วงล่างของร่างกาย เช่น เอว ก้น ต้นขาและน่อง นอกจากนั้นแล้วสควอชยังสามารถช่วยให้สามารถทำกิจกรรมประจำวันได้ดีขึ้นด้วย เช่น เวลาจะนั่งและลุกหรือนั่งลงหยิบของ แม้กระทั่งนั่งส้วมยอง เพราะกิจกรรมเหล่านี้มีท่าทางคล้ายกับการสควอชการเล่นสควอช สำหรับการออกกำลังกายท่าสควอชในแต่ละครั้ง สามารถใช้กล้ามเนื้อได้หลายมัดและยังเป็นท่าที่ปลอดภัยสำหรับคนที่เพิ่งรักษา ผ่าหัวเข่าหรือผู้ที่กำลังกายภาพบำบัด เป็นต้น



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้อง (Siriraj Hospital. online, 2019)

การสควอชนั้นมีการออกกำลังกาย โดยเริ่มจากการยืนตรงวางเท้ากว้างประมาณไหล่ เปิดปลายเท้าออกประมาณ 5 องศา จากนั้นก้มลงโดยดันเอวและก้นไปข้างหลัง โดยพยายามให้หลังและลำตัวตรงให้มากที่สุด และลงลึกเท่าที่ลงได้โดยให้หลังและตัวยังตรงอยู่ เชิดอก เข้าตามปลายเท้า แต่ไม่เลยปลายเท้า ซึ่งหากออกกำลังกายท่าสควอชผิดท่าทางจะเกิดอันตรายต่อเอ็นไขว้หน้าและเอ็นไขว้หลังและถ้าแรงอัดที่เยื่อหุ้มกระดูกจะเป็นอันตรายต่อหมอนรองกระดูก เอ็นไขว้หน้าและเอ็นไขว้หลังด้วย ซึ่งจากภาพที่ 2 (Siriraj Hospital, 2019) นั้นเห็นได้ว่า การออกกำลังกายท่าสควอชที่ผิดท่าทางรูปแบบหนึ่ง คือ การย่อตัวโดยที่หัวเข่าของผู้สควอชนั้นมีลักษณะเกินจากปลายเท้าซึ่งอาจเกิดอันตรายได้ ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้จัดทำจึงนำเอาเงื่อนไขดังกล่าวเป็นเงื่อนไขสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้องเพื่อลดการเกิดอันตรายจากการออกกำลังกายประเภทนี้นั่นเอง

3.2 ขอบเขตของการใช้งานโปรแกรม

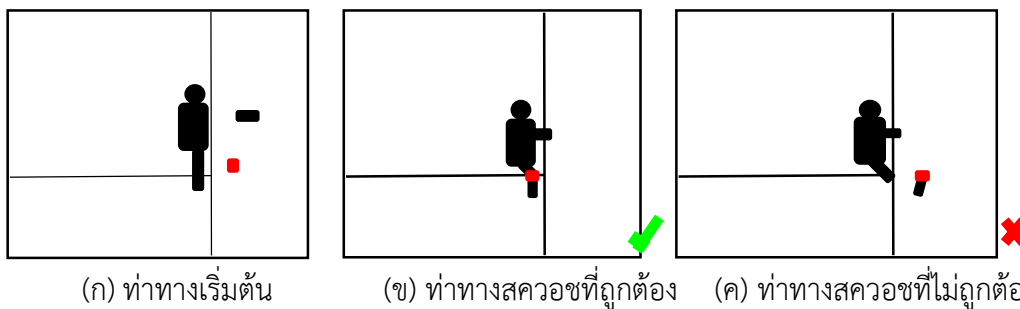
1) โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ อาศัยโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นซอฟต์แวร์ที่ไม่มีลิขสิทธิ์

2) การใช้งานโปรแกรมนี้นี้ต้องถูกติดตั้งในสถานะแสงที่เหมาะสม นั่นคือ สามารถใช้งานโปรแกรมในบริเวณที่กล้องวิดีโอสามารถแยกแยะสีต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน ผู้ออกกำลังกายท่าสควอชสวมใส่ผ้าพันหัวเข่าสีแดงก่อนการใช้งาน ยิน ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ซึ่งจะปรากฏตำแหน่งยีนนี้ในกล้องวิดีโอ

3) รูปแบบลักษณะของท่าสควอชที่ถูกต้องอยู่ในลักษณะที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น โดยอ้างอิงจากข้อมูลออนไลน์ (Siriraj Hospital, 2019)

4) โปรแกรมจะแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอช ซึ่งจากภาพที่ 3 แสดงถึงเงื่อนไขการใช้งานโปรแกรมฯ ที่นำเสนอสำหรับท่าทางสควอชรูปแบบต่าง ๆ

โดยการใช้งานเริ่มต้น ด้วยการกำหนดให้ผู้ใช้งานยืน ณ ตำแหน่งที่กำหนดขึ้น ภาพที่ 3 (ก) เมื่อเริ่มออกกำลังกายท่าทางสควอช โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชจะตรวจสอบการท่าทางที่ถูกต้องก่อนการตรวจสอบ หากท่าทางของการสควอชถูกต้อง แสดงดังภาพที่ 3 (ข) โปรแกรมฯ จึงแสดงผลความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอช แต่หากท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชไม่ถูกต้อง แสดงดังภาพที่ 3 (ค) โปรแกรมฯ จะแสดงผลความไม่ถูกต้องผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์



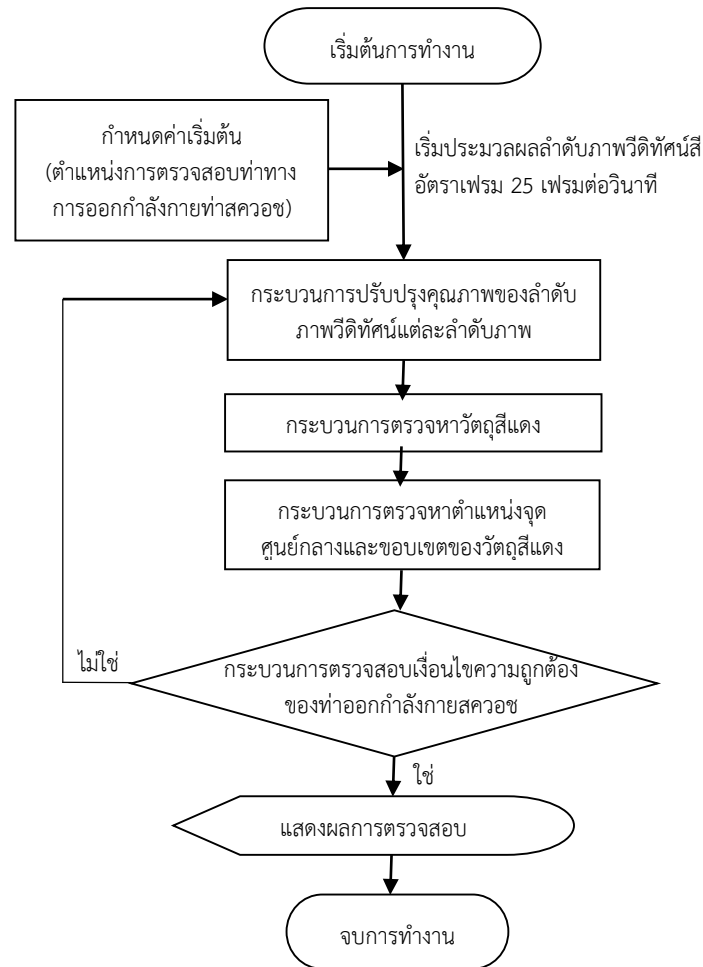
ภาพที่ 3 ลักษณะการตรวจสอบเงื่อนไขที่ถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอช

3.3 ขั้นตอนวิธีการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

ขั้นตอนวิธีการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชนี้ อาศัยหลักการพื้นฐานทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ร่วมกับการประมวลผลภาพดิจิทัลและการประมวลผลภาพวิทัศน์ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมนั้น มีลำดับการทำงานแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งอธิบายรายละเอียดแต่ละขั้นตอนได้ ดังนี้

1) เริ่มต้นการทำงาน เปิดกล้องรับภาพเข้าจากกล้องวิทัศน์ที่มีความละเอียด (Resolution) 640 x 480 จุดภาพ (Pixels)

2) กำหนดค่าเริ่มต้นตำแหน่งของการตรวจความถูกต้องท่าออกกำลังกายสควอช โดยผู้ที่ต้องการใช้งานสามารถกำหนดตำแหน่งเส้นตรงแนวตั้ง (Vertical Line) เส้นตรงแนวนอน (Horizontal Line) และเส้นตรงตำแหน่งจุดยืน (Standing Line) ได้ก่อนการประมวลผล หากผู้ใช้งานกำหนดทั้งสามตำแหน่งดังกล่าวไว้แล้วโปรแกรมจะสามารถดำเนินการตามสถานการณ์ที่ผู้กำหนดได้ตามต้องการได้อย่างอัตโนมัติ แสดงตัวแปรต่าง ๆ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 แผนภาพขั้นตอนวิธีขั้นตอนวิธีการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์
เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายท่าสควอช

3) กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิทัล เป็นขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น (Pre-Processing) เพื่อให้ลำดับภาพวิดีโอรับเข้าแต่ละลำดับภาพเหมาะสมสำหรับนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อ ๆ ไป ซึ่งขั้นตอนวิธีการกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิทัลประกอบด้วย

(1) การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลช่องสัญญาณภาพสีแดง

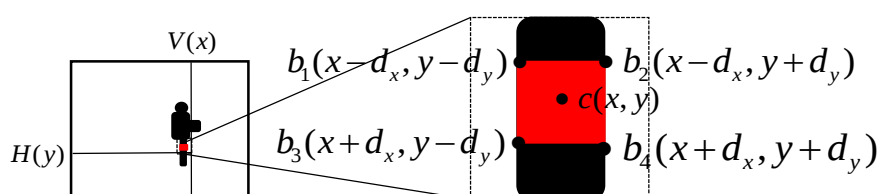
(2) การแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพระดับขาวดำ

(3) การปรับเรียบภาพดิจิทัลด้วยตัวกรอง (Filter)

(4) การกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีขนาดเล็ก

4) กระบวนการตรวจหาวัตถุสีแดง (Red Object Detection) เป็นขั้นตอนวิธีในการตรวจหาตำแหน่งวัตถุสีแดง (วัตถุสีแดง คือ ผ้าพันหัวเข่าสีแดงที่เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น)

5) กระบวนการตรวจหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางและขอบวัตถุสีแดง เป็นขั้นตอนตรวจหา และการจัดเก็บตัวแปรในรูปแบบของพิกัดจุดภาพกึ่งกลางของวัตถุสีแดง $c(x,y)$ และขอบเขตของ วัตถุสีแดงที่ปรากฏในลำดับภาพวิดีโอที่บันทึกทั้ง 4 จุด ได้แก่ $b_n(x \pm d_x, y \pm d_y)$ เมื่อ b_n คือ จุดภาพที่ แสดงถึงขอบเขตของวัตถุสีแดงทั้งสี่จุด โดย b_1 ถึง b_4 คือ จุดพิกัดบนซ้าย จุดพิกัดบนขวา จุดพิกัด ล่างซ้ายและจุดพิกัดล่างขวา ตามลำดับ ระยะ d_x คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางกับขอบเขต ตามแนวแกน x และระยะ d_y คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางกับขอบเขตตามแนวแกน y เนื่องจากการตัดสินใจเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชนั้น จะอาศัยตัวแปรสามตัว ได้แก่ $c(x,y)$, b_2 และ b_4



ภาพที่ 5 ตำแหน่งจุดกึ่งกลางและบริเวณขอบของวัตถุสีแดงที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ของท่าออกกำลังกายสควอช

6) กระบวนการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกาย สควอช เป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการตัดสินใจว่าลักษณะการออกกำลังกายท่าสควอชแต่ละครั้งนั้น มีความถูกต้องตรงกับที่ผู้วิจัยออกแบบไว้หรือไม่ กำหนดสมการเงื่อนไขสำหรับการตัดสินใจนี้ ดังสมการที่ 1

$$Check = \begin{cases} 1, & (b_2(x,y) \text{ and } b_4(x,y)) < V(x) \text{ and } c(x,y) = H(y) \\ 0, & (b_2(x,y) \text{ and } b_4(x,y)) \geq V(x) \text{ and } c(x,y) \neq H(y) \end{cases} \quad (1)$$

โดยที่ ตัวแปร $Check$ คือ ตัวแปรแสดงผลที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้อง ของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้องตรงตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนด ตัวอย่างเช่น ซึ่งหากค่าของตัวแปร $Check$ เท่ากับหนึ่ง หมายความว่า ขอบของวัตถุสีแดง ได้แก่ จุด b_2 และ b_4 มีค่าน้อยกว่าตำแหน่งเส้นตรงแนวตั้ง $V(x)$ และจุดกึ่งกลางของวัตถุ ได้แก่ จุด $c(x,y)$ มีค่าเท่ากับ ตำแหน่งเส้นตรงแนวนอน $H(y)$ (ตำแหน่งตัวแปร $V(x)$ และ $H(y)$ แสดงดังภาพที่ 5) แสดงว่า ท่าออกกำลังกายสควอชนั้นถูกต้องตรงตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนด แต่ถ้าไม่ถูกต้องตามเงื่อนไข ที่กำหนด ค่าของตัวแปร $Check$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์

3.4 การประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความ ถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชด้วย Confusion Matrix สำหรับการวัดประสิทธิภาพ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

คณะผู้วิจัยอาศัยการพิจารณาจากการตรวจจับวัตถุอ้างอิง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชเป็นสำคัญ โดยอาศัยหลักการการวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีหรือแบบจำลองด้วยการใช้ Confusion Matrix แสดงตัวแปร สัญลักษณ์และการคำนวณต่าง ๆ ของการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีสำหรับการตรวจจับวัตถุอ้างอิงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรการ สัญลักษณ์ และการคำนวณสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีสำหรับการตรวจจับวัตถุอ้างอิงของโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

ตัวแปร	สัญลักษณ์	การคำนวณ
True Positive	TP	-
False Positive	FP	-
True Negative	TN	-
False Negative	FN	-
Accuracy	Acc	$\frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN}$
Precision	Pre	$\frac{TP}{TP+FP}$
Recall	Rec	$\frac{TP}{TP+FN}$
F1-Score	F1	$2 \times \left(\frac{Pre \times Rec}{Pre+Rec} \right)$

การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีสำหรับการตรวจจับวัตถุอ้างอิงของโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชของงานวิจัยนี้อาศัยตัวแปร 4 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความถูกต้องรวม (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) และค่า F1-Score เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแม่นยำและค่าความถูกต้อง โดยทั้ง 4 ตัวแปรนี้ พิจารณาการคำนวณจากค่าต่าง ๆ นั่นคือ ค่า True Positive (TP) คือ ร้อยละของจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงที่โปรแกรมตรวจจับได้ตรงกับจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงจริง True Negative (TN) คือ ร้อยละของจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงที่โปรแกรมตรวจจับไม่ได้และไม่ตรงกับจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงจริง False Positive (FP) คือ ร้อยละของจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงที่โปรแกรมตรวจจับได้แต่ไม่ตรงกับจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงจริง และ False Negative (FN) คือ ร้อยละของจุดภาพที่ไม่ใช่บริเวณวัตถุอ้างอิงที่โปรแกรมตรวจจับแต่ตรงกับจุดภาพบริเวณวัตถุอ้างอิงจริง

3.5 การประเมินผลการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

1) ขั้นตอนการสร้างแบบประเมิน

(1) ศึกษาเอกสารแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดขอบเขตของการสร้างแบบประเมินให้ครอบคลุมความมุ่งหมายของงานวิจัย

(2) ศึกษาและปรับปรุงแบบประเมินจากงานวิจัยหนึ่ง (Charoenngan, T., 2011) เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

2) แบบประเมินที่ใช้ในงานวิจัย

แบบประเมินโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชแบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามโดยลักษณะข้อคำถามเป็นแบบเลือกตอบ

ตอนที่ 2 แบบประเมินโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช มาตราส่วนประมาณค่ามี 5 ระดับดังนี้ การตรวจให้คะแนนเป็นรายข้อตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้

มีระดับความพึงพอใจดีมาก	5 คะแนน
มีระดับความพึงพอใจดี	4 คะแนน
มีระดับความพึงพอใจปานกลาง	3 คะแนน
มีระดับความพึงพอใจน้อย	2 คะแนน
มีระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด	1 คะแนน

เกณฑ์เฉลี่ยระดับผลการประเมินโดยกำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.50 - 5.00	หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับดีมาก
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.50 - 4.49	หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับดี
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.50 - 3.49	หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.50 - 2.49	หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 - 1.49	หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ตอนที่ 3 แสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเป็นแบบปลายเปิด

3) การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากผู้ประเมินจำนวน 5 ท่าน โดยประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน นักกีฬา 1 ท่าน และคนทั่วไป 1 ท่าน โดยแบบประเมินที่สร้างขึ้นนี้ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแล้วจำนวน 3 ท่าน

4) การใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูล

การใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้สถิติโดยพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และความหมายของข้อมูลดังนี้

จากการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบประเมินแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) หรือใช้ค่าสัญลักษณ์ $\bar{X}$ โดยใช้ดั่งสมการที่ 2 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้ดั่งสมการที่ 3 (Srisard. B., 2002)

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N} \quad (2)$$

โดยที่

 $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย Σx คือ ผลรวมข้อมูลทั้งหมด N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$S.D = \frac{\sqrt{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}}{n(n-1)} \quad (3)$$

โดยที่

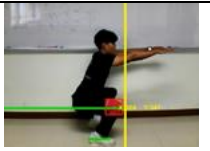
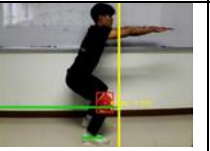
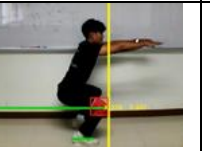
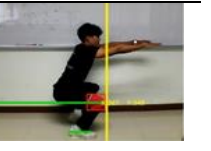
 x คือ คะแนนแต่ละตัว n คือ จำนวนคะแนนในกลุ่ม Σx คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

4. ผลการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

4.1 ผลการทดสอบขั้นตอนวิธีการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชด้วยการกำหนดให้ผู้ทดสอบจำนวน 5 คน แต่ละคนทำท่าทางออกกำลังกายสควอชจำนวน 20 ครั้ง และตรวจสอบความถูกต้องของการทำท่าทางออกกำลังกายสควอชด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชที่สร้างขึ้น พบว่า โปรแกรมสามารถตรวจหาข้อผิดพลาดและตรวจสอบความถูกต้องของการทำท่าทางสควอชที่ตรงตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนดได้โดยมีความถูกต้องร้อยละ 93 ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแสงในบริเวณที่ทดสอบอย่างกะทันหัน หรือจังหวะการทำท่าสควอชไม่เป็นธรรมชาติ มีความเร็วหรือช้ากว่าอัตราเฟรมปกติ แสดงตัวอย่างตัวอย่างผลการทดสอบและร้อยละของความถูกต้องดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
				
ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

ครั้งที่	ผู้ทดสอบคนที่ 1	ผู้ทดสอบคนที่ 2	ผู้ทดสอบคนที่ 3	ผู้ทดสอบคนที่ 4	ผู้ทดสอบคนที่ 5
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	x	✓
8	✓	✓	✓	✓	x
9	✓	x	✓	✓	✓
10	x	x	x	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✓	✓
15	✓	x	x	✓	✓
16	✓	✓	✓	✓	✓
17	✓	✓	✓	✓	✓
18	✓	✓	✓	✓	✓
19	✓	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓	✓
เฉลี่ย	95%	85%	95%	95%	95%
ค่าเฉลี่ยความถูกต้องรวม	93%				

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชด้วย Confusion Matrix

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช ในส่วนการประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชนั้น กำหนดภาพที่ใช้ในการประเมินจำนวน 100 ภาพแบบสุ่ม จากการทดสอบจำนวน 5 คน แต่ละคนทำท่าทางออกกำลังกายสควอชจำนวน 20 ครั้ง ทำการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ของ Confusion Matrix แสดงผลการคำนวณได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชด้วย Confusion Matrix

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ
True Positive	TP	0.92	92
False Positive	FP	0.14	84
True Negative	TN	0.88	8
False Negative	FN	0.16	16
Accuracy	Acc	$\frac{0.92+0.88}{0.92+0.14+0.88+0.16} = \frac{1.80}{2.10} = 0.857$	85.7
Precision	Pre	$\frac{0.92}{0.92+0.14} = \frac{0.92}{1.06} = 0.868$	86.8
Recall	Rec	$\frac{0.92}{0.92+0.16} = \frac{0.92}{1.08} = 0.851$	85.1
F1-Score	F1	$2 \times \left(\frac{0.868 \times 0.851}{0.868+0.851} \right) = 2 \times \left(\frac{0.739}{1.719} \right) = 0.859$	85.9

4.3 ผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชจากผู้เชี่ยวชาญ นักกีฬา และคนทั่วไป จำนวน 5 ท่าน จำแนกตามค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 5 – 6

ตารางที่ 5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับความพึงพอใจต่อการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
ด้านการใช้งานทั่วไป	4.80	1.50	ดีมาก
ด้านความถูกต้องและการประมวลผล	4.60	0.50	ดีมาก
ด้านการออกแบบ	4.80	1.50	ดีมาก
ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ยโดยรวม	4.80	0.87	ดีมาก

จากตารางที่ 5 พบว่าผู้ทดลองใช้งานมีความเห็นเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช เฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 สำหรับการพิจารณารายข้อ ปรากฏว่ามีคะแนนอยู่ระหว่าง 4.60 – 5.00 ซึ่งสามารถเรียงค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้

ลำดับที่ 1 ด้านการออกแบบ ($\bar{X} = 5.00$)

ลำดับที่ 2 ด้านความถูกต้องและการประมวลผล ($\bar{X} = 4.80$)

