

ลักทอง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สกท.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567

Vol.11 No.2 July-December 2024



GTSJ

2024

สถาบัน
วิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ISSN 2985-2161 (Online)



สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทท.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 Vol.11 No.2 July-December 2024

ISSN 2985-2161 (Online)

วัตถุประสงค์	เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป	
ขอบเขต	จัดพิมพ์เสนอผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	
เจ้าของที่ปรึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียานุช พรหมภาสิต	รักษาราชการแทนอธิการบดี	
รองศาสตราจารย์ ดร.ระมัต โขชัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญาดา กลิ่นจันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัฒมิษา ต้นดีสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกวรรณ เขียววัน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
กองบรรณาธิการ	Professor Tossapon Boongoen	Aberystwyth University
	Dr Natthakan lam-On	Aberystwyth University
	ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญหา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
	รองศาสตราจารย์ ดร.ชนศักดิ์ บ้ายเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร ไชยยะ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ เกื้อทวีกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุทธิ์ พิพรรธนจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
รองศาสตราจารย์ ดร.แดนชัย เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มัญญ บุลย์ประมุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วสุนธรา รตโนภาส	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ เทียนมาศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ฝ่ายจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุพันธ์ ขวัญแน่น
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรัฐฎ์ เพ็งแดง
 อาจารย์เศวต สมนึกพงศ์
 อาจารย์ประภัสสรฯ ท่อทอง
 นายทวิช ปิ่นวิเศษ
 นางสาวมารีสา การะเวก

ผู้จัดทำและเผยแพร่	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
กำหนดออก	ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม
สำนักงาน	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0-5570-6555 ต่อ 1760 http://research.kpru.ac.th/journal_science/

บทความที่ตีพิมพ์ทุกบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและบทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ
 ที่ปรากฏในวารสารเป็นวรรณกรรมของผู้เขียนโดยเฉพาะ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและ
 บรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

สัปดาห์ที่ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวส.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 Vol.11 No.2 July-December 2024

ISSN 2985-2161 (Online)

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
○ บรรณาธิการแถลง.....	ก
○ บทความวิจัย	
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวันและอาการปวดหลังล่างของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต ในชมรมกีฬาอีสปอร์ตจังหวัดกำแพงเพชร กวีญา สินธราธา, จิรภา นาคณาคุปต์, ประทีป เพ็ญแจ่ม และอุมาพร ฉัตรวิโรจน์ The Association between Daily Gaming Frequency and Lower Back Pain of E-sports Players in the Kamphaeng Phet E-sport Club Kawiya Sintara, Chirapa Nakhanakhup, Prateep penjang and Umaphon Chatwirote.....	1
ผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x+97^y=z^2$ และ $11^x+89^y=z^2$ โกมล ไพศาล, ไพลิน ชญาภัม และวิชาญ เลิศลพ Solutions of the Diophantine equations $3^x+97^y=z^2$ and $11^x+89^y=z^2$ Komon Paisal, Pailin Chayapham and Wichan Lertlop.....	13
การสร้างเครื่องมือตัดลวดเพื่อยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ณัฐดนัย เรือนคำ Creating a Wire Bending Tool for Attaching the Ground Wire to the Electrical Pole of the Provincial Electricity Authority Nuthdanai Rueankham.....	18
การจำลองการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดแยกโดดโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก พรณพัฒน์ แผงสาย และพรณวัฒน์ แผงสาย Simulation of Virtual Inertial Control of an Isolated Microgrid using Fuzzy Logic Control Pornapat Pangsai and Pornawat Pangsai.....	29