และด้านการใช้งานทั่วไป ($\bar{X} = 4.80$)

ลำดับที่ 3 ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ ($\bar{X} = 4.60$)

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช โดยแบ่งเป็น 4 ด้าน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
1. ด้านการใช้งานทั่วไป			
การเข้าสู่ระบบเพื่อเริ่มต้นทำงานมีความสะดวกในการใช้งาน	4.00	0.90	ดี
ความรวดเร็วในการแสดงผลข้อมูล	4.20	1.50	ดี
โปรแกรมฯ ช่วยให้การงานรวดเร็วขึ้น	4.80	1.50	ดีมาก
รวม	4.33	1.31	ดี
2. ด้านความถูกต้องและการประมวลผล			
ความถูกต้องของการเพิ่ม/ลด/แก้ไขข้อมูล	4.40	0.94	ดี
ความถูกต้องในการแสดงผลข้อมูลจากการสืบค้น	4.60	0.50	ดีมาก

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช โดยแบ่งเป็น 4 ด้าน (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
ภาษาที่ใช้ในโปรแกรมเป็นทางการ ตรงประเด็น และสื่อความหมายชัดเจน	4.80	1.50	ดีมาก
รวม	4.60	0.98	ดีมาก
3. ด้านการออกแบบ			
การจัดวางตำแหน่งของข้อความ รูปภาพ และเมนูง่ายต่อการทำความเข้าใจ	3.80	0.94	ดี
ความสวยงาม และความน่าสนใจ	3.20	0.47	ดี
ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่าย	3.60	0.50	ดี
รวม	3.53	0.63	ดี
4. ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ			
การจัดการรักษาความปลอดภัย และกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลผู้ใช้งาน	3.80	1.50	ดี
การตรวจสอบสิทธิ์ในการใช้งานโดยใช้ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านเหมาะสม	3.80	0.47	ดี
รวม	3.80	0.98	ดี
เฉลี่ยโดยรวม	4.06	0.97	ดี

จากตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช พบว่าผู้เชี่ยวชาญ นักกีฬา และคนทั่วไปจำนวน 5 ท่าน มีความพึงพอใจโดยเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.06 ซึ่งค่าเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ ด้านความถูกต้องและการประมวลผล $\bar{X} = 4.80$ รองลงมา คือ ด้านการใช้งานทั่วไป $\bar{X} = 4.60$ ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ $\bar{X} = 3.80$ และด้านการออกแบบ $\bar{X} = 3.53$ ตามลำดับ

5. สรุปและอภิปรายผล

โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอชที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้างขึ้นนี้ ถูกกำหนดให้ใช้งานติดตั้งในสถานะแสงที่เหมาะสม ผู้ทดสอบสวมใส่ผ้าพันหัวเข้าสีแดงก่อนการใช้งานและยืน ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งจะปรากฏตำแหน่งในกล้องวิทัศน์ โดยรูปแบบลักษณะของท่าสควอชที่ถูกต้อง ต้องอยู่ในลักษณะที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น และแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากผลการทดลองได้ทำการทดสอบโปรแกรมฯ จำนวนผู้ทดสอบจำนวน 5 คน คนละ 20 ครั้ง พบว่า โปรแกรมฯ สามารถตรวจหาและติดตามวัตถุสีแดงและสามารถแสดงผลความถูกต้องของท่าทางการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้องตรงตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนด โดยมีร้อยละความถูกต้องร้อยละ 93 ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลง

ของสภาวะแสงในบริเวณที่ทดสอบอย่างกะทันหันหรือจังหวะการทำงานที่สวอชไม่เป็นธรรมชาติ เช่น มีการเคลื่อนที่เร็วหรือช้ากว่าอัตราเฟรมที่กำหนด

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ นักกีฬา และคนทั่วไป จำนวน 5 ท่าน ผลการวิจัยพบว่ามีความพึงพอใจในการทดลองใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสวอชอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.80$ และความพึงพอใจต่อการออกแบบและสร้างโปรแกรมฯ โดยแบ่งเป็น 4 ด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.06 อยู่ในระดับดี หรือเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ด้านความถูกต้องและการประมวลผล $\bar{X} = 4.80$ รองลงมา คือ ด้านการใช้งานทั่วไป $\bar{X} = 4.60$ ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ $\bar{X} = 3.80$ และด้านการออกแบบ $\bar{X} = 3.53$ ตามลำดับ

งานวิจัยของคณะผู้วิจัยที่ผ่านมาจะอาศัยหลักการประมวลผลภาพดิจิทัลและการประมวลผลภาพดิจิทัล มาออกแบบและสร้างโปรแกรมให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ประโยชน์ทางการกีฬา ผู้สูงอายุและผู้พิการ รวมถึงด้านระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ซึ่งพบว่า การวิจัยในลักษณะนี้ สิ่งที่ทำทลายคือการแก้ไขปัญหาทางด้านปัจจัยทางแสงสว่าง ซึ่งมักก่อให้เกิดความผิดพลาดในการวิจัยลักษณะนี้เป็นอย่างมาก ซึ่งในอนาคตนั้นอาจนำการเทคนิคตรวจจับสีผิว หรือการตรวจจับโครงสร้างการเปลี่ยนแปลงของขาและข้อต่อของมนุษย์ แทนการใช้วัตถุอ้างอิงหรือมาร์คเกอร์ที่ผู้วิจัยใช้ แต่ข้อเสียอาจจากผลกระทบทางแสงสว่างอาจทำให้การตรวจสอบท่าออกกำลังกายสวอชนั้นผิดพลาดรุนแรงมากกว่าการใช้วัตถุอ้างอิงหรือมาร์คเกอร์ก็เป็นได้ และสามารถเพิ่มเติมการแจ้งเตือนทางเสียงหากผู้ใช้งานแสดงท่าออกกำลังกายสวอชที่ผิด

6. เอกสารอ้างอิง

- Charoenngan, T. (2011). **Factors affecting health officers' satisfaction toward the use of java health center information system (JHCIS) of health promotiong tambon hospital and primary care unit: a case study of Phangaga**. Master's Thesis, Information Systems Major, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai).
- Gong Cheng Junwei Han. (2016). **A survey on object detection in optical remote sensing images**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 117. July 2016. pp. 11-28.
- Kai Kang, et al. (2016). **Object detection from video tubelets with convolutional neural networks**. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). pp. 817-825.
- Paulo Rodrigo Cavalin. (2018). **Confusion matrix-based building of hierarchical classification**, The 23rd Iberoamerican Congress (CIAR2018). Spain. 19-22 November 2018. pp. 271-278.

Siriraj Hospital. (2019). **How to squash properly.** [online], Available:

<http://www.siphhospital.com/th/news/article/share/866/Squat>. Access on October 1, 2019. (in Thai).

Srisa-ard, B. (2002). **Statistical methods for research.** 3rd ed., Bangkok: Suwiriyasan. (in Thai).

Thairath Online. (2019). **How to do the best squash exercises in the right way.**

[online], Available: <https://www.thairath.co.th/lifestyle/woman/502379>.

Access on October 1, 2019. (in Thai).

การประเมินประสิทธิภาพพลังงาน และแนวทางการปรับปรุงอาคาร
พลังงานสุทธิเป็นศูนย์: กรณีศึกษา อาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Energy Efficiency Assessment and Net Zero Energy Building
Improvement Guidelines: A Case Study at the Lifelong Learning
Institute Building, Chiang Rai Rajabhat University

นเรศ ไญ้วงศ์^{1*} และจรรย์ คนแรง²

Naret Yaiwong^{1*} and Jarun Khonrang²

^{1,2}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80 ม.9 ต.บ้านคู อ.เมือง จ.เชียงราย 57100

โทร 0 5377 6015 E-mail: narat.yai@crru.ac.th

^{1,2}Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University.

80 Moo 9 Bandu Muang Chaing Rai. 57000 Tel. 0 5377 6015 E-mail: narat.yai@crru.ac.th

วันที่รับบทความ 19 กรกฎาคม 2564
Received: Jul. 19, 2021

วันที่รับแก้ไขบทความ 21 ตุลาคม 2564
Revised: Oct. 21, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 8 ธันวาคม 2564
Accepted: Dec. 8, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยสำรวจเก็บข้อมูลโครงสร้างอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code) การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงอาคารให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ผลการประเมิน พบว่า ระบบรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) มีค่าเท่ากับ 77.60 W/m² และ 12.94 W/m² ตามลำดับ ซึ่งค่า OTTV ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ข้อมูลของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และการใช้พลังงานรวม เท่ากับ 3.79 W/m², 3.22, 189,804.02 kWh/year ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

จากการศึกษาแนวทางแก้ไขประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร โดยกำหนด 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การเพิ่มประสิทธิภาพของกรอบอาคาร โดยการเพิ่มฉนวนที่ผนัง และเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกประหยัดพลังงาน พบว่า ผลประเมินระบบรอบอาคารค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และแนวทางที่ 2 การเลือกใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาด 12 kWp ซึ่งเพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร ทำให้การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ สามารถเป็นต้นแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่มหาวิทยาลัยสีเขียว

คำสำคัญ: การประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร, อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

Abstract

This research focused on an assessment of the energy efficiency at the Lifelong Learning Institute Building at Chiang Rai Rajabhat University. The building structure, lighting system, air conditioning system, and electrical equipment were investigated and analyzed according to the Building Energy Code (BEC). They were then analyzed in preparation for potential building improvement to create a net zero energy building. The evaluation result of the building envelope system found that the overall thermal transfer value (OTTV) and roof thermal transfer value (RTTV) were 77.60 W/m^2 and 12.94 W/m^2 respectively, with only the RTTV value meeting the standard. The data relating to the lighting system, air conditioning system and total energy consumption were 3.79 W/m^2 , 3.22 and $189,804.02 \text{ kWh/year}$ respectively, all meeting the standards as required in the building energy code.

This research also investigated energy efficiency building solutions according to 2 guidelines. Guideline 1 related to efficiency increasing of the building envelope by adding wall insulations and replacing the glass with energy saving glass. It was found that the OTTV value met the standard. Guideline 2 related to the selection of renewable energy technology using a 12 kWp solar rooftop installation. The result found that the electrical energy was sufficient for this building giving net zero energy. This can serve as a model for net zero energy buildings at Chiang Rai Rajabhat University and green university preparation.

Keywords: Energy Efficiency Assessment, Net Zero Energy Building

1. บทนำ

จากปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน จึงเป็นสาเหตุที่ต้องมีการอนุรักษ์พลังงานในประเทศไทย ทำให้เกิดนโยบายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน และการใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะเกณฑ์ในอาคารทำให้กระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ออกกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ วิธีในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 (Coordinating center for energy conservation building design, 2019) ซึ่งมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะขออนุญาตสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารให้มีการออกแบบเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย ซึ่งการดำเนินงานจะต้องมีการเตรียมความพร้อมเพื่อให้เกิดความเข้าใจ ได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งแผนอนุรักษ์พลังงานระยะ 20 ปี (พ.ศ.2554 - พ.ศ.2573) ได้กำหนดนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว เป้าหมายยกระดับศักยภาพพลังงานของอาคารภาครัฐและเอกชนให้สูงขึ้น โดยประเมินจากเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน จากเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานขั้นต่ำที่บังคับใช้ในปัจจุบัน ให้เป็นเกณฑ์การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ.2573 เริ่มจากการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของหน่วยงานภาครัฐและสนับสนุนให้อาคารของหน่วยงาน

ภาครัฐแสดงบทบาทการเป็นผู้นำและเป็นแบบอย่างที่ดีแก่หน่วยงานและอาคารประเภทอื่น ๆ และส่งเสริมให้มีการออกแบบอาคารต้นแบบอาคารราชการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเผยแพร่ให้แก่หน่วยงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง ถือเป็นการวางรากฐานเพื่อปรับระดับประสิทธิภาพพลังงานสู่อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคต

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้ส่งเสริมให้ทุนสนับสนุนโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร และโครงการพลังงานทดแทนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Srisukpornchai, N., et al. 2020) โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองเพื่อคำนวณกำลังผลิตไฟฟ้า และพื้นที่การติดตั้งแผง (Pholnak, C, et al., 2017) เพื่อส่งเสริมแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Poophet, M. and Khunthong J., 2016) และการส่งเสริมแนวทางการปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในอาคารสำนักงานราชการ (Tanrattanawong, S. and Chindavanig, T., 2019) และสำนักงานภาครัฐ (Anusakdakul, W., 2016) เพื่อเตรียมความพร้อมในการขอเงินรับทุน ทางมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จึงได้ทำการศึกษาออกแบบอาคารให้มีใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเป็นศูนย์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จะทำการประเมินการใช้พลังงานของอาคาร โดยโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code) และเพื่อใช้เป็นแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) อ้างอิงตามมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานจากกระทรวงพลังงาน โดยทำการเลือกอาคารอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิตเป็นอาคารต้นแบบ ซึ่งอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต อาคารประเภทสถานศึกษา เปิดทำการเวลา 8.30 – 16.30 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ มีอายุการใช้งานไม่ต่ำกว่า 20 ปี จะต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพอาคารลักษณะของผนังอาคาร หลังคาของอาคารรับแสงแดดตลอดเวลา เหมาะสมกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งในช่วงตอนกลางวันได้ เพื่อพัฒนาโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียว

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต
- 2.2 เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

1. ด้านเนื้อหา

- 1) สำรวจและเก็บข้อมูลจริงข้อมูลโครงสร้างอาคาร กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้า แสงสว่างระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร
- 2) ประเมินการใช้พลังงานของอาคารตามกฎหมายกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ วิธีในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 โดยใช้โปรแกรม Building Energy Code
- 3) หาแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

2. กลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลโครงสร้างอาคาร กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต

3. ด้านเวลา

มกราคม 2563 – ธันวาคม 2563

4. ด้านสถานที่

อาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

อาคารที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกอาคารตัวอย่างที่จะศึกษา โดยคัดเลือกจากอาคารสำนักงานที่มีการใช้งานประจำ และอาคารต้นแบบในการพัฒนาตามนโยบายของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย



ภาพที่ 1 แสดงอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

อาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มีพื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด 1,297.78 ตารางเมตร พื้นที่ไม่ปรับอากาศทั้งหมด 178.33 ตารางเมตร และมีพื้นที่รวมทั้งหมด 1,476.11 ตารางเมตร โดยโครงสร้างอาคารจะรับความร้อนในช่วงบ่ายทางทิศตะวันตก และทิศใต้ของดวงอาทิตย์ ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น และมีโครงสร้างหลังคาของอาคารหันไปทางทิศใต้ ซึ่งเหมาะสมในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพอาคาร BEC V 1.06 (Building Energy Code) และนำผลการจำลองที่ได้มาเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงอาคาร เพื่อให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสู่การใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลในการดำเนินวิจัย ดังนี้

- 1) แบบสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร ประกอบด้วยข้อมูลโครงสร้างอาคาร กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร
- 2) เครื่องมือตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคาร ผ่านการสอบเทียบตามค่ามาตรฐาน ประกอบด้วยดังนี้

ตารางที่ 2 รายการเครื่องมือ ช่วงการทำงาน ความแม่นยำ และความละเอียด

รายการเครื่องมือ	ช่วงการทำงาน	ความแม่นยำ	ความละเอียด
Clamp Meter (HIOKI)	600 A	$\pm 2\%$	0.10 A
Power Clamp Meter (DIGICON)	600.0 kW	$\pm 2\%$	0.10 W
	600.0 V	$\pm 0.5\%$	0.10 V
	1000 A	$\pm 1\%$	1.0 A
Hot Wire Anemometer (DIGICON)	0.2 to 0.5 m/s	$\pm 3\%$	0.01 m/s
Thermometer (DIGICON)	-50.0 – 1,300.0 C	$\pm 4\%$	0.1 C
Light Meters (Kepler)	20,000 Lux	$\pm 3\%$	0.01 Lux
Tape Measure (Proma)	30 m	-	0.01 m

3) โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code) เป็นเกณฑ์การมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร โดยกระทรวงพลังงานได้ออกกฎกระทรวงกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ซึ่งมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคาร โดยจะตรวจสอบการใช้พลังงานตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบว่าเป็นไปตามกฎหมายหรือไม่ แล้วจึงอนุญาตให้ก่อสร้างหรือดัดแปลงได้ โดยต้องออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวง 6 ระบบหลัก ดังนี้ 1) ระบบกรอบอาคาร 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 3) ระบบปรับอากาศ 4) อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน 5) การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และ 6) การใช้พลังงานหมุนเวียน

3.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1. สำรวจเก็บข้อมูลโครงสร้างอาคาร กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต แสดงข้อมูลได้ดังนี้

1) ข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พบว่า หลอดไฟในพื้นที่ปรับอากาศมีทั้งหมดมีหลอดไฟ 298 หลอด มีขนาด 20 W จำนวน 4 หลอด ขนาด 16 W จำนวน 119 หลอด ขนาด 15 W จำนวน 142 หลอด ขนาด 10 W จำนวน 20 หลอด และขนาด 9 W จำนวน 13 หลอด และพื้นที่ไม่ปรับอากาศสว่างทั้งหมดมีหลอดไฟ 86 หลอด มีขนาด 20 W จำนวน 6 หลอด ขนาด 16 W จำนวน 5 หลอด ขนาด 15 W จำนวน 43 หลอด และขนาด 10 W จำนวน 32 หลอด รวมเป็นจำนวนหลอดไฟทั้งหมด 384 หลอด

2) ข้อมูลระบบเครื่องปรับอากาศ ทั้งหมดจำนวน 33 เครื่อง มีขนาดทำความเย็นสูงสุด 17.60 kW และมีขนาดทำความเย็นน้อยที่สุด 2.50 kW

3) ข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าสำนักงาน ทั้งหมด 78 เครื่อง มีการใช้พลังงานไฟทั้งหมด เท่ากับ 38.70 kW

2. นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงในปี 2563 มาทำการประเมินประสิทธิภาพ พลังงานโดยโปรแกรม Building Energy Code

3. การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (ก่อนปรับปรุงอาคาร) ตามข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน

4. หาแนวทางการลดการใช้พลังงาน และการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

$$\text{Net Energy} = \sum \text{Energy Consumption} - \sum \text{Energy Generation} = 0 \quad (1)$$

5. ทำการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (หลังปรับปรุงอาคาร) และวิเคราะห์ ข้อมูลผลการประเมินหลังการปรับปรุงอาคารตามข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้จะทำการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารสถาบันการเรียนรู้ ตลอดชีวิต โดยโปรแกรม Building Energy Code และวิเคราะห์ผลการประเมินตามข้อกำหนดเกณฑ์ มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน หลังจากนั้นหาแนวการปรับปรุงอาคารให้ผ่านข้อกำหนดเกณฑ์ มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน และหาแนวทางการลดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคาร สถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยคัดเลือกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่มีการส่งเสริมการใช้งาน ในปัจจุบัน

4. ผลการวิจัย

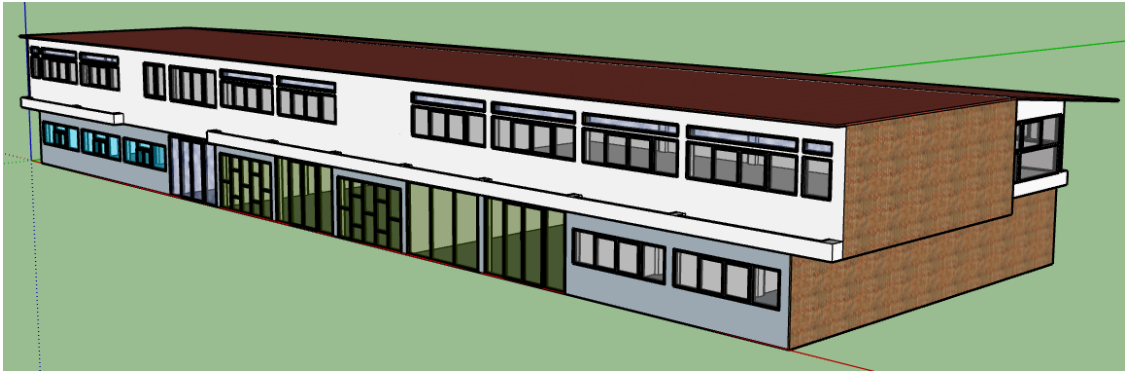
4.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต

จากศึกษาการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยทำการเก็บข้อมูลจริงของโครงสร้างอาคาร กรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด และนำข้อมูลที่ได้กรอกข้อมูลลงในโปรแกรม Building Energy Code

ตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (ก่อนปรับปรุง)

รายการ	ผลการศึกษา	เกณฑ์มาตรฐาน	ผลการประเมิน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก อาคาร (OTTV) (W/m ²)	77.60	50	ไม่ผ่าน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) (W/m ²)	12.94	15	ผ่าน
ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด (PLD) (W/m ²)	3.79	14	ผ่าน
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)	3.22	3.22	ผ่าน
ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh/year)	189,804.02	-	ผ่าน

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) ของอาคาร มีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด ทำให้ผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV) ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด (PLD) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และค่าการใช้พลังงานรวม (kWh/year) ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน



ภาพที่ 2 แสดงแบบแปลนอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต

อาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มีวัสดุผนังทึบแสงประกอบคอนกรีต บล็อกกลวง ปูนฉาบ ผนังแผ่นเรียบสมาร์ทบอร์ด วัสดุผนังกระจกโปร่งแสง และโครงสร้างหลังคาทำจากเหล็ก มุงด้วยกระเบื้องซีเมนต์ไยหิน โครงสร้างอาคารผนังโปร่งแสงทางทิศใต้ และพื้นที่หลังคาอาคารจะรับความร้อนทั้งวัน ดังนั้น จึงทำการปรับปรุงระบบกรอบอาคารโดยการเปลี่ยนกระจก และติดตั้งฉนวน และฉีดยาโฟมใต้หลังคาให้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน โดยทำการเปลี่ยนวัสดุ กรอบอาคาร

ตารางที่ 5 วัสดุของระบบกรอบอาคารที่ทำการปรับปรุง

รายการ	ขนาด (mm)	ราคา (Baht/m ²)	พื้นที่การติดตั้ง (m ²)	จำนวนเงิน (Baht)
กระจก Silver Color Single Low-E on clear 12 mm (12-12-12)	12	1,082.66	273.00	295,567.91
โฟมโพลีเอทิลีน	20	684.16	366.98	251,073.04
แผ่นยิปซัมบอร์ด	9	42.95	366.98	15,761.79
รวม			1,006.96	562,402.74

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินค่า OTTV พบว่า ค่า OTTV ก่อนปรับปรุง 77.60 W/m² หลังปรับปรุงลดลง 47.61 W/m² ลดลงเทียบเท่า 29.99 W/m² และการใช้พลังงานรวมก่อนปรับปรุง 189,804.02 kWh/year หลังปรับปรุงลดลง 174,438.55 kWh/year ลดลงเทียบเท่า 15,365.47 kWh/year คิดเป็นเงินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ เท่ากับ 60,847.26 Baht/year

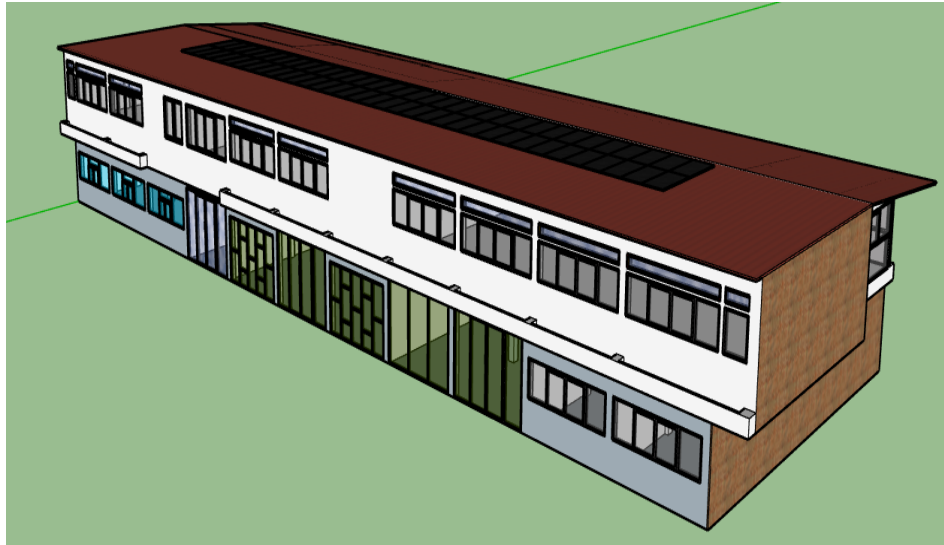
ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพพลังงาน (หลังปรับปรุง)

รายการ	ผลการศึกษา	เกณฑ์มาตรฐาน	ผลการประเมิน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) (W/m^2)	47.64	50	ผ่าน
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) (W/m^2)	12.94	15	ผ่าน
ค่ากำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุด (PLD) (W/m^2)	3.79	14	ผ่าน
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)	3.22	3.22	ผ่าน
ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh/year)	174,438.55	-	ผ่าน

จากตารางที่ 6 พบว่า การปรับปรุงระบบกรอบอาคาร ทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมลดลงเท่ากับ 15,365.47 kWh/year คิดเป็นร้อยละ 8.10 เมื่อเทียบผลประเมินก่อนปรับปรุงอาคาร

4.2 ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคามิมีบทบาทสำคัญในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยในประเทศไทย (Srisukpornchai, N., et al. 2020) งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิตพลังงานให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยการเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา และใช้โปรแกรมจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst 7.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูล จากการสำรวจข้อมูลอาคาร พบว่า อาคารตั้งอยู่ในพิกัดละติจูด 19.98°N และลองจิจูด 99.85°E หลังคาหันไปทางทิศใต้ มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน (Base Load) อยู่ที่ 8.18 kW ซึ่งสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาด 12 kWp เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน เพื่อให้การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งพื้นที่ใช้ในการติดตั้งทั้งหมด 73.70 m^2 เอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 15° ตามความลาดชันหลังคา และทิศทางการวางทำมุม 0° แสดงดังภาพที่ 3 ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง Jinkosolar JKM 320PP-72 (Plus) 320 Wp จำนวน 38 แผง และชนิดอินเวอร์เตอร์ Huawei Technologies SUN2000-12KTL-M0 12 kWac 3-phase จำนวน 1 เครื่อง



ภาพที่ 3 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาด 12 kWp

จากผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา พบว่า โครงการนี้น่าลงทุนเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำกว่าต้นทุนไฟฟ้าจากสายส่ง เท่ากับ 2.3 Baht/kWh แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ต้นทุนการติดตั้งระบบ On-grid 12 kWp	342,000	Baht
ต้นทุนการดำเนินการในการบำรุงรักษาระบบ	3,000	Baht/year
อายุโครงการ	25	year
อัตราการคิดลด	7	%
อัตราเงินเฟ้อ	5	%
อัตราการเสื่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	0.5	%
ต้นทุนไฟฟ้าจากสายส่ง	4.2	Baht/kWh
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าตลอดอายุของโรงไฟฟ้า	1.9	Baht/kWh
ด้วยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (LCOE)		
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	1,108,981.5	Baht
ค่าผลตอบแทนของการลงทุน (ROI)	324.3	%
ระยะเวลาคืนทุน (PP)	5.2	year

แหล่งที่มา: Chiang Rai Rajabhat University. A complete report on the promotion of renewable energy in government agencies – Chiang Rai Rajabhat University. [Cited March 2021] (in Thai).

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการประเมินการใช้พลังงานของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต พบว่าระบบกรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) เท่ากับ 77.60 W/m^2 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เท่ากับ 12.94 W/m^2 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 3.79 W/m^2 ระบบปรับอากาศ เท่ากับ 3.22 และการใช้พลังงานรวม เท่ากับ 189,804.02 kWh/year มาตรฐานตามข้อกำหนดโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร งานวิจัยนี้ได้ทำเลือกแนวทางการปรับปรุงอาคารดังนี้

แนวทางที่ 1 ออกแบบปรับปรุงระบบกรอบอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน โดยการทำการเปลี่ยนเป็นกระจก Silver Color Single Low-E on clear เพิ่มฉนวนกันความร้อนโฟมโพลีเอทิลีนและแผ่นยิปซัมบอร์ด และผลประเมินระบบกรอบอาคารหลังการปรับปรุง พบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV) ลดลง เท่ากับ 29.99 W/m^2 คิดเป็นร้อยละ 61.39 และทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมลดลง เท่ากับ 15,365.47 kWh/year คิดเป็นร้อยละ 8.10 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงานทุกข้อกำหนด

แนวทางที่ 2 เป็นการปรับปรุงอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยการเลือกใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทน โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาด 12 kWp สามารถทดแทนการพลังงานไฟฟ้าของอาคารสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายทั้งหมด ทำให้การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

สามารถเป็นต้นแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อขยายผลไปยังอาคารต่าง ๆ และเตรียมความพร้อมเข้าสู่มหาวิทยาลัยสีเขียว

6. เอกสารอ้างอิง

- Chiang Rai Rajabhat University. (2017). **A complete report on the promotion of renewable energy in government agencies–Chiang Rai Rajabhat University.** (in Thai)
- Coordinating center for energy conservation building design. (2019). **Building Energy Code (BEC).** [online]. Available: <http://new.2e-building.com/>. Access on January 10, 2019. (in Thai)
- Poophet, M. and Khunthong, J. (2016). The study of Building Development for Energy Efficiency: Case Study of Educational Buildings. **Building Innovation 2016: B-inno2016.** pp. 358-366. (in Thai)
- Pholnak, C., et al. (2017). Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System by Using PVsyst Programmed ModelingSimulation. **Thaksin University Journal.** Special Edition. Vol.20 (27) 2017. (in Thai).

- Srisukpornchai, N., et al. (2020). Study of Grid-Connected Rooftop Solar Photovoltaic System and Its Installation Potential for Universities in Thailand. **The Golden Teak: Science and Technology Journal**, 7(1), 1-13. (in Thai)
- Tanrattanawong, S. and Chindavanig, T. (2019). Improving Energy Efficiency in Building to Net Zero Energy Building: A Case Study Standard Government Office Building. **Senate**. 4/2562. 523-535. (in Thai)
- Wongsiya, A. (2016). **GUIDELINES FOR DEVELOPMENT OF NET ZERO ENERGY BUILDINGS FOR GOVERNMENTAL OFFICE BUILDINGS IN THAILAND**. the Requirements for the Degree Master of Architecture Program in Architecture, Silpakorn University. (in Thai)

**การเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม
กรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา**
**Productivity of the Drinking Water Filling Process:
Case Study of Thap Kaew Drinking Water Plant,
Nakhon Ratchasima Rajabhat University**

วรุตัย เดชตานนท์¹ และจิรวัดณ์ โลพันดุง^{2*}

Warutai Dejtanon¹ and Jirawat Lopandung^{2*}

^{1, 2*}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 340 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา

จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 08 1264 9623 E-mail: jirawat.l@nrru.ac.th

^{1, 2*}Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 340 Suranarai Road,

Nai Mueang Sub-district, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000

Tel. 08 1264 9623 E-mail: jirawat.l@nrru.ac.th

วันที่รับบทความ 29 มิถุนายน 2564

Received: Jun. 29, 2021

วันที่รับแก้ไขบทความ 21 ตุลาคม 2564

Revised: Oct. 21, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 8 ธันวาคม 2564

Accepted: Dec. 8, 2021

บทคัดย่อ

การเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา โดยการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียของน้ำในขั้นตอนการบรรจุจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาและการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม พบว่ามีผลผลิตต่ำจากการบรรจุน้ำดื่มช้าเพราะการทำงานแต่ละขั้นตอนไม่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากมีพนักงาน 1 คน ต้องทำการบรรจุน้ำดื่มทีละขั้นตอนตามลำดับ แนวทางการปรับปรุงทำได้โดยการเพิ่มจำนวนพนักงาน โดยกำหนดให้พนักงานแผนกจัดส่งน้ำมาช่วยในขั้นตอนการบรรจุและจัดทำตารางการจัดส่งน้ำขึ้นใหม่ที่ไม่กระทบกับการจัดส่งน้ำ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 133.41 และปัญหาความสูญเสียเปล่านั้นพบว่ามือน้ำล้นในการบรรจุและมีน้ำทิ้งจากการล้างขวดมากเนื่องจากหัวจ่ายน้ำจ่ายน้ำออกไม่เสมอกัน การใช้วาล์วแบบ Manual และในขั้นตอนการล้างขวดไม่มีการกำหนดปริมาณน้ำล้างขวดที่ชัดเจน ใช้เพียงความชำนาญของพนักงานเท่านั้น แนวทางการแก้ไข คือ ปรับหัวจ่ายน้ำให้มีความสม่ำเสมอ ทำการทดลองเพื่อกำหนดปริมาณน้ำล้างขวดที่เหมาะสมและเปลี่ยนการใช้วาล์วแบบ Manual เป็นการใช้เครื่องเปิด – ปิดน้ำแบบอัตโนมัติ หลังการปรับปรุงพบว่าสามารถลดปริมาณน้ำทิ้งลงร้อยละ 24.6

คำสำคัญ: การเพิ่มผลผลิต, การผลิตน้ำดื่ม, โรงผลิตน้ำดื่ม, ผังก้างปลา, การวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม

Abstract

This case study focused on the productivity of the drinking water filling process of the Thap Kaew drinking water plant at Nakhon Ratchasima Rajabhat University to increase efficiency and reduce the loss of water in the packing process. According to

the problem analysis using a cause and effect diagram and Why-Why analysis, it was found that there was low productivity due to the slow filling of drinking water with each step not part of a continuous process. Improvement was achieved by increasing the workforce, requiring water supply department staff to assist with the filling process and re-establishing the water delivery schedule without affecting water delivery. Productivity increased by 133.41%. The problem of water wastage was found due to overflow in filling, as well as a lot of effluent from rinsing bottles using uneven water supply nozzles, manual valves and no clear determination of the amount of rinsing water, relying only on the expertise of staff. The solution was to adjust the water distribution head to be consistent, experiment to determine the right amount of rinse water and replace the manual valves with automatic water on-off machines. After improvement, it was found that the amount of wastewater was reduced by 24.6%.

Keywords: Productivity, Production of Drinking Water, Drinking Water Plant, Cause and Effect Diagram, Why - Why Analysis

1. บทนำ

โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ดำเนินการผลิตและจัดจำหน่ายน้ำดื่ม “ทับแก้ว” ขนาดบรรจุ 350 และ 600 มิลลิลิตร กระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการผลิต และขั้นตอนการบรรจุ จากการเก็บข้อมูลการผลิตน้ำและการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดในเดือนพฤศจิกายน 2563 พบว่าปัจจุบันในขั้นตอนการผลิตน้ำดื่ม โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้วสามารถผลิตน้ำดื่มที่มีคุณภาพได้ 7,200 ลิตร/วัน นำมาบรรจุขวดประมาณ 1,800 ลิตร/วัน ทำให้มีปริมาณน้ำที่เหลือรอการบรรจุประมาณ 5,400 ลิตร/วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 75 ของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก จากกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดคณะผู้วิจัยพบว่าเกิดปัญหาคอขวดที่ขั้นตอนการบรรจุ เกิดการรอกาน การว่างงานของเครื่องจักร การล้างขวดก่อนบรรจุน้ำดื่ม ไม่มีการกำหนดปริมาณน้ำที่ใช้อย่างชัดเจน และเครื่องจักร อุปกรณ์ขาดการบำรุงรักษาทำให้ในขั้นตอนนี้มีน้ำทิ้งเป็นจำนวนมากโดยมีปริมาณน้ำทิ้ง 12.6 ลิตร ต่อการบรรจุน้ำลงขวด 14.4 ลิตร หรือคิดเป็นสัดส่วน 0.88 : 1 จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดของการเพิ่มผลผลิตมาใช้ในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่มโดยการปรับปรุง/แก้ไขปัญหาลดผลผลิตต่ำ และลดของเสียจากการสูญเสียของน้ำโดยการนำเครื่องมือ ได้แก่ แผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม (Why - Why Analysis) และหลักการทางสถิติ มาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการผลิตน้ำดื่มของโรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เพื่อให้เกิดผลกำไร และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่หน่วยงาน ผู้ที่สนใจในการดำเนินธุรกิจน้ำดื่ม และเป็นประโยชน์ต่อคณะผู้วิจัยที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงาน และการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิตอื่น ๆ ต่อไป (Impfo, W. and Poonikom, K., 2017)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและหาแนวทางการเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 กำหนดขอบเขตของการวิจัย คือ ศึกษาขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม สำหรับน้ำดื่มขนาดบรรจุ 600 มิลลิลิตร เท่านั้น

3.2 การเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น

1. ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นการเก็บข้อมูลจริงและบันทึกลงในตารางเก็บข้อมูล ได้แก่ เวลา ระยะทางในแต่ละกิจกรรมย่อย โดยบันทึกลงในแผนภูมิการไหลของกระบวนการ แผนภูมิ คน – เครื่องจักร (Freivalds, A. and Niebel, B., 2009) ปริมาณน้ำทิ้ง และปริมาณน้ำล้างขวด บันทึกลงในตารางข้อมูล

2. ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลจากคู่มือเครื่องบรรจุน้ำ ได้แก่ ขนาดของหัวจ่าย อัตราการไหลของน้ำ

3. การสังเกตและการสัมภาษณ์ โดยการเข้าไปสังเกตการทำงานของพนักงาน การสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พนักงานแผนกบรรจุ และพนักงานแผนกขนส่งเพื่อให้ทราบขั้นตอนและวิธีการทำงาน ผู้จัดการโรงผลิตน้ำเพื่อให้ทราบปริมาณและความต้องการในการผลิต

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการค้นหาปัญหาและปรับปรุงการทำงาน คณะผู้วิจัย ใช้แผนภูมิแกงปลา และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม (Rijiravanich, V., 2012) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง โดยกำหนดการวิเคราะห์ปัญหาเป็น 2 แนวทาง คือ ปัญหาผลผลิตต่ำ และปัญหาความสูญเสียของน้ำในขั้นตอนการบรรจุ

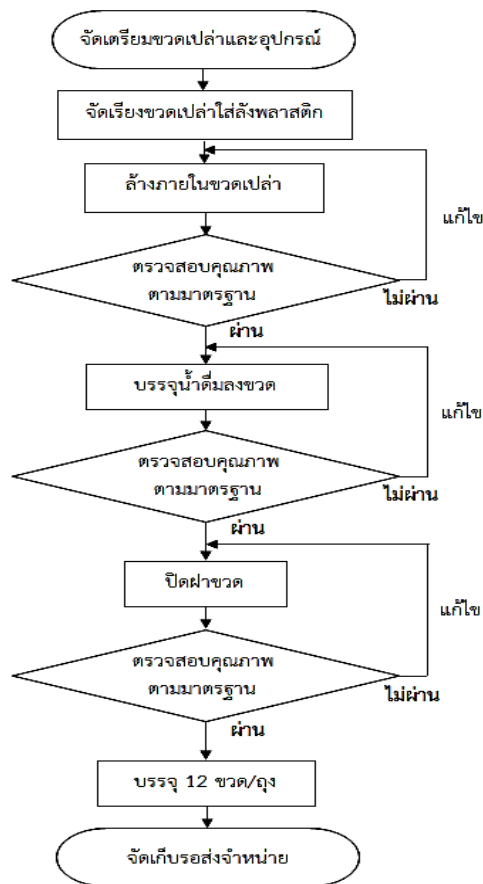
3.4 การวัดผล ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบธรรมดา (Simple Random Sampling) จำนวน 30 ครั้ง นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยเป็นการนำข้อมูลที่เก็บได้มาเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลจากการเก็บข้อมูล (Choomrit, N., 2013)

3.5 การวิเคราะห์และสรุปผล คณะผู้วิจัยได้ทำการค้นหาปัญหา กำหนดแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการบรรจุน้ำ เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง ทดสอบสมมติฐานทางสถิติ และคำนวณจุดคุ้มทุน (Yaemphuan, P., 2013)

4. ผลการวิจัย

4.1 สภาพปัจจุบันและปัญหาในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม

กระบวนการผลิตน้ำดื่มของโรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว เริ่มจากขั้นตอนการผลิตน้ำดื่ม โดยการนำน้ำดิบมาผ่านระบบกรองแอนทราไซด์ กรองคาร์บอน กรองเรซิน กรองด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) และผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสง Ultra Violet (UV) จนได้น้ำดื่มที่มีคุณภาพส่งต่อมายังขั้นตอนการบรรจุเพื่อบรรจุลงขวดและจัดจำหน่ายต่อไป ขั้นตอนการบรรจุแสดงดังภาพที่ 2

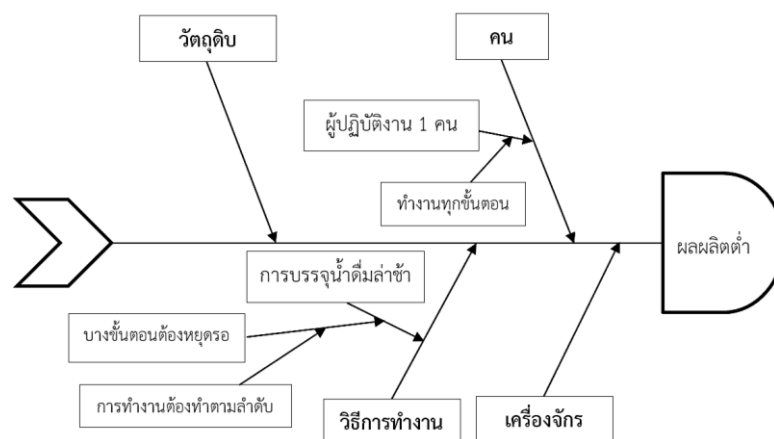


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม

จากภาพที่ 2 ขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่มเริ่มจากพนักงานนำขวดเปล่าและอุปกรณ์ต่าง ๆ มาจัดเตรียมไว้ จากนั้นทำการจัดเรียงขวดใส่ลังจำนวน 24 ขวด/ครั้ง นำเข้าหัวจ่ายบรรจุน้ำดื่ม ที่มีหัวจ่าย 24 หัว จ่ายน้ำด้วยปั๊มแรงดันขนาด 2 HP ผ่านท่อส่งน้ำขนาด 1 นิ้ว เปิดน้ำด้วยวาล์ว เปิดน้ำแบบ Manual ปิดน้ำ ใส่แผ่นล้อยอคขวดเขย่าและเทน้ำทิ้ง เพื่อล้างฝุ่นละอองที่อาจจะติดมา ในขวดและกลิ้งที่มีในขวดให้หายไป ตรวจสอบความเรียบร้อยตามมาตรฐาน หากขวดไม่สะอาด หรือมีกลิ่น จะมีการนำกลับไปแก้ไข หลังจากนั้นนำลังที่ใส่ขวดกลับมาเข้าหัวจ่ายบรรจุน้ำอีกครั้ง เพื่อบรรจุน้ำ เมื่อบรรจุน้ำเสร็จแล้วนำออกมาตรวจสอบความเรียบร้อย หากปริมาณน้ำในขวดน้อย หรือมีสิ่งสกปรกเจือปนในขวดจะมีการนำกลับไปแก้ไข จากนั้นทำการปิดฝาขวด ตรวจสอบ ความเรียบร้อยตามมาตรฐานครั้งสุดท้ายก่อนนำมาบรรจุลงในถุงพลาสติก ถุงละ 12 ขวด (1 โหล) และนำไปจัดเก็บเพื่อรอจำหน่ายต่อไป โดยในขั้นตอนทั้งหมดนี้มีพนักงานทำหน้าที่ในขั้นตอน การบรรจุ จำนวน 1 คน สามารถบรรจุน้ำขนาด 600 มิลลิลิตร ได้เฉลี่ย 102 โหล/วัน คำนวนจาก แผนภูมิการไหล ทำให้มีน้ำเหลือรอการบรรจุอีกเป็นจำนวนมาก และมีการสูญเสียน้ำเป็นจำนวนมาก เฉลี่ย 12.6 ลิตร/ครั้ง จากการเก็บข้อมูลแบบสุ่ม จำนวน 30 ครั้ง โดยในการผลิตจริง บางครั้งอาจจะ มีพนักงานจากส่วนอื่น ๆ มาช่วยในเวลาว่างเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต จากการศึกษาคณะผู้วิจัย จึงได้แบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็น 2 แนวทาง คือ ปัญหาผลผลิตต่ำ และปัญหาความสูญเสียของน้ำ