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

การพัฒนาและคุณลักษณะของปริมาณสารเติมแต่งต่อสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต สำหรับการใช้งานแบบเติมร้อน : คุณภาพของน้ำผลไม้ที่ทำจากน้ำผลไม้เข้มข้น ปาริชาติ เทียนเงิน, สุรเชษฐ์ ตุ่มมี และชिरาวุฒิ เพชรเย็น Development and Characterization of Additives Content on The Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles for Hot-Fill Applications : The Quality of Fruit Juice Made from Concentrate Parichat Tienngern, Surachet Toommee and Chiravoot Pechyen.....	48
การศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของอัตราส่วน PP/PP-Regrind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้น รัชพล อภิรติกร, สุรเชษฐ์ ตุ่มมี และชिरาวุฒิ เพชรเย็น Production, Characterization and Chemical migration studies of PP/PP-Regrind Scrap Ratio for Concentrated Rushapol Apiratikorn, Surachet Toommee and Chiravoot Pechyen.....	59
ระบบสารสนเทศจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์ อนันตพร อรุณฉาย และขัมมิษา ตันตีสันติสม Ban Phet Phaiwan Drinking Water Distribution Information System Anantaphon Arunchai and Khumphicha Tantisantisom.....	76
<input type="radio"/> คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ.....	
<input type="radio"/> แบบฟอร์มการส่งบทความ.....	
<input type="radio"/> แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์เผยแพร่.....	
<input type="radio"/> จริยธรรมในการตีพิมพ์ในวารสาร (Publication Ethics).....	
<input type="radio"/> ประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เรื่อง การเรียกเก็บและการเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียม.....	



ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวันและอาการปวดหลังล่าง
ของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต ในชมรมกีฬาอีสปอร์ตจังหวัดกำแพงเพชร
The Association between Daily Gaming Frequency and Lower Back Pain
of E-sports Players in the Kamphaeng Phet E-sport Club

กวีญา สินธารา*

Kawiya Sintara

จิริภา น้าคณาคุปต์*

Chirapa Nakhanakhup

ประทีป เพ็ญแจ้**

Prateep penjang

อุมาพร ฉัตรวิโรจน์***

Umaphon Chatwirote

Received : November 7, 2023

Revised : August 13, 2024

Accepted : November 21, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เล่นเกมและอาการปวดหลังล่างของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต ในชมรมกีฬาอีสปอร์ตจังหวัดกำแพงเพชร รูปแบบของงานวิจัยเป็นเชิงพรรณนา การสำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลจากผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตในชมรมกีฬาอีสปอร์ตจังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 137 คน เลือกตัวอย่างโดย 1) เป็นผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตในชมรมกีฬาอีสปอร์ต จังหวัดกำแพงเพชร 2) ช่วงอายุ 18-24 ปี 3) มีประสบการณ์การเล่นกีฬาอีสปอร์ต อย่างน้อย 1 ปี หรือเคยเข้าร่วมแข่งขันกีฬาอีสปอร์ตอย่างน้อย 1 ครั้งในรอบปีที่ผ่านมา 4) มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอตามข้อกำหนดของชมรม เกณฑ์คัดออก 1) มีโรคประจำตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ 2) ประสบอุบัติเหตุหรือผ่าตัดระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา

*อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา

Lecturer of Faculty of Sport Science, Burapha University(Corresponding Author)

e-mail: Kawiya.sintara@gmail.com, kawiya@go.buu.ac.th

**นักวิชาการคอมพิวเตอร์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Computer Scientist, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

***อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการประเมินข้อมูลทั่วไปรวมถึงจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวันและอาการปวดของร่างกาย โดยใช้แบบสอบถามสำหรับงานวิจัยนี้ โดยค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (IOC) ของแบบสอบถามนี้มีช่วงคะแนนอยู่ระหว่าง 0.66-1.00 และ Cronbach's alpha = 0.905 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติสหสัมพันธ์เชิงอันดับของสเปียร์แมน ผลการวิจัยพบว่าอาสาสมัครจำนวน 137 คน มีอายุเฉลี่ย 20.20 ปี มีจำนวนครั้งที่เล่นเกมเฉลี่ย 4.33 ครั้งต่อวัน ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการเล่นเกมนั้นต่อวันและอาการปวดหลังล่างด้านซ้ายมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = .185, p = .039$) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเล่นกีฬาอีสปอร์ตบ่อยครั้งต่อวัน มีความสัมพันธ์กับอาการปวดหลังล่าง งานวิจัยนี้เป็นข้อมูลในการให้คำแนะนำสำหรับการลดความเสี่ยงของการเกิดอาการปวดในผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตได้ โดยควรกำหนดจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวัน ร่วมกับการออกกำลังกายแบบยืดกล้ามเนื้อเพื่อลดความตึงของกล้ามเนื้อ