4.2 ปัญหาผลผลิตต่ำ

1) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาผลผลิตต่ำ คณะผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลาแสดงดังภาพที่ 3 และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาจากปัญหาผลผลิตต่ำ

จากภาพที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาผลผลิตต่ำในขั้นตอนการบรรจุ คือ การบรรจุน้ำดื่มล่าช้า เนื่องจากบางขั้นตอนต้องหยุดรอเพราะมีพนักงาน 1 คน จึงต้องทำงานที่ละขั้นตอนตามลำดับ และคณะผู้วิจัยได้นำเทคนิค ทำไม – ทำไม มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและระดมสมองร่วมกับพนักงานในโรงผลิตน้ำดื่ม เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหา ได้ข้อสรุปแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม จากปัญหาผลผลิตต่ำ

ปัญหา	Why1	Why2	แนวทางการแก้ปัญหา
ผลผลิตต่ำ	การบรรจุน้ำดื่มล่าช้า	การทำงานแต่ละขั้นตอนไม่ต่อเนื่องกัน บางขั้นตอนต้องหยุดรอ เพราะมีพนักงาน 1 คน โดยต้องทำที่ละขั้นตอนตามลำดับ	การเพิ่มจำนวนพนักงานในขั้นตอนการบรรจุ

จากตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม คณะผู้วิจัยพบว่าปัญหาหลักที่ส่งผลให้ขั้นตอนการบรรจุมีผลผลิตต่ำเนื่องจากมีพนักงานไม่เพียงพอ โดยพนักงาน 1 คนต้องทำทุกขั้นตอนในการบรรจุและใช้เวลานานแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุน้ำ (ก่อนปรับปรุง)

แผนภูมิ แผนที่ ของ								
ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน	Activity		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง	
	ปฏิบัติ		○	4				
	เคลื่อนย้าย		➡	2				
กิจกรรม: ขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม	ล่าช้า		⏸	0				
	ตรวจสอบ		□	0				
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน/ปรับปรุง	เก็บ		▽	1				
	ระยะทาง (เมตร)		16					
คำอธิบาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
			○	➡	⏸	□	▽	
1. ห้องเก็บขวดเปล่า			○	➡	⏸	□	▽	
2. พนักงานยกแพ็คเกจขวดเปล่าจากห้องเก็บขวดมายังจุดจัดเรียงขวด	4	1	○	➡	⏸	□	▽	
3. พนักงานทำการจัดเรียงขวดใส่พาเลทและทำการล้างภายในขวด	1	9	●	➡	⏸	□	▽	
4. พนักงานบรรจุน้ำลงขวดให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดไว้		3	●	➡	⏸	□	▽	
5. พนักงานทำการปิดฝาและตรวจสอบความเรียบร้อย		10	●	➡	⏸	□	▽	
6. พนักงานทำการบรรจุน้ำขวดเป็นโหล	1	7	●	➡	⏸	□	▽	
7. ขนย้ายน้ำดื่มมายังชั้นวางผลิตภัณฑ์	10	5	○	➡	⏸	□	▽	
รวม	16	35	4	2	0	0	1	

จากตารางที่ 2 คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเวลาการทำงานในปัจจุบัน โดยใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการ ขั้นตอนการบรรจุน้ำลงขวด 1 ห่อ จำนวน 179 ขวด จะใช้เวลา 35 นาที และทำให้เครื่องจักรต้องหยุดรอบข้างขั้นตอน เกิดการสูญเสียเปล่าของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 3 การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิคน - เครื่องจักรของการบรรจุน้ำก่อนการปรับปรุง และตารางที่ 4 สัดส่วนการทำงานจากแผนภูมิคน-เครื่องจักรของขั้นตอนการบรรจุน้ำก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 3 แผนภูมิคน - เครื่องจักรของการบรรจุน้ำ (ก่อนการปรับปรุง)

ผู้ปฏิบัติงาน		เครื่องบรรจุน้ำดื่ม			
พนักงาน	เวลา (นาท)	เครื่องบรรจุ		เวลา (นาท)	
1. พนักงานยกห่อขวดเปล่าจาก ห้องเก็บขวดมายังจุดจัดเรียงขวด	1	ว่าง		1	
2. พนักงานจัดเรียงขวดเปล่าใส่ลัง จากนั้นทำการล้างภายในขวด	9	เครื่องจักรทำงาน		9	
3. พนักงานทำการบรรจุน้ำลงขวด ให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดไว้	3	เครื่องจักรทำงาน		3	
4. พนักงานทำการปิดฝาพร้อมตรวจสอบความเรียบร้อย	10	ว่าง		10	
5. พนักงานทำการบรรจุน้ำดื่มลงถุงพลาสติก	7	ว่าง		7	

หมายเหตุ: พนักงานแผนกบรรจุ 1 คน

ตารางที่ 4 สัดส่วนการทำงานจากแผนภูมิคน – เครื่องจักร ของขั้นตอนการบรรจุน้ำ (ก่อนการปรับปรุง)

ก่อนการปรับปรุง	ผู้ปฏิบัติงาน	เครื่องบรรจุน้ำดื่ม/อุปกรณ์
เวลาว่าง	0	18
เวลาทำงาน	30	12
เวลาทั้งหมด	30	30
ร้อยละเวลาทำงาน (%)	100	40

หมายเหตุ: เวลาการบรรจุ 1 รอบการทำงานต่อขวด 1 ห่อ จำนวน 179 ขวด

จากตารางที่ 3 – 4 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของเวลาการทำงานของคน : เครื่องจักร เป็น 100 : 40 พบว่าเกิดความสูญเสียเปล่าของเครื่องจักร ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหา คือ การเพิ่มจำนวนผู้ปฏิบัติงานในขั้นตอนการบรรจุ

2) การปรับปรุง

ปัจจุบันโรงผลิตน้ำดื่มทับแก้วมีพนักงานทั้งหมด จำนวน 4 คน แบ่งออกเป็นเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารงานทั่วไป จำนวน 1 คน เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตแผนกบรรจุ จำนวน 1 คน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตแผนกจัดส่ง จำนวน 2 คน จากการระดมสมองร่วมกับพนักงานโรงผลิตน้ำดื่ม คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองนำพนักงานจากแผนกจัดส่งน้ำจำนวน 1 - 2 คน มาช่วยในขั้นตอนการบรรจุ ในช่วงเวลา 8.00 - 12.00 น. เท่านั้น และจัดทำตารางการจัดส่งน้ำขึ้นใหม่ที่ไม่กระทบกับการจัดส่งน้ำ ทำให้พนักงานในขั้นตอนบรรจุจากเดิม 1 คน เพิ่มเป็น 2 - 3 คน ทำให้ลดระยะเวลาในการทำงาน และทุกขั้นตอนการบรรจุทำงานได้อย่างต่อเนื่องแสดงดังตารางที่ 5 การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิคน – เครื่องจักรของการบรรจุน้ำหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 6 และสัดส่วนการทำงานจากแผนภูมิคน – เครื่องจักรของขั้นตอนการบรรจุน้ำหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุน้ำ (หลังการปรับปรุง)

แผนภูมิ แผนที่ ของ								
ผลิตภัณฑ์/วัสดุ/พนักงาน	Activity		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง	
	ปฏิบัติ		○	4	4		0	
	เคลื่อนย้าย		➡	2	2		0	
กิจกรรม: ขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม	ลำช้า		D	0	0		0	
	ตรวจสอบ		□	0	0		0	
วิธีการทำงาน: ปัจจุบัน/ปรับปรุง	เก็บ		▽	1	1		0	
	ระยะทาง (เมตร)		16		16		0	
คำอธิบาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
			○	➡	D	□	▽	
1. ห้องเก็บขวดเปล่า			○	➡	D	□	▽	
2. พนักงานยกแพ็คขวดเปล่าจากห้องเก็บขวดมายังจุดจัดเรียงขวด	4	1	○	➡	D	□	▽	
3. พนักงานทำการจัดเรียงขวดใส่พาเลทและทำการล้างภายในขวด	1	2	●	➡	D	□	▽	
4. พนักงานบรรจุน้ำลงขวดให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดไว้		3	●	➡	D	□	▽	
5. พนักงานทำการปิดฝาและตรวจสอบความเรียบร้อย		2	●	➡	D	□	▽	
6. พนักงานทำการบรรจุน้ำขวดเป็นโหล	1	2	●	➡	D	□	▽	
7. ขนย้ายน้ำดื่มมายังชั้นวางผลิตภัณฑ์	10	5	○	➡	D	□	▽	
รวม	16	15	4	2	0	0	1	

ตารางที่ 6 แผนภูมิคน – เครื่องจักร ของการบรรจุน้ำ (หลังการปรับปรุง)

รายการ	ผู้ปฏิบัติงาน			เครื่องบรรจุน้ำดื่ม		
	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	เครื่องบรรจุ	เวลา (นาที)	
	เวลา (นาที)	เวลา (นาที)	เวลา (นาที)			
1. พนักงานยกห่อขวดเปล่าจาก ห้องเก็บขวดมายังจุดจัดเรียงขวด	1	1	1	ว่าง	1	
2. พนักงานจัดเรียงขวดเปล่าใส่ลัง จากนั้นทำการล้างภายในขวด	2	2	2	เครื่องจักรทำงาน รอบที่ 1	2	
3. พนักงานทำการบรรจุน้ำลงขวด ให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดไว้	3	3	3	เครื่องจักรทำงาน รอบที่ 1	3	
4. พนักงานทำการปิดฝาพร้อม ตรวจสอบความเรียบร้อย	2	2	2	เครื่องจักรทำงาน รอบที่ 2	2	
5. พนักงานทำการบรรจุขวดน้ำ ดื่ม ลงถุงพลาสติก	2	2	2	เครื่องจักรทำงาน รอบที่ 2	3	
6. พนักงานยกห่อขวดเปล่าจาก ห้องเก็บขวดมายังจุดจัดเรียงขวด รอบที่ 2	1	1	1			

หมายเหตุ: ไม่นำเวลาในรอบที่ 2 มาคำนวณสัดส่วนการทำงาน

ตารางที่ 7 สัดส่วนการทำงานจากแผนภูมิคน-เครื่องจักร ของขั้นตอนการผลิตน้ำ (หลังการปรับปรุง)

หลังการปรับปรุง	ผู้ปฏิบัติงาน	เครื่องบรรจุน้ำดื่ม/อุปกรณ์
เวลาว่าง	0	1
เวลาทำงาน	10	9
เวลาทั้งหมด	10	10
ร้อยละเวลาทำงาน (%)	100	90

หมายเหตุ: เวลาการบรรจุ 1 รอบการทำงานต่อขวด 1 ห่อ จำนวน 179 ขวด

การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานสามารถเปรียบเทียบระยะเวลาและผลผลิตในการทำงานของขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่มทับแก้วก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงพบว่าก่อนปรับปรุงขั้นตอนการบรรจุใช้ระยะเวลารวม 35 นาที/รอบ หลังการปรับปรุงเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6 พบว่าการเพิ่มพนักงานจากแผนกจัดส่ง จำนวน 1 หรือ 2 คน ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลา แต่คณะผู้วิจัยและพนักงานของโรงผลิตน้ำได้ระดมสมองร่วมกันและสรุปว่าควรใช้พนักงานจากแผนกจัดส่งเพิ่มเติม จำนวน 2 คน เพื่อไม่ให้พนักงานทำงานด้วยอัตราความเร็วที่สูงเกินไป อาจส่งผลต่อความเมื่อยล้า (Kanchanapanyakom, R., 2019) ระยะเวลาหลังการปรับปรุงรวม 15 นาที/รอบ ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการผลิตได้ 20 นาที/รอบ

การหาประสิทธิภาพในการผลิต

ก่อนปรับปรุง

เวลา 35 นาที ผลิตได้ 179 ขวด
เวลา (4 ชั่วโมง) 240 นาที ผลิตได้ 1,227 ขวด

หมายเหตุ: พนักงาน 1 คน เวลาทำงาน 4 ชั่วโมง (8:00 – 12:00 น.)

หลังปรับปรุง

เวลา 15 นาที ผลิตได้ 179 ขวด

เวลา (4 ชั่วโมง) 240 นาที ผลิตได้ 2,864 ขวด

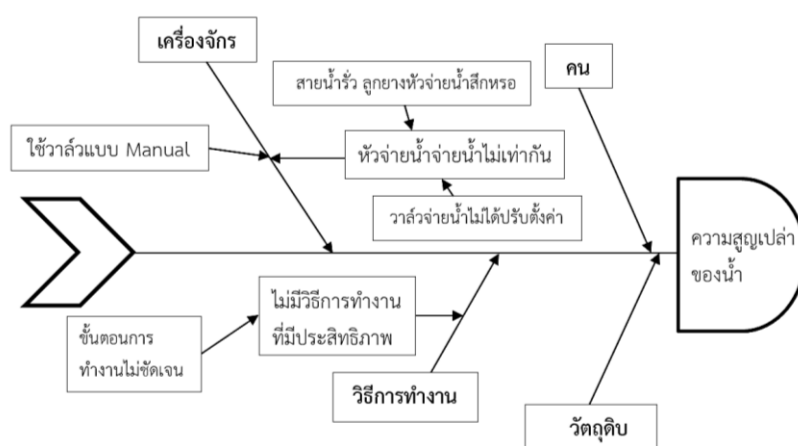
หมายเหตุ: พนักงาน 3 คน เวลาทำงาน 4 ชั่วโมง (8:00 – 12:00 น.)

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตน้ำดื่ม (\%)} &= \frac{\text{หลังปรับปรุง} - \text{ก่อนปรับปรุง}}{\text{ก่อนปรับปรุง}} \times 100 \\ &= \frac{2,864 - 1,227}{1,227} \times 100 \\ &= 133.41\% \end{aligned}$$

ดังนั้นร้อยละผลผลิตน้ำดื่มที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 133.41

4.3 ปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำ

1) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำ คณะผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลาแสดงดังภาพที่ 4 และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม แสดงดังตารางที่ 8



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาจากปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำ

จากภาพที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำในขั้นตอนการบรรจุ คือ

1) ด้านเครื่องจักร เนื่องจากหัวจ่ายน้ำออกไม่เสมอกัน ทำให้เวลาบรรจุน้ำจะมีบางขวดเต็มก่อน และบางขวดที่ยังไม่เต็ม ขวดที่เต็มแล้วน้ำจะล้นออกเนื่องจากต้องรอจนกว่าจะน้ำจะเต็มทุกขวด และการใช้วาล์วแบบ Manual ซึ่งการเปิด – ปิดจะขึ้นอยู่กับความชำนาญของพนักงานเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 5 (ก) ปริมาณน้ำล้นเฉลี่ย 1.80 ลิตร/ครั้ง

2) ด้านวิธีการ ในขั้นตอนการล้างขวดไม่มีขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจน เช่น ระดับของน้ำที่เหมาะสมในการล้างขวด โดยจะใช้เพียงความชำนาญของพนักงานเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 5 (ข) ปริมาณน้ำทิ้งจากการล้างขวดเฉลี่ย 10.80 ลิตร/ครั้ง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 การปฏิบัติงานของพนักงานก่อนการปรับปรุง

(ก) การเปิด – ปิดวาล์วแบบ Manual โดยพนักงาน (ข) การล้างขวดโดยพนักงาน

จากปัญหาข้างต้น คณะผู้วิจัยได้นำเทคนิคทำไม – ทำไม เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา และระดมสมองร่วมกับพนักงานในโรงผลิตน้ำดื่ม เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหา ได้ข้อสรุปแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม จากปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำ

ปัญหา	Why1	Why2	Why3	แนวทางการแก้ไข
มีน้ำล้น ในการบรรจุ	หัวจ่ายน้ำไหล ไม่เท่ากัน	วาล์วจ่ายน้ำไม่ได้ ปรับตั้ง	พนักงานบรรจุน้ำ ไม่มีความรู้ ในการปรับวาล์ว จ่ายน้ำ	ทดลองปรับหัวจ่ายน้ำและ ออกแบบระบบจ่ายน้ำ อัตโนมัติ
มีน้ำทิ้งจาก การล้างขวดมาก	การล้างขวด ใช้ความชำนาญของ พนักงานเท่านั้น	สายน้ำรั่ว ลูกยาง สายจ่ายน้ำสึกหรอ ไม่มีมาตรฐาน การใช้น้ำที่ชัดเจน	ขาดการบำรุงรักษา -	เปลี่ยนอุปกรณ์ จัดทำมาตรฐานปริมาณน้ำ ที่ใช้ในการล้างขวด

จากตารางที่ 8 การวิเคราะห์ปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม คณะผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางการแก้ไข คือ แก้ไขการปรับหัวจ่ายน้ำให้มีความสม่ำเสมอ เปลี่ยนการใช้วาล์วแบบ Manual มาใช้วาล์วโซลินอยด์อัตโนมัติร่วมกับทามเมอร์และเซนเซอร์ และกำหนดมาตรฐานปริมาณน้ำที่ใช้ล้างขวด

2) การปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ปัญหาการสูญเสียเปล่าของน้ำในขั้นตอนการบรรจุพบว่าเกิดจากหัวจ่ายน้ำออกไม่เสมอกัน การใช้วาล์วแบบ Manual และไม่มีมาตรฐานปริมาณของน้ำที่เหมาะสมในการล้างขวด หลังการปรับปรุงคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำทั้ง 24 หัวจ่าย ออกแบบเครื่องเปิด – ปิดน้ำแบบอัตโนมัติ และทำการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำล้างขวดที่เหมาะสม โดยใช้น้ำปริมาณ 300, 350, 400, 450 และ 500 มิลลิลิตร/ขวด จากการทดลองปริมาณน้ำที่เหมาะสมใช้ในการล้างขวดเท่ากับ 350 มิลลิลิตร/ขวด ผลการปรับปรุงสามารถลดปริมาณน้ำทิ้งได้ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณน้ำทิ้งก่อนและหลังการปรับปรุง

น้ำทิ้ง	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		การเปลี่ยนแปลง	
	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ร้อยละ (%)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ร้อยละ (%)	ปริมาณ น้ำ (ลิตร)	ร้อยละ (%)
น้ำล้นจากการบรรจุ	1.80	14.29	1.10	11.58	-0.70	-38.89
น้ำทิ้งจากการล้างขวด	10.80	85.71	8.40	88.42	-2.40	-22.22
รวม	12.60	100.00	9.50	100.00	-3.10	-24.60

จากตารางที่ 9 คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงโดยการสุ่มแบบธรรมดาพบว่า มีปริมาณน้ำทิ้งรวมหลังการปรับปรุง 9.50 ลิตร/ครั้ง แบ่งออกเป็นปริมาณน้ำล้นเฉลี่ย 1.10 ลิตร/ครั้ง และน้ำทิ้งจากการล้างขวดเฉลี่ย 8.40 ลิตร/ครั้ง ปริมาณน้ำทิ้งรวมลดลงจากก่อนการปรับปรุง 3.10 ลิตร/ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 24.60

1. การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง

ประสิทธิภาพ	n	X	S.D.	t	P
ก่อนปรับปรุง	30	12.6	1.1	15.392	0.000
หลังปรับปรุง	30	9.5	0.4		

จากตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติพบว่าหลังจากการปรับปรุงขั้นตอนการบรรจุมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยมีปริมาณการสูญเสีย น้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การหาจุดคุ้มทุน

ต้นทุน

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเซนเซอร์และทามเมอร์ 5,233 บาท

กำไร

- จำนวนน้ำทิ้งที่ลดลง 3.1 ลิตร/ครั้ง
 นำมาบรรจุขวด ๆ ละ 600 ml จะได้ 5.17 ขวด/ครั้ง
 ราคาน้ำบรรจุขวด 600 ml 4.58 บาท/ขวด
 กำไรเท่ากับ 5.17 ขวด/ครั้ง $\times$ 4.58 บาท/ขวด 23.68 บาท/ครั้ง

จุดคุ้มทุน

- จุดคุ้มทุน = ต้นทุน/กำไร
 = 5,233 บาท/23.68 บาท/ครั้ง
 = 221 ครั้ง

ดังนั้นต้องทำการผลิต 221 ครั้ง จึงจะคุ้มทุน

5. สรุปผล

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาและการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม พบว่าปัญหาผลผลิตต่ำเกิดจากการบรรจุน้ำดื่มซ้ำเพราะการทำงานแต่ละขั้นตอนไม่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากมีพนักงาน 1 คน ต้องทำการบรรจุน้ำดื่มที่ละขั้นตอนตามลำดับ ใช้เวลารวม 35 นาที/รอบ คณะผู้วิจัยร่วมกับพนักงานโรงผลิตน้ำได้เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงโดยการนำพนักงานจากแผนกจัดส่งน้ำมาช่วยในขั้นตอนการบรรจุ และจัดทำตารางการจัดส่งน้ำขึ้นใหม่ที่ไม่กระทบกับการจัดส่งน้ำเดิมหลังการปรับปรุงใช้เวลา 15 นาที/รอบ สามารถลดระยะเวลาได้ 20 นาที/รอบ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 133.41 และปัญหาความสูญเสียเปล่าของน้ำจากน้ำล้นในขณะบรรจุและมีน้ำทิ้งจากการล้างขวดเป็นจำนวนมาก เนื่องจากหัวจ่ายน้ำจ่ายน้ำออกไม่สม่ำเสมอ การใช้วาล์วแบบ Manual และในขั้นตอนการล้างขวดไม่มีการกำหนดปริมาณน้ำล้างขวดที่ชัดเจน ทำให้มีน้ำล้นจากการบรรจุ และน้ำทิ้งจากการล้างขวดเฉลี่ย 12.60 ลิตร/ครั้ง คณะผู้วิจัยร่วมกับพนักงานโรงผลิตน้ำได้เสนอแนะแนวทางการแก้ไขโดยการปรับหัวจ่ายน้ำให้มีความสม่ำเสมอ เปลี่ยนการใช้วาล์วแบบ Manual เป็นการใช้อัตโนมัติ – ปิดน้ำแบบอัตโนมัติ และทำการทดลองเพื่อกำหนดปริมาณน้ำล้างขวดที่เหมาะสม คือ 350 มิลลิลิตร/ขวด หลังการปรับปรุงพบว่ามีน้ำล้นจากการบรรจุและน้ำทิ้งจากการล้างขวดเฉลี่ย 9.50 ลิตร/ครั้ง ปริมาณน้ำทิ้งรวมในขั้นตอนนี้ลดลง 3.1 ลิตร/ครั้ง หรือคิดเป็นร้อยละ 24.6

6. อภิปรายผล

จากปัญหาผลผลิตต่ำและการสูญเสียเปล่าของน้ำในขั้นตอนการบรรจุของกรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาผลผลิตต่ำพบว่าการปรับปรุงมีปัญหาหลัก คือ พนักงานไม่เพียงพอ พนักงานต้องทำงานทุกขั้นตอนในการบรรจุ และใช้เวลานาน โดยมีร้อยละของเวลาการทำงานของคน : เครื่องจักร เป็น 100 : 40 ทำให้เกิดความสูญเสียเปล่าของเครื่องจักร หลังการปรับปรุงคณะผู้วิจัยได้ทดลองนำพนักงานจากแผนกจัดส่งมาช่วยงานเพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนผู้ปฏิบัติงานในการบรรจุ ทำให้ร้อยละของเวลาการทำงานของคน : เครื่องจักร เป็น 100 : 90 พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดระยะเวลาในการทำงาน และขั้นตอนการบรรจุทำงานได้อย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับ Kaewpia, T. and Tosupan, N. (2021) ที่นำหลักการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตยาสมุนไพร สามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตและปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น และปัญหาการสูญเสียเปล่าของน้ำในขั้นตอนการบรรจุ จากการวิเคราะห์พบว่าขาดการบำรุงรักษาหัวจ่ายน้ำ ไม่มีการกำหนดปริมาณน้ำล้างขวดที่ชัดเจน และใช้ระบบการทำงานแบบ Manual หลังการปรับปรุงคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับตั้งวาล์วหัวจ่ายน้ำ กำหนดมาตรฐานปริมาณน้ำล้างขวด และออกแบบระบบเปิด - ปิดน้ำอัตโนมัติเพิ่มเติม ทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งลดลง สอดคล้องกับ Wajanawichakon, K. (2019) ที่นำหลักการลดความสูญเสียเปล่ามาวิเคราะห์กระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว สามารถลดของเสียในขั้นตอนการตัดหวดได้ และ Maneewan, P. (2017) นำระบบอัตโนมัติมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการบรรจุแผงวงจรไฟฟ้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบรรจุได้ และงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ

การจัดการทรัพยากรในองค์กร โดยมีการพิจารณาแนวทางการแก้ไขร่วมกับผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าของทรัพยากรและเหมาะสมกับองค์กรต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและองค์ความรู้ต่าง ๆ ตลอดจนข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- Choomrit, N. (2013). **Engineering Statistics**. Bangkok: Se-education Public Company Limited. (in Thai)
- Freivalds, A. and Niebel, B. (2009). **Niebel's Methods, Standards, and Work Design**. 12th ed. New York: McGraw-Hill.
- Impho, W. and Poonikom, K. (2017). Increasing efficiency in the production process of drinking water using lean technical: Case study of drinking water Thanhip production. **SNRU Journal of Science and Technology**, 9(3), 653-660. (in Thai)
- Kaewpia, T. and Tosupan, N. (2021). Work Improvement in Herbal Medicine Process using by Work Method and Time Study. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 14(1), 37-64. (in Thai)
- Kanchanapanyakom, R. (2019). **Industrial Work Study**. Bangkok: Top Publishing Co., Ltd. (in Thai)
- Maneewan, P. (2017). **Application of Automated System in Packing Process: A Case Study of Flexible Printed Circuit Manufacturer**. Independent Study. Thammasat University. (in Thai)
- Rijiravanich, V. (2012). **Work Study: Principles and Cases Studied**. 8th ed. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Wajanawichakon, K. (2019). Waste Reduction for Efficiency Improvement in Broom Production Processes: A Case Study of Community Enterprise Bung Wai, Ubon Ratchathani. **UBU Engineering Journal**, 13(1), 141-152. (in Thai)
- Yaemphuan, P. (2013). **Engineering Economy**. Bangkok: Se-education Public Company Limited. (in Thai)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา

ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย

Development of Herbal Incense Products of Ban Rong Pai Na Community, Bua Salee Subdistrict, Mae Lao District, Chiang Rai Province

วิบูลพร วุฒิกุล^{1*}, มณีรัตน์ ภาจันทร์² และจรัญ คนแรง³

Viboonporn Wutthikun^{1*}, Maneerat Pachankoo² and Jarun Khonrang³

^{1*,2,3}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80 ม.9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100

โทร 0 5377 6015 E-mail: ind_webmaster@crju.ac.th

^{1*,2,3} Faculty of Industrial Technology Chiang Rai Rajabhat University

80 Moo 9 Bandu District, Mueang District, Chiang Rai Province 57100

วันที่รับบทความ 21 พฤษภาคม 2564

Received: May. 21, 2021

วันที่รับแก้ไขบทความ 14 พฤศจิกายน 2564

Revised: Nov 14, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 8 ธันวาคม 2564

Accepted: Dec. 8, 2021

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความต้องการของผู้บริโภคต่อธูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา และเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงรายโดยเครื่องมือวิจัยที่ใช้ได้แก่ แบบสอบถามความต้องการจากกลุ่มตัวอย่างและแบบประเมินการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยแนวคิดของ Osborn's checklist เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญในการพิจารณาการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรอันดับแรก ได้แก่ เรื่องกลิ่น โดยกลิ่นที่ให้ความสนใจคือกลิ่นสมุนไพรธรรมชาติ อันดับที่สอง ได้แก่ เรื่องราคา โดยราคาที่พึงพอใจในการซื้อผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรคือ 51 – 100 บาท การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรคือมีความหลากหลายรูปแบบบ่งบอกความเป็นสมุนไพร และให้ความสนใจต่อช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรผ่านทางตลาดออนไลน์คือ Facebook แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คือปรับปรุงแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นลักษณะผงสมุนไพรจุดไถ่ โดยใช้หลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรผ่านความสัมพันธ์ทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ 1. การตลาดจากการวิเคราะห์แบบสอบถามข้อมูลความต้องการของผู้บริโภค 2. กระบวนการผลิตจากการลงพื้นที่และพูดคุยกับกลุ่มผู้ผลิต 3. ศิลปะการออกแบบจาก Osborn's checklist จึงทำให้เกิดเป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพรที่ตอบรับกับความต้องการของตลาดและความเป็นไปได้ในการผลิต

คำสำคัญ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์ธูปสมุนไพร, ธูปสมุนไพร, ออสบอร์นเช็คลิสต์, ชุมชนบ้านร่องปลายนา

Abstract

This research aimed to meet consumer demand by developing herbal incense products in the Ban Rong Paina Community, Bua Salee District, Mae Lao District, Chiang Rai province. The research tools used were a questionnaire for the target audience and a product development assessment form. Osborn's checklist was used as the tool for analysis leading to the development of herbal incense products. The results of the research found that people considered the scent of the incense as the most important factor when making their decision to buy the products. The natural scent of herbs was the most interesting scent. The second selection reason for buying was the price of the product, with most products priced from 51 – 100 baht per piece. In relation to the design of the herbal incense products as affecting the decision to buy, consumers preferred the designs which indicated characteristics of herbs. In terms of distribution, Facebook was the most interesting online distribution channel for the herbal incense products. The development guideline of the products shows a change in the products from herbal incense sticks to mosquito repelling herbal powder. For production of herbal incense sticks, there were 3 relative principles: 1) marketing by analyzing questionnaires in which the customers' needs were stated; 2) production processes based on field study and conversations with the producers; and 3) Osborn's checklist used as a guideline for designing and developing herbal incense products that meet the requirements of the market and possibility of production.

Keywords: the development of products, herbal incense products, herbal incense, Osborn's checklist, Ban Rong Paina community

1. บทนำ

กลุ่มสมุนไพรแปรรูปชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย เริ่มก่อตั้งเมื่อปี 2543 ต่อมาได้ทำการจดทะเบียนจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.176/2546 และจดทะเบียนกลุ่มวิสาหกรรมการเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2548 ของสำนักงานเกษตรแม่ลาว ทะเบียนเลขที่ 6571603/10003 โดยการร่วมกลุ่มสมาชิกจากคนในชุมชนบ้านร่องปลายนาจำนวน 10 คน กลุ่มสมุนไพรแปรรูปมีผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่จัดทำขายประกอบไปด้วย ฐปสมุนไพรไล่ยุง สมุนไพรไล่หนูและแมลงสาบ ลูกประคบ จากการลงพื้นที่และการพบปะพูดคุยกับกลุ่มผู้ผลิตฐปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนาพบว่า ในส่วนของปัญหาในแง่ผลิตภัณฑ์นั้น มีดังนี้ 1) ขนาดของฐปสมุนไพรมีขนาดใหญ่ 2) ระหว่างการจตุฐปสมุนไพรจะมีกลิ่นไม่มากกว่ากลิ่นสมุนไพร 3) เก็บไว้นานจะเป็นฝุ่นผง 4) บรรจุภัณฑ์ไม่น่าสนใจ และ 5) เรื่องของความเชื่อการจตุฐปก้อนเดียวเป็นการเรียกวิญญาณ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ฐปสมุนไพรของชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย เน้นการขายผ่านการท่องเที่ยวเข้ามาในชุมชน เนื่องจากชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย

แต่จากเหตุการณ์ในปัจจุบันได้มีสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา หรือ COVID-19 ส่งผลกระทบต่อสภาพสังคม เศรษฐกิจ และวิถีชีวิตของผู้คนชุมชนบ้านร่องปลายนาได้รับผลกระทบเนื่องจากพึ่งพาการท่องเที่ยวและอาศัยรายได้เสริมจากการเข้ามาท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมภายในหมู่บ้าน ดังนั้นเพื่อจึงมีความจำเป็นเป็นพัฒนาสินค้าให้มีความร่วมสมัย ทำการตลาดเชิงรุกให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความต้องการของผู้บริโภคต่อรูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย

2.2 เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือผู้บริโภควัยทำงานใช้การสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) โดยเก็บรวบรวมจากผู้บริโภคในระบบออนไลน์ในระหว่างเดือนมกราคม 2564 – กุมภาพันธ์ 2564 เป็นระยะเวลา 20 วัน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือและตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา ด้วยผู้เชี่ยวชาญ 2 ด้าน ได้แก่ ด้านภาษา และด้านการออกแบบ เพื่อตรวจสอบความเข้าใจของภาษาและความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยมีเครื่องมือการวิจัย ดังนี้

1) แบบสอบถามความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลด้านความต้องการของผู้บริโภคต่อรูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา

2) แบบประเมินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ Osborn's checklist (Osborn Alex F as cited in Chunthone, V. 2019, p. 168) เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา

3.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลจากหนังสือ บทความ เอกสาร งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและจากการลงพื้นที่เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา

2) การเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์จากกลุ่มตัวอย่างด้านความต้องการของผู้บริโภค

3) การวิเคราะห์ข้อมูล โดยรวบรวมข้อมูลจากการลงพื้นที่และการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม นำมาวิเคราะห์ผ่านแบบประเมินการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยแนวคิดของ Osborn's checklist กับข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

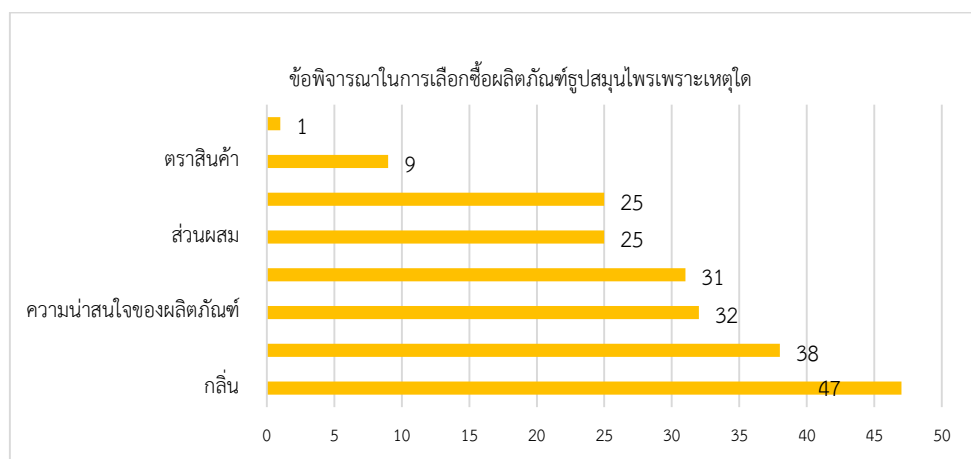
1) การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์ โดยวิธีการวิเคราะห์วิธีการสถิติ โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ การหาค่าร้อยละและวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา โดยนำข้อมูลที่ได้มาเพื่อหาข้อสรุปในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย

2) การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยแนวคิดของ Osborn's checklist และข้อมูลจากการลงพื้นที่ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนาโดยนำข้อมูลที่ได้มาจัดแยกเป็นหมวดหมู่และวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย

4. ผลการวิจัย

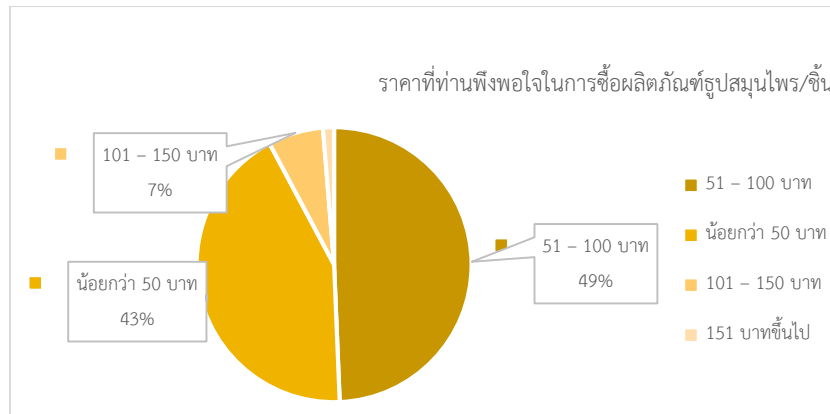
4.1 ผลการวิจัยที่ตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 จากการเก็บข้อมูลแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 77 คน แยกกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้หญิง จำนวน 50 คน เป็นผู้ชาย จำนวน 27 คน ผลการตอบแบบสอบถามความต้องการ ดังนี้

1) ผลความคิดเห็นของกลุ่มประชากรตัวอย่างต่อข้อพิจารณาในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากพิจารณา เรื่องกลิ่น เป็นอันดับที่หนึ่ง จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 61 อันดับที่สองพิจารณาเรื่องราคา จำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 49 อันดับที่สามพิจารณาความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 42 ดังแสดงภาพที่ 1



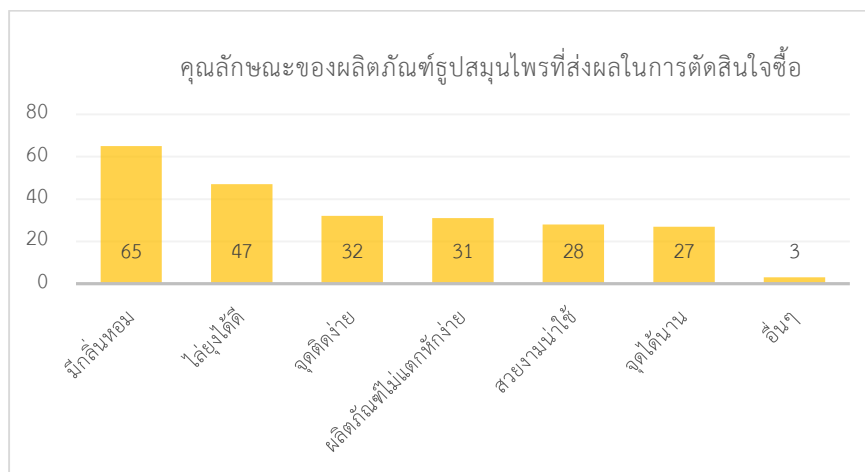
ภาพที่ 1 ข้อพิจารณาในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา

2) ผลความคิดเห็นของกลุ่มประชากรตัวอย่างต่อราคาที่พึงพอใจในการซื้อผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามพึงพอใจผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรรวมชนบ้านร่องปลายนา เป็นอันดับที่หนึ่ง คือ 51 – 100 บาท/ชิ้น จำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 49 อันดับที่สอง น้อยกว่า 50 บาท/ชิ้น จำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 43 อันดับที่สาม 101-150 บาท/ชิ้น จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 7 ดังแสดงภาพที่ 2



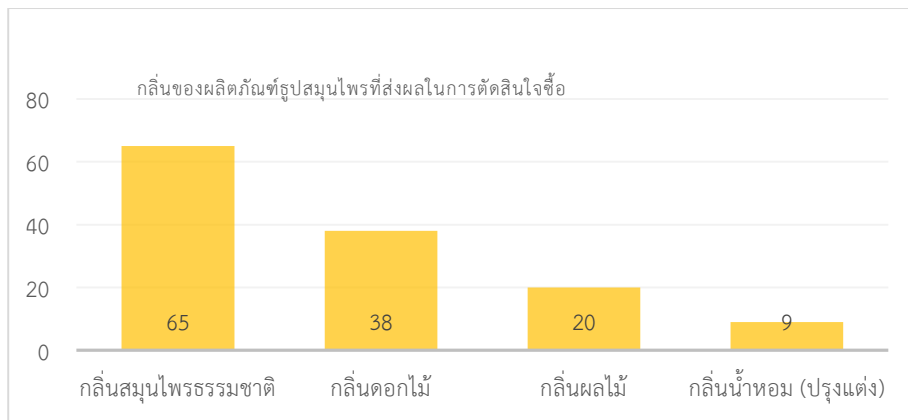
ภาพที่ 2 ราคาที่พึงพอใจในการซื้อผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสมุนไพร/จีน

3) ผลความคิดเห็นของกลุ่มประชากรตัวอย่างต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสมุนไพรที่ส่งผลในการตัดสินใจซื้อ พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสนใจต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสมุนไพร อันดับหนึ่ง คือ มีกลิ่นหอม จำนวน 65 คน คิดเป็นร้อยละ 84 อันดับที่สอง ใล่ยุ่งได้ดี จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 61 อันดับที่สาม จุดติดตั้งง่าย จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 42 อันดับที่สี่ ผลิตภัณฑ์ไม่แตกหักง่าย จำนวน 31 คน คิดเป็นร้อยละ 40 อันดับที่ยี่ห้า สวยงามน่าใช้ จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 36 อันดับที่ยี่หก จุดได้นาน จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 35 และลำดับสุดท้ายอื่น ๆ เช่นตรงตามวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์ ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นต้น คิดเป็นร้อยละ 4 ดังแสดงภาพที่ 3



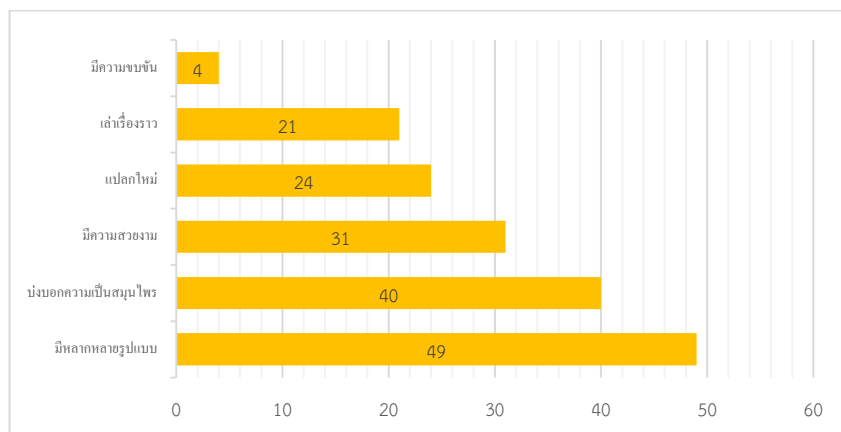
ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสมุนไพรที่ส่งผลในการตัดสินใจซื้อ

4) ผลความคิดเห็นของกลุ่มประชากรตัวอย่างต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสมุนไพรที่ส่งผลในการตัดสินใจซื้อ พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสนใจต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยสมุนไพร อันดับหนึ่ง คือ กลิ่นสมุนไพรธรรมชาติ จำนวน 65 คน คิดเป็นร้อยละ 84 อันดับที่สอง กลิ่นดอกไม้ จำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 49 อันดับที่ยี่สาม กลิ่นผลไม้ จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 26 และลำดับสุดท้าย กลิ่นน้ำหอม จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 12 ดังแสดงภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ส่งผลในการตัดสินใจซื้อ