คำสำคัญ : กีฬาอีสปอร์ต / อาการปวดหลังล่าง / จำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวัน

ABSTRACT

This study aimed to investigate the relationship between the frequency of gaming and lower back pain among e-sports athletes in the Kamphaeng Phet E-sport Club. A descriptive, cross-sectional survey was conducted to collect data from 137 e-sports athletes. Participants were selected based on the following inclusion criteria: 1) being an e-sports athlete in the Kamphaeng Phet E-sport Club; 2) aged 18-24 years; 3) having at least one year of experience in e-sports or having participated in at least one e-sports competition in the past year; and 4) engaging in regular training as required by the club. Exclusion criteria included: 1) having underlying diseases related to the musculoskeletal system; and 2) experiencing accidents or undergoing musculoskeletal surgery within the past 3 months. Participants were assessed on their profiles, including daily gaming frequency and body pain, using a questionnaire specifically designed for this research. The Index of Item-Objective Congruence (IOC) of the questionnaire ranged from 0.66 to 1.00, with a Cronbach's alpha of 0.905. Data analysis was performed using Spearman's rank correlation coefficient. The results showed that the 137 participating e-sports athletes had an average age of 20.20 years and played games an average of 4.33 times per day. A statistically significant correlation was found between the frequency of gaming per day and left lower back pain ($r = .185, p = .039$). This study demonstrates that frequent e-sports gaming is associated with lower back pain. The findings can inform recommendations for reducing the risk of pain among e-sports athletes, such as limiting daily gaming frequency and incorporating stretching exercises to reduce muscle tension.

Keywords : E-sports / Lower Back Pain / Daily Gaming Frequency

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตวิถีใหม่อย่างมากจากการเติบโตแบบก้าวกระโดดของอุตสาหกรรมดิจิทัลคอนเทนต์ เนื่องจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจได้อย่างไร้ขีดจำกัด สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลและประเมินสถานภาพอุตสาหกรรมดิจิทัลคอนเทนต์และบิ๊กดาต้าพบว่า ในปี พ.ศ. 2563 มีมูลค่ารวมประมาณ 39,332 ล้านบาท โดยเฉพาะสาขาเกม มีมูลค่าตลาดอยู่ที่ 34,316 ล้านบาท และคาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมนี้จะยังคงเติบโตต่อเนื่องอีก 3 ปี โดยจะมีมูลค่ารวมอยู่ที่ 46,961 และ 53,729 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2565-2566 จากอัตราการเติบโตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมเกม ทั้งนี้กระแสด้านความนิยมในเกมของประเทศไทย เริ่มต้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของแพลตฟอร์มเกม ได้แก่ สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ หรือเกมคอนโซล (สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, 2563) ประเทศไทยมีมาตรการในการส่งเสริมวงการเกม มีการพัฒนาด้านอุปกรณ์การเล่นเกมที่ดีขึ้นและทันสมัย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการเล่นผ่านระบบ cloud (cloud gaming) เพื่อให้ผู้เล่นได้ควบคุมอุปกรณ์การเล่นเกมที่มีประสิทธิภาพสูงจากระยะไกลได้ (พีรพันธ์, 2567)