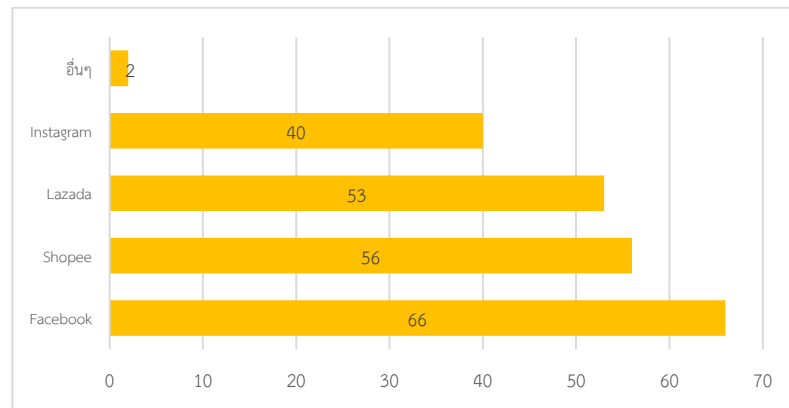
5) ผลความคิดเห็นของกลุ่มประชากรตัวอย่างต่อการออกแบบและความสวยงามของผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสนใจต่อการออกแบบและความสวยงามของผลิตภัณฑ์สมุนไพร อันดับหนึ่ง คือ มีหลากหลายรูปแบบ จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 64 อันดับที่สอง บ่งบอกความเป็นสมุนไพร จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 60 อันดับที่สาม มีความสวยงาม จำนวน 31 คน คิดเป็นร้อยละ 40 อันดับสี่ แปลกใหม่ จำนวน 24 คน คิดเป็นร้อยละ 31 อันดับห้า เล่าเรื่องราว จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 27 และลำดับสุดท้ายมีความซับซ้อนจำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 5 ดังแสดงภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การออกแบบและความสวยงามของผลิตภัณฑ์สมุนไพร

6) ผลความคิดเห็นของกลุ่มประชากรตัวอย่างต่อช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์สมุนไพรผ่านทางตลาดออนไลน์ พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสนใจต่อช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์สมุนไพร ผ่านทางตลาดออนไลน์อันดับหนึ่ง คือ Facebook จำนวน 66 คน คิดเป็นร้อยละ 86 อันดับที่สอง Shopee จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 73 อันดับที่สาม Lazada

จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 69 อันดับที่สี่ Instagram จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 53 และลำดับสุดท้ายอื่น ๆ เช่น ทุกช่องทาง จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 3 ดังแสดงภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรผ่านทางตลาดออนไลน์

4.2 ผลการวิจัยที่ตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการพัฒนาแบบผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ดังนี้

1) จากการลงพื้นที่เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพรของชุมชนบ้านร่องปลายนามีกรรมวิธีการผลิต คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบโดยวัตถุดิบประกอบไปด้วย 1. ตะไคร้หอม 2. ใบมะกรูด หรือผิวมะกรูด 3. ใบสะระแหน่ 4. ยางบง 5. ก้านรูป เก็บวัตถุดิบดังกล่าวมาแล้วนำมาสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปตากแห้ง เมื่อแห้งนำไปปั่นให้เป็นผงจากนั้นนำมาปั้นรูป โดยมีขั้นตอน คือ 1. แหย่ยางบงไว้ 1 คืน หรือ 12 ชั่วโมง เพื่อเป็นตัวประสานผงสมุนไพร 2. นำก้านรูปมาชุบยางบง และค่อยกลิ้งผงสมุนไพรให้ติดกับก้านไม้ที่เตรียมมา 3. กลิ้งจนได้ขนาดที่ต้องการ 4. นำรูปที่ได้ไปตากแห้ง โดยผู้วิจัยได้สรุปกรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพร ดังแสดงภาพที่ 7 จากกรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพรจะพบว่า ปัญหาและอุปสรรคในส่วนยางบงที่เป็นน้ำยาประสานเริ่มหายากและราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งยางบงต้องใช้ระยะเวลาในการแช่สมุนไพรครั้งละ 12 ชั่วโมงต่อการใช้งาน และยางบงไม่สามารถแช่ทิ้งไว้ข้ามคืนได้จะเกิดการเน่าเสียเกิดขึ้น และในส่วนการปั้นขึ้นรูปรูปสมุนไพรนั้นใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน 1 วันต่อคน 1 คน สามารถทำได้วันละ 100 - 300 ก้านแล้วแต่ความชำนาญ



ภาพที่ 7 กรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพร

และจากการจำแนกแยกแยะกรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพร สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ 1. ส่วนของวัตถุดิบ 2. การทำผงรูปสมุนไพร 3. การปั้นขึ้นรูปรูปสมุนไพร ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะพบว่า ในส่วนของกรรมวิธีการที่ 3 การปั้นขึ้นรูปรูปสมุนไพร จะเป็นส่วนที่พบปัญหามากที่สุด ทิศทางในการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนานั้น หากพัฒนาหรือลดทอนกระบวนการการปั้นขึ้นรูปรูปสมุนไพรได้ จะเป็นส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของกลุ่มได้มากยิ่งขึ้น

2) จากการวิเคราะห์ข้อมูลและทดลอง เพื่อหาข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพร ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการหาแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพร โดยผ่านแนวคิดของการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของ Alex Faickney Osborn (Osborn Alex F as cited in Chunthone, V. 2019, p. 168) โดยหลักทฤษฎีการออกแบบและการแก้ปัญหา คือ การสร้างหัวข้อคำถามให้นำไปคิดหรือนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้กับงานผ่าน Osborn's checklist ภายใต้คำถามดังนี้ (1) การทดแทน/แทนที่ (Substitute) (2) การผสม (Combine) (3) ปรับเปลี่ยน (Adapt) (4) ลดทอน / ขยาย (Minify / Magnify) (5) การประยุกต์ใช้ (Put to another use) (6) การตัดทิ้ง/การขจัดออก (Eliminate) (7) การกลับ (Reverse or Rearrange) (Chunthone, V. 2019, p. 168) โดยสามารถสรุปเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพร ดังตารางที่ 1 และดังแสดงภาพที่ 8

ตารางที่ 1 การใช้ Osborn's checklist เพื่อหาข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพร

ลำดับที่	Osborn's checklist	คำอธิบาย
1	การทดแทน/แทนที่ Substitute	- ทดแทนด้วยกระบวนการอื่นหรือการแทนที่ใหม่ - ออกแบบบรรจุภัณฑ์ใหม่ในรูปแบบของการผสมสมุนไพรจุดไต้ยุง วิธีการจุดแบบใหม่ที่แตกต่างกันจากการจุดแบบรูปสมุนไพร
2	การผสม Combine	- การผสมผสานสิ่งที่คล้ายๆ กัน หรือใกล้เคียงกันเข้าด้วยกัน - ผสมวัตถุดิบจากสมุนไพรที่ทำได้ในท้องถิ่นให้มีกลิ่นและสีที่หลากหลาย โดยคัดเลือกสมุนไพรที่มีคุณสมบัติในการไล่ยุง ได้แก่ ผงขมิ้น ผงขมิ้นชัน และผงกาแฟ
3	ปรับเปลี่ยน Adapt	- วิธีใช้งานแบบใหม่ ๆ - ทดลองจากการจุดรูปแบบเป็นก้อน มาลองปั้นเป็นรูปต่างๆพบว่าไม่ประสบความสำเร็จในเรื่องของความชื้นที่มักจะเกิดเชื้อรา อากาศต้องร้อน การตากขึ้นงานให้แห้ง และเวลาต่อขึ้นในการปั้น - ทดลองจุดเป็นผงพบว่า ผงสมุนไพรสามารถเผาไหม้ได้ จุดได้แต่ต้องมี การกดแม่พิมพ์ให้แน่นเป็นรูปทรง
4	ลดทอน / ขยาย Minify / Magnify	- เพิ่มหรือลดประโยชน์ใช้สอย เพิ่มความแข็งแรง ความสูง ความยาว - เพิ่ม กลิ่น สี ของผงสมุนไพร ที่สามารถจุดไต้ยุงได้ โดยต้องเป็นสมุนไพรที่สามารถหาได้ในชุมชน
5	การประยุกต์ใช้ Put to another use	- การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ไปใช้ประโยชน์ให้เข้ากับสิ่งอื่น - สามารถประยุกต์ใช้เป็นจุดเพื่อความผ่อนคลายได้ในสมุนไพรอื่น ๆ ในอนาคต
6	การตัดทิ้ง/การขจัดออก Eliminate	- การตัดบางส่วนของผลิตภัณฑ์ออกเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกหรือสามารถเปลี่ยนรูปทรงของผลิตภัณฑ์ให้รูปลักษณะดูสวยงามมากยิ่งขึ้น - จากการทดลองจุดเป็นผง สามารถช่วยลดกระบวนการผลิตในส่วนปั้นขึ้นรูปได้เนื่องจากการปั้นขึ้นรูปปูนนั้นใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน 1 วันต่อคนสามารถทำได้วันละ 100 - 300 ก้อน แล้วแต่ความชำนาญ และยาบงที่เป็นน้ำยาประสานเริ่มหายาก อีกทั้งยาบงต้องใช้ระยะเวลาในการแช่สมุนไพร ครั้งละ 12 ชั่วโมงต่อการใช้งาน และยาบงไม่สามารถแช่ทิ้งไว้ข้ามคืนได้จะเกิดการเน่าเสียเกิดขึ้น
7	การกลับ Reverse or Rearrange	- กลับสลับบทบาท กลับหน้ากลับหลัง เปลี่ยนใหม่จากเดิม ๆ ที่มีอยู่ทำให้เกิดผลตรงกันข้าม



ภาพที่ 8 Osborn's checklis

ผลงานต้นแบบของการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนา ผู้วิจัยได้ตัดสินใจขั้นตอนการปั้นขึ้นรูป โดยนำผงสมุนไพรมาจุด อีกทั้งได้ปรับกลิ่นสมุนไพรให้มีความหลากหลาย กลิ่นและสี ประกอบด้วย กลิ่นดั้งเดิม กลิ่นขมิ้น กลิ่นขมิ้นชัน กลิ่นกาแฟ การเพิ่มกลิ่นจะวิเคราะห์จากสมุนไพรที่จุดได้และต้องเป็นสมุนไพรที่สามารถหาได้ในชุมชน จากนั้นนำผงมากดลงบนแผ่นรองจุด โดยมีแม่พิมพ์ที่คนในชุมชนมีศักยภาพในการผลิตจากนั้นจุดผงสมุนไพร 1 กล่อง ผงสมุนไพรไล่ยุง จะมีบรรจุ 4 ซอง 4 กลิ่น มีแผ่นรองจุดและแม่พิมพ์ในการกดผงสมุนไพรไล่ยุง 1 ซองบรรจุ 10 กรัม จุดได้ 5 ครั้ง 1 ครั้งจุดได้ไม่เกิน 20 นาที และมีผลการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไล่ยุงแบบเดิมและผลิตภัณฑ์ผงสมุนไพรไล่ยุงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไล่ยุงและผลิตภัณฑ์ผงสมุนไพรไล่ยุง

ลำดับที่	รายละเอียด	ผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไล่ยุงแบบเดิม	ผลิตภัณฑ์ผงสมุนไพรไล่ยุงแบบใหม่
1	วัตถุดิบ *เพิ่มเติม	1. ไม้ 2. ยางบัง (ค่อนข้างหายากแล้วจะต้องเสียเวลาในการแช่ 24 ชม. อีกทั้งถ้าแช่ค้างไว้เกิดการเน่าเสียได้)	1. ผงขมิ้น 2. ผงขมิ้นชัน 3. ผงกาแฟ (เน้นหาได้ในชุมชน)
2	กรรมวิธีการผลิต	1. ส่วนของวัตถุดิบ 2. การทำผงรูปสมุนไพร 3. การปั้นขึ้นรูปรูปสมุนไพร	1. ส่วนของวัตถุดิบ 2. การทำผงรูปสมุนไพร
3	ระยะเวลาในการปั้นขึ้นรูปรูปสมุนไพร	100-300 ก้อน/คน *แล้วความชำนาญ	ไม่มี

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไพล่และผลิตภัณฑ์ผงสมุนไพรไพล่ (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียด	ผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไพล่แบบเดิม	ผลิตภัณฑ์ผงสมุนไพรไพล่แบบใหม่
4	น้ำหนักผงสมุนไพรไพล่ต่อกรัมในการผลิต	20 กรัม/ ก้าน 1 ซองมี 5 ก้าน	10 กรัม / ซอง 1 กล่องมี 4 ซอง *(ลดปริมาณการใช้ผงสมุนไพรไพล่ได้ 60 กรัมจากรูปแบบเดิม)
5	ระยะเวลาในการจุด	1 ก้าน/ 30-60 นาที	10 กรัมจุดได้ 5 ครั้ง ครั้งละ 20 นาที
6	จำนวนกลิ่น/สี	1 กลิ่น 1) กลิ่นดั้งเดิม	4 กลิ่น ได้แก่ 1) กลิ่นดั้งเดิม 2) กลิ่นขมิ้น 3) กลิ่นขมิ้นชัน 4) กลิ่นกาแฟ
7	การขนส่ง	แตกหักง่ายและเป็นฝุ่นผง	น้ำหนักเบา
8	ราคาจำหน่าย	20 บาทต่อถุง	79 - 99 บาทต่อกล่อง

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 จากข้อมูลแบบสอบถามของกลุ่มประชากรตัวอย่างพบว่าให้ความสำคัญในการพิจารณาการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไพล่อบดับแรก ได้แก่ เรื่องกลิ่น โดยกลิ่นที่ให้ความสนใจคือกลิ่นสมุนไพรธรรมชาติ อันดับที่สอง ได้แก่ เรื่องราคา โดยราคาที่พึงพอใจในการซื้อผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพร คือ 51 – 100 บาทต่อชิ้น และการออกแบบของผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ คือมีความหลากหลายรูปแบบบ่งบอกความเป็นสมุนไพรและให้ความสนใจต่อช่องทางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรผ่านทางตลาดออนไลน์ คือ Facebook

5.2 สรุปผลและอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรชุมชนบ้านร่องปลายนาได้แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์แบบสอบถามข้อมูลความต้องการของผู้บริโภค การวิเคราะห์ข้อมูลกรรมวิธีการผลิตหรือกระบวนการผลิต รวมทั้งผ่านแนวคิดของการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ โดยการใช้ Osborn's checklist เพื่อพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพรไพล่ให้เป็นลักษณะผงสมุนไพรจุดไพล่ที่สามารถตอบรับกับความต้องการของผู้บริโภคในแง่ของความหลากหลายของรูปแบบวิธีการจุด กลิ่น ในส่วนกรรมวิธีการผลิตหรือกระบวนการผลิตนั้นสามารถลดกระบวนการในส่วนการปั้นขึ้นรูปและไม่ต้องใช้ยางบง ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตและมีส่วนช่วยแก้ไขปัญหาด้านผลิตภัณฑ์เดิมที่มีปัญหาในเรื่องของ 1) ขนาดของรูปสมุนไพรมีขนาดใหญ่ 2) ระหว่างการจุดรูปสมุนไพรจะมีกลิ่นไม่มากกว่ากลิ่นสมุนไพร 3) เก็บไว้นานจะเป็นฝุ่นผง 4) บรรจุภัณฑ์ไม่น่าสนใจ และ 5) เรื่องของความเชื่อการจุดรูปก้านเดียวเป็นการเรียกวิญญาณ อีกทั้งยังพัฒนาบรรจุภัณฑ์

ให้มีความทันสมัยสามารถขนส่งได้ง่ายอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Panalee, J. and Thongsin, S., 2020, p.7 ในมิติที่ว่า การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องของการตอบสนองของผู้บริโภค โดยศึกษาพฤติกรรมการใช้ของผู้บริโภค และคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง การตลาด ศิลปะการออกแบบ และกระบวนการผลิต จึงทำให้เกิดแนวทางและเงื่อนไขในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ que ้ตอบสนองกับความต้องการของตลาด และความเป็นไปได้ในการผลิต ทั้งนี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปสมุนไพร ผู้วิจัยได้คำนึงถึงหลักความสัมพันธ์ทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ 1. การตลาด ผ่านแบบสอบถามความต้องการของผู้บริโภค 2. กระบวนการผลิตผ่านการลงพื้นที่ศึกษากรรมวิธีการผลิตรูปสมุนไพรและการพูดคุยกับกลุ่มผู้ผลิต 3. ศิลปะการออกแบบผ่านการใช้ Osborn's checklist เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ชุมชนบ้านร่องปลายนา และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Panalee, J. and Thongsin, S. (2020). The Design of Shoulder Bags from Cattail Weeds, Case Study of the Community enterprise, Bang Kaew Sub-District, Ban Laem District, Phetchaburi. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. 13(1), 1-11. (in Thai)
- Chunthone, V. (2019). The Development of Hand-woven Textiles: The Change of Appearance and Function, A Case Study from Ratchaburi Province. **Journal of Fine Art**. 10(2), 159-180. (in Thai)
- Kaewchaloorn, A. and Pianthong, N. (2012). Product Development using the Quality Function Deployment a case study Herble Joss stichs. **UBU Engineering Journal**. 1, 29-39. (in Thai)
- Osborn Alex F. (2006). **Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem-Solving**, 3rd Ed., New York: Charles Scribner's Sons.

การพัฒนาเครื่องอัดรีดเพื่อการผลิตเส้นพลาสติก สำหรับการพิมพ์ 3 มิติ จากวัสดุรีไซเคิล

Development of an Extruder in the Making of 3D Printing Filament from Recycled Plastics

วีระยุทธ จิตวิริยะ^{1*}, สิตติชัย ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์² และบุญฤทธิ์ แก้วประชุม³

Weerayut Jitwiriya^{1*}, Sittichai Limrungruengrat² and Boonrit Kaewprachum³

^{1*,2,3}คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

^{1*,2,3}College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

E-mail : weerayut.j@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ 25 พฤษภาคม 2564

Received May. 25, 2021

วันที่รับแก้บทความ 27 กรกฎาคม 2564

Revised Jul. 27, 2021

วันที่ตอบรับบทความ 6 กันยายน 2564

Accepted Sep. 6, 2021

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมสมัยใหม่ วัสดุสำหรับการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติเป็นพลาสติกมีราคาแพง นอกจากนี้ในปัจจุบันพบปัญหาด้านขยะพลาสติกมีจำนวนมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกรีไซเคิลสำหรับงานพิมพ์ 3 มิติ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดรีด คุณภาพของการอัดรีด คุณภาพการพิมพ์ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พลาสติกรีไซเคิล 3 ประเภทที่ทำการทดลองในศึกษานี้คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) อะคริโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) เครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกรีไซเคิลที่สร้างขึ้น สามารถทำงานแบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (PLC) โปรแกรมควบคุมระบบความร้อนและระบบม้วนจัดเก็บเส้นพลาสติกถูกเพิ่มในเครื่องอัดรีดด้วย ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดรีดอยู่ที่ร้อยละ 72.9 ถึงร้อยละ 78.3 การทดสอบการอัดรีดเส้นพลาสติกรีไซเคิล PLA ไม่สามารถอัดรีดและคงตัวตามรูปแบบของหัวดายได้ ส่วนพลาสติกรีไซเคิล HDPE และ ABS สามารถอัดรีดออกมาเป็นเส้นพลาสติกได้ด้วยคุณภาพความกลมร้อยละ 60 (HDPE) และร้อยละ 78 (ABS) นอกจากนี้ การทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติของ ABS แสดงผลลัพธ์ที่ดีกว่า HDPE อย่างมีนัยสำคัญในแง่ของความสมบูรณ์ของพื้นผิวสำเร็จ ความง่ายในการพิมพ์และการยึดติดกันระหว่างชิ้นในด้านเศรษฐศาสตร์ จะเห็นว่าพลาสติกรีไซเคิล ABS สามารถทดแทนวัสดุสำหรับงานการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ได้และลดต้นทุนค่าวัสดุลงได้มากถึงร้อยละ 38.5

คำสำคัญ: เครื่องอัดรีดเส้นพลาสติก, การรีไซเคิลขยะพลาสติก, งานพิมพ์ 3 มิติ, วัสดุทดแทน

Abstract

3D printing has escalated in popularity in modern engineering design. Plastic materials for 3D printing are expensive and the large increase in the amount of plastic waste is an issue nowadays. Thus, this research aimed to develop a recycled plastic extruder for 3D printing by considering the performance of the extruder, the quality of extrusion, the quality of 3D printing, and the economic aspect. Three sample types of recycled plastics were experimented with in this study: 1) High Density Polyethylene (HDPE); 2) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS); and 3) Polylactic Acid (PLA). The created recycled plastics extruder was programmed and automatically operated by an application of Programmable Logic Controller (PLC). A thermo controller and a rolling storage system were extended onto the device. The average efficiency test result of the extruder was 73.9% to 78.3%. In the extrusion experiment, the PLA recycled plastic could not be extruded into strands and stabilized according to the die shape, whereas the recycled plastics of HDPE and ABS could be extruded into strands with physical roundness of 60% and 78% respectively. Moreover, the 3D printing experiment of ABS showed a significantly greater result over HDPE in terms of surface completion, facility of printing and adhesiveness among layers of printing. Economically, it can be highlighted that the ABS recycled plastic can be an alternative 3D printing material with a cost reduction at 38.5%.

Keywords: Plastics Extruder, Plastics Waste Recycling, 3D Printing, Alternative Material

1. บทนำ

การออกแบบชิ้นงานในปัจจุบันมีการพัฒนาและใช้เทคโนโลยีการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ 3 มิติ กันอย่างแพร่หลาย (Shahrubudin, N., et al., 2019) (Srinivasa, P., et al., 2018) โดยมีบทบาทและความสำคัญเป็นอย่างมากทั้งในวงการอุตสาหกรรม การแพทย์ การวิจัยและการศึกษา สำหรับการช่วยสร้างชิ้นงานต้นแบบหรือการสร้างชิ้นส่วนทดแทนต่าง ๆ วัสดุพลาสติกที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ PLA และ ABS คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันสามารถจำแนกได้ดังนี้ ความง่ายในการพิมพ์ขึ้นรูป รูปลักษณ์ของชิ้นงานเมื่อพิมพ์เสร็จ ความแข็งแรงของชิ้นงาน ความยืดหยุ่น การทนต่อแรงกระแทก การทนความร้อนและการเชื่อมประสานกันระหว่างชิ้น ในขณะการขึ้นรูป เป็นต้น สำหรับการสร้างชิ้นงานที่ไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพของชิ้นงานที่ดีมากนัก การใช้วัสดุทดแทนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการสิ้นเปลืองในการสร้างชิ้นงานต้นแบบได้

ในปัจจุบันมีการใช้สิ่งของและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ผลิตจากพลาสติกในชีวิตประจำวัน เป็นปริมาณมากและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากเช่นกัน (Buranasing, N., 2019) ดังนั้นทางภาครัฐจึงให้ความสำคัญกับผลเสียที่เกิดจากขยะพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตและมลพิษในสิ่งแวดล้อม จึงได้มีนโยบายเร่งด่วนเพื่อตอบสนองต่อปัญหาและแก้ไข ปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น จากการศึกษาปริมาณขยะภายนอกประเทศ (Wasadadamrongdee, S., 2019) พบว่าปริมาณขยะพลาสติกมากกว่าร้อยละ 79 ยังคงสะสมตกค้างในสิ่งแวดล้อม

โดยมีเพียงร้อยละ 9 ที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ (รีไซเคิล) ส่วนสถานการณ์ขยะพลาสติกในกรุงเทพ (Phromphak, C., 2020) ยังคงพบขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษางานวิจัยวิธีการแก้ไข และแนวทางการลดขยะพลาสติกจากต่างประเทศ (Muhammad, I. et al., 2018) จากปี ค.ศ.1999 ถึง ค.ศ.2017 ได้มีการนำเสนอหลากหลายเทคนิคในการกำจัดขยะพลาสติก โดยเทคนิคที่ไม่มี ความซับซ้อนและสะดวกต่อการนำมาประยุกต์ใช้คือ การรีไซเคิลและการแปลงเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับทางภาคเอกชน (Green Globe Institute, 2018) ดังนั้นการนำขยะพลาสติกมาสร้าง มูลค่าด้วยการนำมารีไซเคิลจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจอย่างมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำประเด็นค่าวัสดุพลาสติกสำหรับงานขึ้นรูป 3 มิติ และปัญหาด้านขยะ พลาสติกมาประยุกต์เข้าด้วยกัน ด้วยการออกแบบและการสร้างเครื่องอัดรีด (Extruder) ตัวเครื่อง สามารถควบคุมอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพลาสติกแต่ละชนิดแบบอัตโนมัติ และสามารถหมุนเก็บไว้ในที่หมุนเก็บเส้นพลาสติกได้ มีการทดสอบการรีดเส้นพลาสติก การพิมพ์ขึ้นรูป ประสิทธิภาพ ของเครื่องอัดรีดและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าสำหรับการนำพลาสติกกรีไซเคิลมาใช้ในการพิมพ์ ขึ้นรูป 3 มิติ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกที่สามารถควบคุมการทำงาน แบบอัตโนมัติด้วย PLC สำหรับพลาสติกกรีไซเคิลชนิด PLA ABS และ HDPE

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดรีด

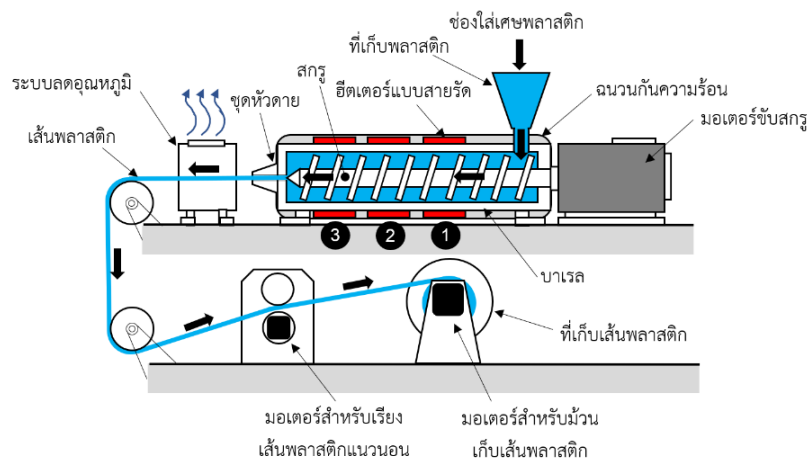
2.3 เพื่อศึกษาคุณภาพของการอัดรีดเส้นพลาสติกและการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ

2.4 เพื่อประเมินความคุ้มค่าจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำพลาสติกกรีไซเคิล เป็นวัสดุทดแทนในงานขึ้นรูป 3 มิติ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แนวคิดการออกแบบเครื่องอัดรีด

หลักการออกแบบเครื่องอัดรีดและระบบควบคุมการทำงานด้วย PLC แบบอัตโนมัติ ตามภาพที่ 1 เศษพลาสติกส่งผ่านบาเรลด้วยสกรูเดี่ยว (Single screw) ขณะเดียวกันถูกให้ความร้อน ด้วยฮีตเตอร์ 3 ชุด และเคลื่อนที่ผ่านหัวดายที่มีหน้าตัดแบบวงกลม 1.75 mm ชนิดของพลาสติก รีไซเคิลที่เลือกมาใช้ คือ PLA ABS และ HDPE คุณสมบัติพื้นฐาน อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่ง ของบาเรล (T_1 , T_2 และ T_3) และอุณหภูมิของการหลอมเหลว (T_m) ของพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1 มีสเต็ปมิ่งมอเตอร์ (Stepping motor) ที่สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของสกรู มีระบบจัดเรียงเส้นพลาสติกเข้าโรลเก็บ มีเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) type J สำหรับการวัด อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของบาเรลจำนวน 3 ตัว ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องอัดรีดสามารถ ควบคุมและกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังนี้ อัตราการป้อนพลาสติก การทำงานของฮีตเตอร์ ความเร็ว ในการเก็บเส้นพลาสติกเข้าม้วนและอุณหภูมิที่บาเรล รวมถึงมีระบบการเก็บค่าตัวแปรข้อมูล ทั้งอุณหภูมิของบาเรลแต่ละตำแหน่ง ความเร็วของเส้นพลาสติกและความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน



ภาพที่ 1 แนวคิดการออกแบบเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติก

ตารางที่ 1 สมบัติของพลาสติก

ชนิดพลาสติก	ρ (kg/m ³) (ASTM D1505)	C_p (KJ/kg·°C) (ASTM E1269)	T_m (°C)	T_{zone} (°C)		
				T ₁	T ₂	T ₃
ABS	1030 – 1090	1.67	196.1 – 225.6	179.4 – 205.6	198.9 – 230.0	182.2 – 235.0
PLA	1240 -1270	1.80	190.0 – 230.0	160.0 – 180.0	168.9 – 200.6	175.0 – 205.6
HDPE	942 – 988	1.90-1.92	181.1 – 218.3	135.0 – 241.1	162.8 – 221.1	156.7 – 235.6

3.2 การคำนวณเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติก

1) การประมาณขนาดของเครื่องอัดรีดตามขนาดของสกรู (Ugboya, A.P. Et al., 2019) กำหนดให้สกรูเป็นแบบสกรูเดี่ยวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ความยาวของบาริลจากช่องใส่พลาสติกจนถึงหัวตาย 600 mm ช่วงการป้อน 100 mm ช่วงการอัดตัว 300 mm ช่วงปลายบาริล 200 mm ระยะพิทของสกรู (β) 25 mm ความหนาของสันสกรู (e) 2.5 mm ความลึกของฟันสกรู (H) 2.5–3.75 mm ระยะห่างระหว่างสันสกรูและบาริล (δ) 0.0625 mm มุมองศาของสกรู (θ) 17.65° และขนาดของหัวตายมีโปรไฟล์เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 mm

2) การประมาณความร้อนสำหรับการหลอมมวลพลาสติกภายในเครื่องอัดรีดตามสมการ 1 คือ $\dot{m}_c c_p \Delta T + \dot{m}_c \Delta h_f$ และการสูญเสียความร้อนสู่แวดล้อมคือ $\dot{q}_{loss}$ โดยที่ $\dot{q}_{heat}$ คือ พลังงานความร้อนที่ต้องการ (W), $\dot{m}_c$ คือ อัตรามวลพลาสติก (kg/s), c_p คือ ค่าความจุความร้อนของพลาสติก (J/kg·°C), ΔT คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (°C), Δh_f คือ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (J/kg) และ $\dot{q}_{loss}$ คือ การสูญเสียความร้อนสู่แวดล้อม (W)

$$\dot{q}_{heat} = \dot{m}_c c_p \Delta T + \dot{m}_c \Delta h_f + \dot{q}_{loss} \quad (1)$$

กำหนดการพิจารณาเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบ 1 มิติ ของพลาสติกในตารางที่ 1 ณ สภาวะคงที่ จากอุณหภูมิเริ่มต้น 30°C (T_i) ไปจนถึงอุณหภูมิหลอมเหลว 250°C (T_o) อัตราการผลิตเส้นพลาสติก 50 cm/min ส่วน Δh_f มีค่าเป็น 0 เนื่องจากโครงสร้างของพลาสติกเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) ความร้อนที่ต้องใช้ในการหลอมเหลวพลาสติกอยู่ที่ 8 W 8.3 W และ 10.1 W ของ ABS HPDE และ PLA การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่พื้นผิวของบาริลกับอากาศแวดล้อมเป็นการพาความร้อนแบบอิสระ (John, H.L. IV and John, H.L. V, 2019) อากาศเคลื่อนที่ผ่านรูปทรงกระบอกในแนวนอนขนานกับพื้นจากล่างขึ้นบน บาริลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 90 mm อุณหภูมิฟิล์มเท่ากับค่าเฉลี่ยของ T_i และ T_o ค่า Kinematic Viscosity (ν) $2.773 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ค่าการนำความร้อน (k) 0.034 W/m.K และ Prandtl number (Pr) 0.704 สามารถคำนวณค่า Rayleigh number (Ra) ได้ 3.492×10^{-6} ค่า Nusselt number (Nu) ได้ 20.786 และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ประมาณ $7.86 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ดังนั้นปริมาณการสูญเสียความร้อน ($\dot{q}_{loss}$) จากพื้นผิวบาริลภายนอกสู่อากาศแวดล้อมเท่ากับ 244.7 W เพราะฉะนั้นจากสมการ (1) พิจารณาเฉพาะ PLA (ค่ามากที่สุด) จะได้ความร้อนที่ต้องการทั้งหมด 254.8 W มี Safety Factor (S.F.) เท่ากับ 4 จะได้ 1,019.2 W สรุปเลือกใช้ฮีตเตอร์แบบสายรัดขนาด 350 W จำนวน 3 ชุด

3) การประมาณขนาดกำลังมอเตอร์ขับเคลื่อน (Ugboya, A.P. Et al., 2019) ความเร็วรอบของสกรู N หาได้จากสมการ (2) โดยกำหนดให้มีปริมาตรการไหลมากที่สุด (Q_{max}) มีค่าเท่ากับอัตราการไหลแบบแรงจุด (Q_d) $2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ ของ PLA การรั่วระหว่างสกรูและบาริล (Q_l) และอัตราการไหลจากความดันตกคร่อม Q_p มีค่าเท่ากับ 0 m^3/s ดังนั้น N มีค่าประมาณ 73.42 rpm กรณีพิจารณาความดันสูงสุด (P_{max}) ที่ปลายทางออกของหัวตายเกิดขึ้นเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้น Q_p เท่ากับ Q_d แสดงได้ตามสมการ (3) โดยที่ η คือ ความหนืดของพลาสติกเหลว กำหนดให้มีค่าประมาณ $8.9 \times 10^5 \text{ Pa.s}$ ดังนั้น P_{max} มีค่าประมาณ $4.012 \times 10^9 \text{ Pa}$ เพราะฉะนั้นขนาดของสเต็ป มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนคำนวณจากผลคูณของ P_{max} และ Q_{max} โดยมี S.F. เท่ากับ 1.5 จะได้ขนาดของสเต็ปมอเตอร์ประมาณ 120.68 W ที่ความเร็วรอบไม่น้อยกว่า 110 rpm

$$N = \frac{2Q_{max}}{\pi DWH(\cos \theta)} \quad (2)$$

$$P_{max} = \frac{6\eta\pi LDN(\cos \theta)}{H^2(\sin \theta)} \quad (3)$$

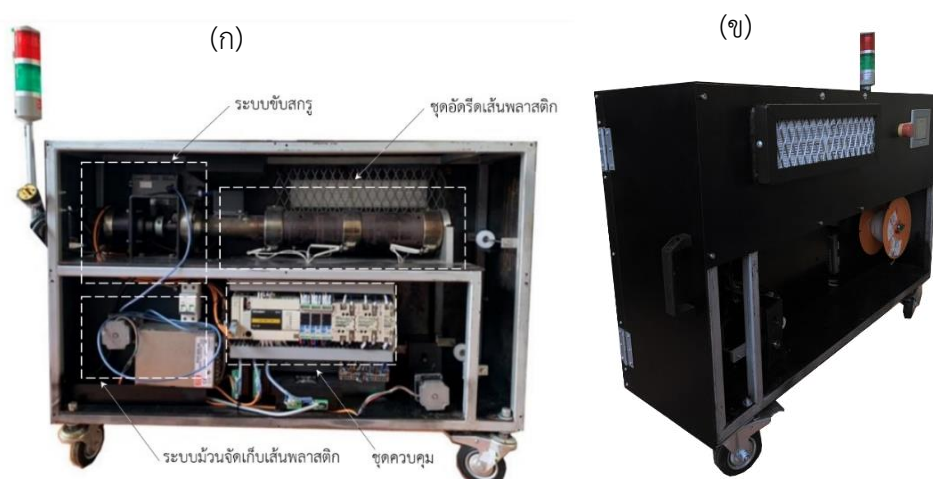
3.3 ระบบควบคุม

การควบคุมเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกใช้ PLC รุ่น FX-3U16MT เป็นหน่วยประมวลผล มีการรับและส่งสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจากอุปกรณ์ภายนอกผ่านหน้าจอ HMI แบบทัชสกรีน สำหรับการสั่งการทำงานและตั้งค่าการทำงานของส่วนต่าง ๆ โดยที่ Port ของ PLC สามารถเก็บข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ในระบบผ่านทางช่อง USB เช่น วัน เวลา อุณหภูมิ ความเร็วรอบมอเตอร์ ความยาวของเส้นพลาสติกและความเร็วในการผลิตของเส้น สามารถตั้งค่าโปรแกรมสำหรับการรักษา

ระดับของอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพลาสติกแต่ละชนิด ($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$) มีฟังก์ชันควบคุมการหมุนของสตีปิ้งมอเตอร์สำหรับการป้อนและระบบม้วนเก็บเส้นพลาสติกแบบอัตโนมัติ

3.4 การสร้างชุดเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกรีไซเคิล

จากการออกแบบในหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.3 จึงสามารถสร้างชุดเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกรีไซเคิลได้ดังภาพที่ 2 (ก) โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้ ระบบขับเคลื่อนสกรู ชุดอัดรีดเส้นพลาสติก ระบบม้วนจัดเก็บเส้นพลาสติกและชุดควบคุม ส่วนในภาพที่ 2 (ข) แสดงลักษณะภายนอกเครื่องอัดรีด



ภาพที่ 2 เครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกรีไซเคิล (ก) ส่วนประกอบภายใน (ข) ลักษณะภายนอก

4. ผลการวิจัย

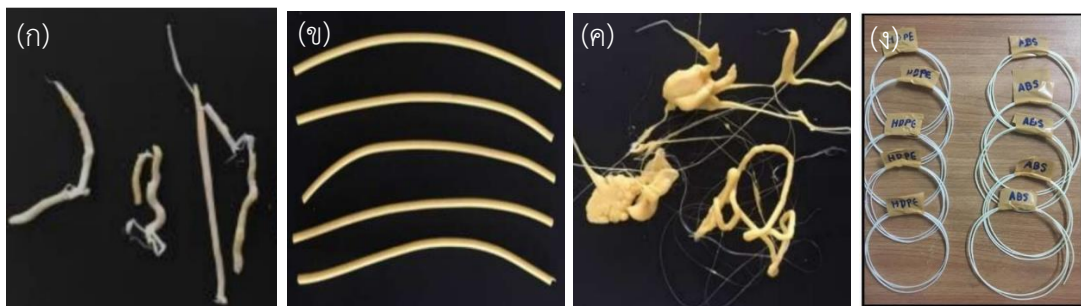
4.1 การทดสอบคุณภาพการอัดรีดเส้นพลาสติก

การทดลองและการวิเคราะห์มีการทดสอบการปรับค่าความเร็วรอบของสกรูที่ 60 rpm, 65 rpm, 70 rpm, 75 rpm และ 80 rpm ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยในการรีดเส้นพลาสติกจากการทดสอบการให้ความร้อนกับบาร์เล่เบื้องต้นพบว่า ขนาดสเกลของบาร์เล่ไม่ใหญ่มากและตำแหน่งของฮีตเตอร์ห่างกันไม่มากตามภาพที่ 1 จึงส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของบาร์เล่ที่ 3 ตำแหน่งต่างกันประมาณ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ การทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้นของพลาสติก 3 ชนิด ที่ความเร็วรอบขับเคลื่อน 60 rpm พบว่าสามารถเริ่มต้นกระบวนการอัดรีดได้ ABS ที่ 170°C PLA ที่ 120°C และ HDPE ที่ 155°C ดังนั้นการตั้งค่าอุณหภูมิในการรีดเส้นพลาสติกแสดงได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การตั้งค่าอุณหภูมิในการทดลองการอัดรีดพลาสติก

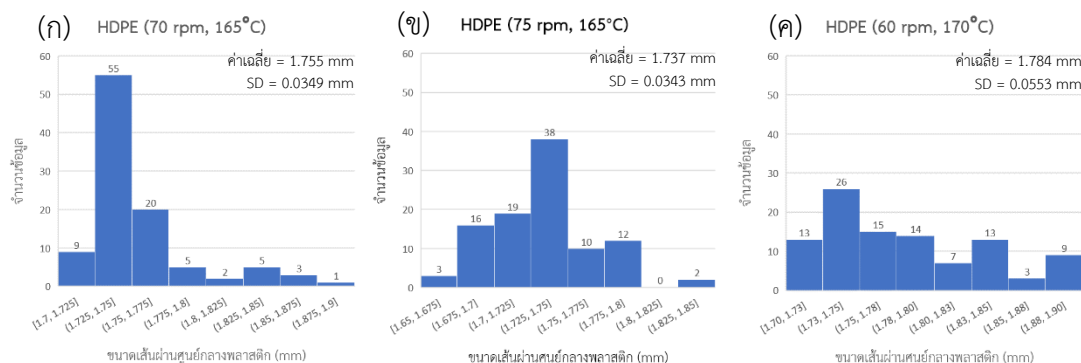
พลาสติก	อุณหภูมิที่ 1	อุณหภูมิที่ 2	อุณหภูมิที่ 3	อุณหภูมิที่ 4	อุณหภูมิที่ 5
ABS	$170.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$175.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$180.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$185.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$190.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$
PLA	$120.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$130.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$140.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$150.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$160.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$
HDPE	$155.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$160.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$165.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$170.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$	$175.0 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$

ผลการอัดรีดเส้นพลาสติก HDPE ABS และ PLA จากการเก็บข้อมูลด้วยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียร์ดิจิตอลความละเอียด 2 ตำแหน่ง การวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางทุก ๆ 90 องศา (จำนวน 2 ข้อมูลต่อ 1 จุด และหาค่าเฉลี่ย) สำหรับในทุก ๆ ความยาว 10 cm เป็นความยาวต่อเนื่องทั้งหมด 10 m จำนวนการทดลองละ 10 ชุดข้อมูล พบว่าการอัดรีดเส้น PLA ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 120°C ไม่สามารถอัดฉีดขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ชุดขับเคลื่อนสกรูเกิดเสียงขัดกันภายในเนื่องจากอุณหภูมิในการหลอมเหลวไม่มากพอ ส่วนภาพที่ 3 (ก) คือผลการอัดรีดเส้นที่อุณหภูมิเฉลี่ย 130°C พบว่าเส้นพลาสติกมีลักษณะโค้งงอ ขาดจากกันได้ง่ายไม่สามารถดึงเป็นเส้นได้ ส่วนผลของการอัดรีดที่อุณหภูมิเฉลี่ย 140°C แสดงตามภาพที่ 3 (ข) พบว่าเส้นพลาสติกสามารถอัดรีดเป็นเส้นได้เกือบสมบูรณ์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2.3 mm มีลักษณะแข็งกรอบ แตกหักได้ง่าย ไม่มีความยืดหยุ่น จึงไม่สามารถม้วนเก็บได้ ส่วนผลการอัดรีดที่อุณหภูมิ 150°C ตามภาพที่ 3 (ค) พบว่าลักษณะของเส้นพลาสติกเหลวมากเกินไปและแข็งตัวเป็นก้อนอย่างรวดเร็วจากผลลัพธ์ดังกล่าว จึงได้ทดสอบเพิ่มเติมที่อุณหภูมิเฉลี่ย 145°C พบว่าได้ผลคล้ายคลึงกับการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C

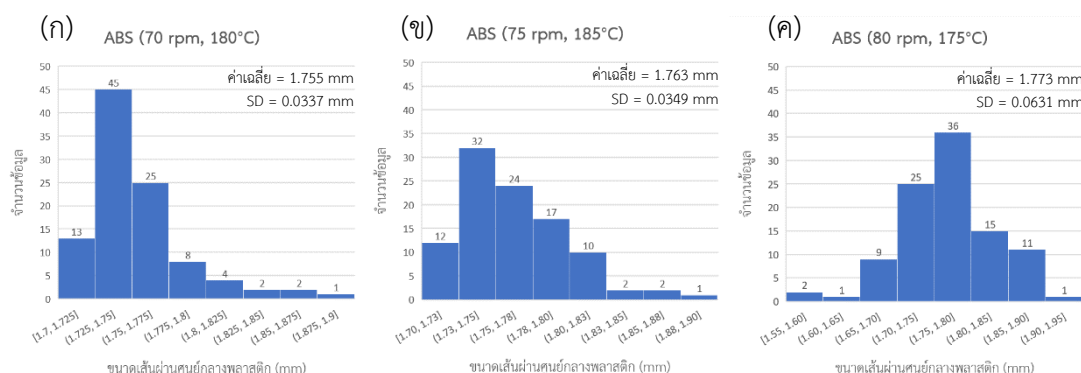


ภาพที่ 3 ผลการอัดรีดเส้น (ก) PLA อุณหภูมิ 130°C (ข) PLA ที่อุณหภูมิ 140°C (ค) PLA ที่อุณหภูมิ 150°C (ง) HDPE และ ABS