อีสปอร์ต (E-Sports) หรือ (Electronic Sports) เป็นการแข่งขันกีฬาในรูปแบบหนึ่งผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ หรือ การใช้เกมในการแข่งขัน ในปี พ.ศ. 2560 คณะกรรมการการกีฬาแห่งประเทศไทย (กกท.) อนุมัติรับรองให้การแข่งขันวิดีโอเกมชิงเงินรางวัลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต หรืออีสปอร์ต เป็นชนิดกีฬาที่สามารถจดทะเบียนจัดตั้งสมาคมกีฬาได้ และในปัจจุบันการจัดการแข่งขันอีสปอร์ตได้รับความนิยมอย่างมาก และได้รับการยอมรับมากขึ้นในสังคมไทย นอกจากนี้อีสปอร์ตจะมีมูลค่าในทางเศรษฐกิจแล้วยังส่งเสริมศักยภาพและทักษะในหลายๆ ด้าน เช่น การเข้าสังคม ทักษะความรู้ทางเทคโนโลยี และภาษาต่างประเทศ ให้กับผู้เล่นได้อีกด้วย (ภควัต, 2560) แม้ว่าการกีฬาอีสปอร์ตจะมีรูปแบบเฉพาะในการแข่งขันและการสร้างความบันเทิงต่อผู้ชม แต่ผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตต้องเผชิญกับการนั่งเล่นเกมต่อเนื่องเป็นเวลานาน การเคลื่อนไหวร่างกายในรูปแบบเดิมซ้ำๆ รวมถึงมีการจำกัดการเคลื่อนไหว รายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่านักกีฬาอีสปอร์ตใช้เวลาประมาณ 4-10 ชั่วโมงต่อวันในการนั่งเล่นเกมในการแข่งขัน หรือฝึกซ้อม การเคลื่อนไหวร่างกายถูกจำกัดบริเวณเพียงข้อมือถึงนิ้วมือในการควบคุมเกม (Emara, et al., 2020) นอกจากนี้มีรายงานว่าประมาณ 40% ของนักกีฬาอีสปอร์ตไม่มีกิจกรรมทางกายอื่นๆ และพบว่านักกีฬาอีสปอร์ตมีอาการอาการปวดมือ ปวดข้อมือ ปวดคอ และปวดตา (DiFrancisco-Donoghue, et al., 2019) จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เด็ก เยาวชนที่ใช้เวลาในการเล่นมากกว่า 2 ถึง 3 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้ได้รับผลกระทบต่อสุขภาพกาย สุขภาพจิต สมอ และสังคม ทำให้ขาดสัมพันธ์ภาพกับคนรอบข้าง มีโอกาสเกิดพฤติกรรมเนือยนิ่ง ซลด้า (2554) และขั้วญจิต (2560) การมีพฤติกรรมเนือยนิ่งและการขาดกิจกรรมทางกาย (physical inactivity) อาจนำมาสู่ปัญหาความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (musculoskeletal disorders) จากการที่ผู้เล่นใช้เวลานั่งอยู่กับคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานได้

ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก หมายถึงการบาดเจ็บ หรือกลุ่มของโรคที่มีอาการปวด ของกล้ามเนื้อ ประสาท และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันรอบข้อต่อ ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานได้ รายงานจากกองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2557 ได้อธิบายถึง

รูปแบบการทำงานที่เสี่ยงต่อความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก ได้แก่ งานที่มีการจำกัดท่าทาง งานที่มีการเคลื่อนไหวลักษณะเดิมซ้ำๆ อย่างต่อเนื่อง รวมถึง งานที่ไม่ได้รับการพักอย่างเพียงพอ (กองโรคจาก การประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2557) ผู้ที่เล่นกีฬาอีสปอร์ตมักเป็น กลุ่มคนช่วงวัยเรียน มีลักษณะในการเรียนหรือทำงานโดยนั่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานานเช่นเดียวกับกลุ่ม พนักงานออฟฟิศ ซึ่งกลุ่มคนเหล่านี้มีการใช้โทรศัพท์มือถือถือ คอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์พกพากันมากขึ้น รายงานจากกองสถิติเศรษฐกิจ สำนักงานสถิติแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2564 พบว่ากลุ่ม ช่วงวัยเรียน กลุ่มอายุ 15-24 ปี มีการใช้อินเทอร์เน็ตสูงที่สุด ร้อยละ 98.4 และเมื่อพิจารณาในส่วนอุปกรณ์ในการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต ส่วนใหญ่ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตใช้โทรศัพท์มือถือแบบ Smart Phone ในการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตค่อนข้างสูงคือ ร้อยละ 99.2 รองลงมาใช้คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ร้อยละ 27.2 และใช้คอมพิวเตอร์พกพาร้อยละ 12.5 (กองสถิติเศรษฐกิจ สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2564) ทั้งนี้การบริหารเวลาไม่สมดุลจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง ทั้งเรื่องของ สายตา การพักผ่อนไม่เพียงพอ ภาวะติดจอ ออฟฟิศซินโดรมและโรคภัยต่างๆ (พิมพ์พิศา, 2567)