ส่วน HDPE และ ABS สามารถอัดรีดเป็นเส้นและม้วนเก็บเข้าม้วนเก็บได้ ตามภาพที่ 3 (ง) ผลการอัดรีดเส้นพลาสติกชนิด HDPE และ ABS แสดงเป็นข้อมูลแบบแผนภูมิฮิสโตแกรมแจกแจงความถี่ของขนาดความกลมเส้นพลาสติก ความเร็วรอบในการอัดรีดเส้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของ HDPE คือ 70 rpm ที่ 165°C ในภาพที่ 4 (ก) รองลงมาเป็น 75 rpm ที่ 165°C ในภาพที่ 4 (ข) และ 60 rpm ที่ 170°C ในภาพที่ 4 (ค) ตามลำดับ ส่วน ABS คือ 70 rpm ที่ 180°C ในภาพที่ 5 (ก) รองลงมาเป็น 75 rpm ที่ 185°C ในภาพที่ 5 (ข) และ 80 rpm ที่ 175°C ในภาพที่ 5 (ค) ตามลำดับ

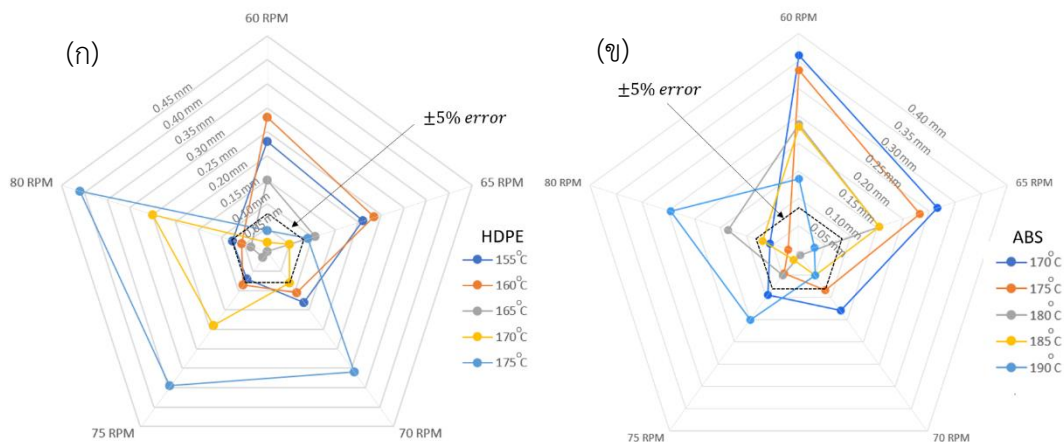


ภาพที่ 4 ข้อมูลการวัดขนาดเส้นพลาสติก HDPE (ก) ที่ 70 rpm อุณหภูมิ 165°C (ข) ที่ 70 rpm อุณหภูมิ 165°C (ค) ที่ 80 rpm อุณหภูมิ 175°C



ภาพที่ 5 ข้อมูลการวัดขนาดเส้นพลาสติก ABS (ก) ที่ 70 rpm อุณหภูมิ 180°C (ข) ที่ 75 rpm อุณหภูมิ 185°C (ค) ที่ 80 rpm อุณหภูมิ 175°C

เมื่อนำข้อมูลทุกสภาวะในการทดลองมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพเชิงสถิติด้วยการแสดงเป็นแผนภูมิเรดาร์ โดยข้อมูลแสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ต่างจากขนาดมาตรฐานที่กำหนด 1.75 mm สำหรับแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (แสดงเป็นจุดสีข้อมูล 5 อุณหภูมิ) และความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับการอัดรีด (60 rpm, 65 rpm, 70 rpm, 75 rpm, 80 rpm) แสดงตามภาพที่ 6 (ก) และภาพที่ 6 (ข) สำหรับพลาสติก HDPE และ ABS กำหนดโซนรอบค่าขนาดที่ยอมรับได้อยู่ที่ $\pm 5\%$ หรือ ± 0.0875 mm แสดงผลอยู่ภายในกรอบเส้นประและแสดงตามตารางที่ 3



ภาพที่ 6 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยขนาดความกลมของการอัดรีดพลาสติกกรีไซเคิล (ก) HDPE (ข) ABS

ตารางที่ 3 การตั้งค่าอุณหภูมิและความเร็วรอบในการอัดรีดพลาสติกที่น้อยกว่า error $\pm$ 5%

ชนิด	อุณหภูมิในกระบวนการอัดรีด ($^{\circ}$ C)				
	60 rpm	65 rpm	70 rpm	75 rpm	80 rpm
HDPE	170,175	170	165,170	155,165	155,160,165
ABS	-	170	175,180,190	175,180,185	170,175,180

ผลการอัดรีดเส้นพลาสติกทั้ง 3 ชนิด พบว่า ชนิด PLA ไม่สามารถอัดรีดขึ้นรูปเป็นเส้นได้ในทุก ๆ อุณหภูมิที่กำหนด เกิดจากส่วนผสมของสารเคมีของ PLA ที่ไม่เหมือนกันจากผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด จึงทำให้การหาจุดหลอมเหลวของ PLA และพฤติกรรมการแข็งตัวของพลาสติกเป็นไปได้อย่างยาก ส่วน HDPE และ ABS พบว่าเกิดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบของกระบวนการอัดรีด โดยที่ชนิด HDPE ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 165°C ลงมา ทำให้เส้นพลาสติกมีขนาดใกล้เคียงขนาดที่กำหนดมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงมากกว่า 165°C ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่ผกผันกัน ส่วนชนิด ABS ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 175°C ลงมา การเพิ่มความเร็วรอบส่งผลให้ขนาดของเส้นพลาสติกใกล้เคียงขนาดที่กำหนดมากขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 180°C 185°C และ 190°C โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมอยู่ที่ 70 rpm 75 rpm และ 65 rpm ตามลำดับ

4.2 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติก

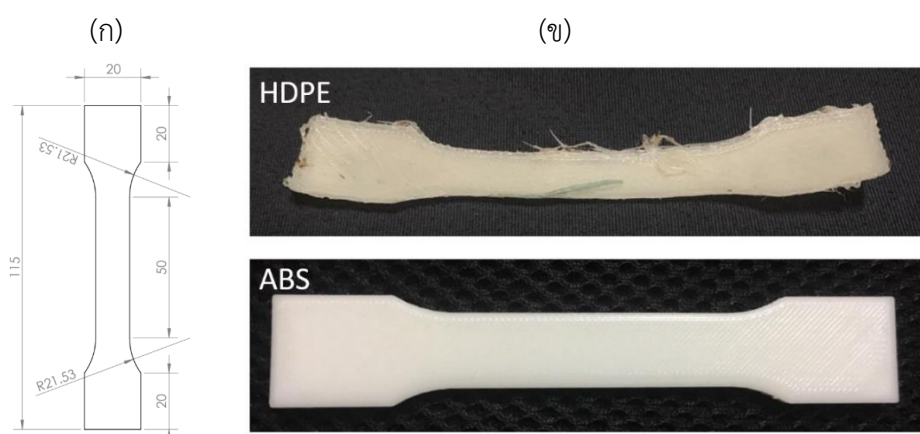
1) ประสิทธิภาพการผลิตเส้นพลาสติก จากสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของเศษมวลพลาสติกที่ใส่เข้าไปกับมวลเส้นพลาสติกที่ออกมา ที่ผลการทดลองการอัดรีดเส้นพลาสติกของ HDPE และ ABS มวล 100 g ที่ความเร็วรอบ 70 rpm และอุณหภูมิ 170°C เก็บข้อมูลมวลเส้นพลาสติกและเวลาในการอัดรีดอย่างละ 10 ชุดข้อมูล พบว่าชนิด HDPE ใช้เวลาเฉลี่ยในกระบวนการอัดรีดประมาณ 14.6 นาที ที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 72.9 ส่วนชนิด ABS ใช้เวลาเฉลี่ยในกระบวนการอัดรีดประมาณ 22.4 นาที ที่ประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 78.3

2) ประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิ จากการทดสอบโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการอัดรีดจากการกำหนดช่วงอุณหภูมิจากที่กำหนด $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ที่อุณหภูมิ 170°C ความเร็ว

รอบ 70 rpm เป็นเวลา 1 ชม เก็บข้อมูลทุก ๆ 10 วินาที ที่สภาวะของอุณหภูมิคงที่ของพลาสติก ABS และ HDPE พบว่ามีค่าผิดพลาดของอุณหภูมิที่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดใกล้เคียงกันเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.8

4.3 ผลการทดสอบการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากการนำเส้นพลาสติกกรีไซเคิล HDPE และ ABS ในหัวข้อ 4.1 มาขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ขนาดของเส้นพลาสติกกรีไซเคิลที่ผ่านเครื่องอัดรีดสามารถใช้งานผ่านเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้ทั้งหมด โดยมีรูปร่างและขนาดชิ้นงานตามภาพที่ 7 (ก) ผลการพิมพ์ 3 มิติ แสดงตามภาพที่ 7 (ข) พบว่า HDPE สามารถขึ้นรูปตามแบบที่กำหนดได้แต่ไม่สมบูรณ์ เกิดการหลุดออกจากฐานพิมพ์ เนื่องจากการหดตัว ลักษณะรูปร่างโดยรวมผิวชิ้นงานไม่เรียบและมีลักษณะแข็งเปราะ ส่วน ABS พบว่าสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ดี ผิวเรียบ แข็งแรงและมีรูปร่างตามที่กำหนด



ภาพที่ 7 (ก) รูปร่างชิ้นงานจากการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ (ข) ผลการขึ้นรูป 3 มิติ ของ HDPE และ ABS

4.4 การทดสอบการคุ้มค่าสำหรับการผลิตเส้นพลาสติกกรีไซเคิลทดแทน

1) การวิเคราะห์ต้นทุนเมื่อทดแทนวัสดุด้วยพลาสติกกรีไซเคิล คิดเป็นพลังงานความร้อน ร้อยละ 83.33 ระบบควบคุมร้อยละ 5.56 ระบบขับเคลื่อนและระบบจัดเก็บเส้นพลาสติก ร้อยละ 11.11 พลาสติกทั้งสองชนิดใช้พลังงานไฟฟ้าในการเตรียมระบบอยู่ที่ประมาณ 1,087 Watts เป็นเวลา 40 นาที (ฮีตเตอร์ที่งานร้อยละ 100) คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 0.725 หน่วย ส่วนพลังงานในกระบวนการอัดรีดประมาณ 1,166 Watts ใช้เวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 70 rpm คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.388 หน่วย กำหนดค่าไฟฟ้า 3.5 บาทต่อหน่วย การผลิต HDPE ได้ 100 g และ ABS ได้ 70 g ต้นทุนวัสดุพลาสติกกรีไซเคิล HDPE 60 บาท/kg และ ABS 43.75 บาท/kg ดังนั้นในการผลิตพลาสติกกรีไซเคิลมีต้นทุนทั้งหมดของ HDPE ประมาณ 77 บาท/kg และ ABS ประมาณ 67 บาท/kg โดยที่ม้วนพลาสติกใหม่ของ HDPE และ ABS มีราคาอยู่ที่ประมาณ 1,190 บาท/kg และ 400 บาท/kg จากผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า การใช้พลาสติกกรีไซเคิล HDPE ช่วยลดต้นทุนลงได้มากถึงร้อยละ 93.5 และที่ร้อยละ 83.3 สำหรับพลาสติกกรีไซเคิล ABS

2) การพิจารณาการคืนทุน (Jaturong, L., 2020) ตามตารางที่ 4 ด้วยการพิจารณารวมต้นทุนคงที่ (Fixed cost) จากราคาการสร้างเครื่องอัดรีด 60,000 บาท พิจารณาผลกำไรใน 1 วัน เครื่องทำงาน 6 ชม. อายุการทำงานของเครื่อง 5 ปี คิดราคาซากเป็นร้อยละ 10 ของราคาเครื่อง

ค่าแรงงานในการผลิต 225 บาทต่อวัน ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรคิดเป็นร้อยละ 100 ของค่าเสื่อมราคา ดังนั้นจะได้ต้นทุนรวมคงที่เป็น 68.2 บาท (ค่าเสื่อมราคา ค่าซ่อมบำรุง และค่าเสียโอกาส) ดังนั้นเวลาโดยประมาณสำหรับการคืนทุนของ HDPE คือ 36 วัน และ ABS คือ 448 วัน

ตารางที่ 4 การคิดต้นทุนรวมคงที่และเวลาคืนทุน

วัสดุ	กำลังการผลิต	ค่าไฟ	ค่าแรง	ต้นทุนรวม	ต้นทุนวัสดุใหม่	กำไรสุทธิ	เวลาคืนทุน
HDPE	1.80 kg	29.6 บาท	225 บาท	430.78 บาท	2,142.0 บาท	1,711.2 บาท	36 วัน
ABS	1.26 kg	30.0 บาท	225 บาท	378.37 บาท	504.0 บาท	125.6 บาท	448 วัน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การสร้างและทดสอบเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกด้วยขยะรีไซเคิลของ PLA HDPE และ ABS พบว่าพลาสติกที่สามารถอัดรีดเป็นเส้นและเก็บเข้าม้วนได้คือ HDPE และ ABS ตัวเครื่องอัดรีดเส้นพลาสติกสามารถควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนตามที่กำหนดได้ร้อยละ 92.2 และควบคุมความเร็วในการรีดเส้นพลาสติกให้คงที่ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นได้ ตัวเครื่องมีประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 72.9 ถึงร้อยละ 78.3 (อุณหภูมิ 170°C และความเร็วรอบ 70 rpm) อุณหภูมิการอัดรีดและความเร็วรอบที่เหมาะสมของ HDPE คือ อุณหภูมิ 165 °C ที่ความเร็วรอบ 70 RPM ส่วนของ ABS คือ อุณหภูมิ 180 °C ที่ความเร็วรอบ 70 RPM การใช้วัสดุพลาสติกกรีไซเคิลสำหรับการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ทดแทนการใช้วัสดุใหม่สามารถลดต้นทุนลงได้มากถึงร้อยละ 83.1 สำหรับ HDPE และร้อยละ 38.5 สำหรับ ABS การสร้างเครื่องมีระยะเวลาในการคืนทุนสำหรับ HDPE คือ 36 วัน และ ABS คือ 448 วัน การทดสอบการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติพบว่า พลาสติกกรีไซเคิล ABS สามารถพิมพ์ขึ้นรูปโดยมีลักษณะชิ้นงานออกมาได้สมบูรณ์ที่สุด โดยมีคุณลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกับการใช้วัสดุใหม่ เช่น ลักษณะผิวสำเร็จของชิ้นงาน ไม่แข็งเปราะ ขนาดและรูปร่างถูกต้องตามที่กำหนด ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปสร้างชิ้นงานมากกว่าชนิด HDPE และ PLA ส่วนผลการนำพลาสติกกรีไซเคิล HDPE และ PLA ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สำเร็จเนื่องจากพลาสติกทั้งสองชนิดนี้มีความหลากหลายทางโครงสร้างและความแตกต่างทางคุณสมบัติเฉพาะสูตรของผู้ผลิต ดังนั้นการนำเอาวัสดุพลาสติกกรีไซเคิลหลากหลายชนิดและหลากหลายโครงสร้างเข้ามาผสมกัน อาจทำให้คุณสมบัติบางประการของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียไป

6. เอกสารอ้างอิง

- Buranasing, N. (2019). **“Plastic waste” Global problems that need to be dealt.** [online], Available: https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/ewt_dl_link.php?nid=58603&filename=index. Access on July 2, 2020. (in Thai)
- Green Globe Institute. (2018). **If you still love each other, say goodbye to plastic waste.** [online], Available: <https://www.greenglobeinstitute.com/Frontend/BookDetail.aspx?ContentID=f6d5751e-f360-440c-af3b-9682bd3f5a2c>. Access on June 3, 2021. (in Thai)
- Jaturong, L. (2020). **Economic analysis of engineering in the use of basic agricultural machinery.** [online], Available: <https://iaid.in.th/2020/08/07/engineering-economics/> Access on June 20, 2021. (in Thai)
- John, H.L.IV. and John, H.L.V. (2019). **A Heat Transfer Textbook, 5th ed.** USA: Phlogiston Press Cambridge Massachusetts.
- Muhammad, I. et al. (2018). Plastics waste as a significant threat to environment – a systematic literature review, **Review on Environmental Health**, vol. 33 (4), September 2018, pp. 383 - 406.
- Phromphak, C. (2020). **The current situation of plastic waste in Bangkok.** [online], Available https://www.senate.go.th/document/Ext23700/23700555_0002.PDF Access on November 17, 2020. (in Thai)
- Shahrubudin, N., T.C., Lee and Ramlan, R., (2019). An Overview in 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications, **Procedia Manufacturing, Vol. 35**, June 2019, pp. 1286 – 1296.
- Srinivasa, P., et. al., (2018). 3D Printing in Dentistry, **Journal of 3D Printing in Medicine**, Vol. 2 (3), August 2018, pp. 89 - 91.
- Ugboya, A.P., Odiamenhi, A.M. and Aigbojie, O.E. (2019). The Design and Construction of a Single Screw Extruder, **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)**, vol. 6 (7), July 2019, pp. 10341 - 10349.
- Wasadadamrongdee, S. (2019). Overview of measures to reduce single-use plastic waste abroad, **Environnemental journal**, 23 (Vol.2). [online], Available: <http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6114/151>. Access on January 10, 2021. (in Thai)

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

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

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์
2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตราวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. กำหนดออกวารสาร

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

4. การพิจารณาบทความ

4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 3 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 3 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 3 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้งกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

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

Received: XXXXXXXXXX

วันที่รับแก้ไขบทความ XXXXXXXXXX

Revised: XXXXXXXXXX

วันที่ตอบรับบทความ XXXXXXXXXX

Accepted: XXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

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

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

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

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

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 ($8\frac{1}{4} \times 11\frac{3}{4}$ นิ้ว)

โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

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

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ และบันทึกไฟล์ข้อมูลด้วย Microsoft Word 2016 เท่านั้น

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกรู้จักใช้นำชื่อเรื่อง) 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

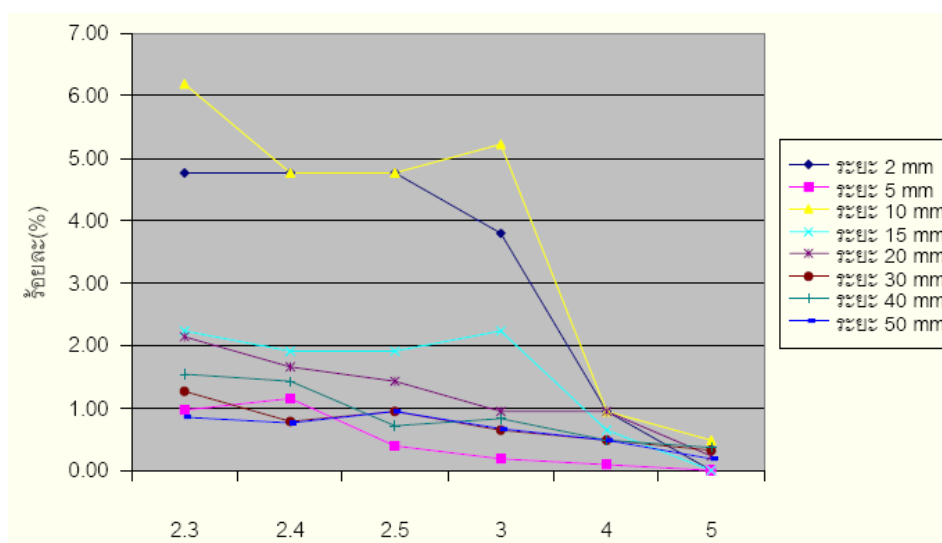
ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

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

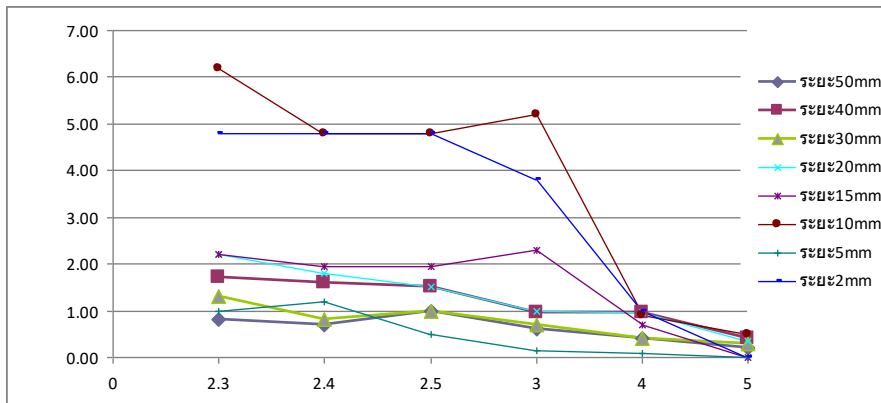
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

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

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

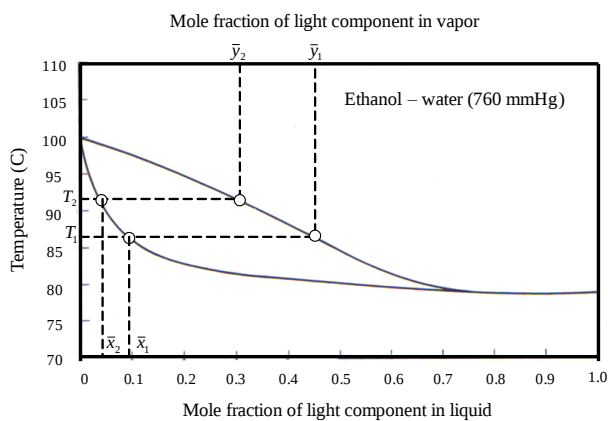


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



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 วีรานูวัติ 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