การทำงานหรือเล่นเกมโดยใช้โทรศัพท์มือถือแบบ Smart Phone หรือ เครื่องคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการ ทำงานด้วยความหนักน้อยๆ เป็นระยะเวลาสั้นร่างกายจึงอยู่ในท่าทางเดิม ไม่ค่อยมีการเคลื่อนไหว หรือทำให้ อยู่ในท่าทางที่ไม่เหมาะสมโดยไม่รู้ตัวระหว่างใช้อุปกรณ์เหล่านั้น เช่น นั่งห่อไหล่ หลังค่อม คองุ้ม ในขณะที่ นั่งเล่นเกมเป็นเวลานาน ทำให้กล้ามเนื้อโครงร่างเกิดการหดตัวและมีแรงดึงตัวเพิ่มขึ้น ถ้าคงอยู่ในลักษณะท่าทาง เดิมเป็นเวลานานทำให้เกิดการปวดเมื่อย หรืออาการปวดกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (ยิ่งรัก, 2563) การบาดเจ็บทางระบบ กล้ามเนื้อและโครงกระดูกจากท่าทางอาจเกิดที่หลังล่างได้ โดยขณะนั่งกระดูกเชิงกรานจะหมุนตัวไปทางด้านหลัง ส่งผลให้กระดูกสันหลังระดับเอวอยู่ในลักษณะตรง (kyphosis) มากกว่าปกติ จึงทำให้จุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย เคลื่อนไปทางด้านหน้าและส่งผลให้ลำตัวส่วนบนเคลื่อนไปทางด้านหน้าตามซึ่งเป็นสาเหตุให้กล้ามเนื้อหลังล่าง เกิดอาการล้า อาการปวดหลังล่างอาจเกิดจากการนั่งใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างที่นั่งเป็นเวลานาน นำไปสู่ท่าทางที่งอตัว (thoracolumbar kyphosis) กระดูกสันหลังช่วงอกและเอวอยู่ในลักษณะตรงกว่าปกติ (In, et al., 2021) เมื่อนานไปจึงทำให้กล้ามเนื้อตึงและเกร็ง ปวดเมื่อย จนตามมาด้วยอาการปวดซึ่งแสดงถึง ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกในที่สุด

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ากีฬาอีสปอร์ตกำลังได้รับความนิยม และได้รับการส่งเสริมสนับสนุน ในการจัดการแข่งขันอย่างมากขึ้นในประเทศไทย แต่หากการบริหารเวลาไม่สมดุลจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยตรง อาจเกิดความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกโดยเฉพาะบริเวณหลังล่างในผู้ที่นั่งเล่นเกม เป็นเวลานาน ชมรมกีฬาอีสปอร์ตกำแพงเพชรเป็นชมรมกีฬาอีสปอร์ตที่มีนักกีฬาอีสปอร์ตที่ขึ้นทะเบียนอยู่ใน การกีฬาแห่งประเทศไทย ชมรมฯ มีสำนักงานและการบริหารจัดการที่เป็นระบบ ใช้แพลตฟอร์มมาตรฐาน และมีศักยภาพในการจัดการแข่งขันกีฬาอีสปอร์ต ตามระเบียบข้อบังคับของการกีฬาแห่งประเทศไทย โดยเมื่อ พิจารณาจากสมาชิกและกิจกรรมของชมรมฯ พบว่า สมาชิกในชมรมฯ ประกอบด้วย ทีมนักกีฬาของจังหวัด กำแพงเพชร นักกีฬามหาวิทยาลัย และ บุคคลากรของมหาวิทยาลัยที่มาสักระเป็นนักกีฬา นอกจากนี้ มีการ

ฝึกซ้อมตามแบบแผนที่สมาคมกีฬาอีสปอร์ตแห่งประเทศไทยจัดให้ และตารางการฝึกซ้อมของชมรมฯ จากกิจกรรมของ ชมรมฯ น่าจะให้ข้อมูลในประเด็นที่จะทำการศึกษาได้อย่างชัดเจน

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวันและอาการปวดหลังล่างของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สนับสนุนการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรง และป้องกันอาการปวดให้ผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) และศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งที่เล่นเกมต่อวันและอาการปวดหลังล่าง ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัยนี้ผ่านการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา เอกสารรับรองฯ ที่ IRB1-064/2565

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาในอาสาสมัครทั้งหมด 137 คน ซึ่งมีเกณฑ์คัดเลือกเข้าดังนี้ 1) เป็นผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตในชมรมกีฬาอีสปอร์ต จังหวัดกำแพงเพชร 2) ช่วงอายุ 18-24 ปี 3) มีประสบการณ์การเล่นกีฬาอีสปอร์ตอย่างน้อย 1 ปี หรือเคยเข้าร่วมแข่งขันกีฬาอีสปอร์ตอย่างน้อย 1 ครั้งในรอบปีที่ผ่านมา 4) มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอตามข้อกำหนดของชมรมฯ เกณฑ์คัดออก 1) มีโรคประจำตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ 2) ประสบอุบัติเหตุหรือผ่าตัดระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามสำหรับงานวิจัย การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เล่นเกมและอาการปวดหลังล่างของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต ในชมรมกีฬาอีสปอร์ตจังหวัดกำแพงเพชร ประกอบด้วย 3 ตอน โดยแบบสอบถามนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมตามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ โดยค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (IOC) ของแบบสอบถามนี้มีช่วงคะแนนอยู่ระหว่าง 0.66-1.00

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป/ประสบการณ์การเล่นกีฬาอีสปอร์ต รวมถึงจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวัน

ตอนที่ 2 แบบสำรวจอาการความผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ดัดแปลงจากแบบประเมินความเมื่อยล้าจากการทำงาน จากสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค (Cronbach's alpha = 0.905) เป็นการประเมินความรู้สึกปวด เมื่อยล้าส่วนต่างๆ ของร่างกาย

ตอนที่ 3 แบบประเมินความเสี่ยงด้านกายศาสตร์ในการทำงานของผู้ใช้คอมพิวเตอร์โดยวิธี ROSA (Rapid Office Strain Assessment) เป็นการประเมินปัจจัยเสี่ยงจากอุปกรณ์และระยะเวลาในการใช้งาน ต่อความผิดปกติของโครงร่าง (จุฑาทิพย์ และกลางเดือน, 2558) ซึ่งมีเกณฑ์แบ่งระดับคะแนนของผลคะแนนสุดท้ายของ ROSA เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นระดับต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก ดังนี้ ระดับความเสี่ยงต่ำ มีผลของคะแนนตั้งแต่ 1-2 ระดับความเสี่ยงปานกลาง มีผลของคะแนนตั้งแต่ 3-4 ระดับความเสี่ยงสูง มีผลของคะแนนตั้งแต่ 5-7 ระดับความเสี่ยงสูงมาก ซึ่งมีผลของคะแนนตั้งแต่ 8-10

การเก็บรวบรวมข้อมูล สถานที่เก็บข้อมูล คือชมรมกีฬาอีสปอร์ตกำแพงเพชร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลมีการจัดเว้นระยะห่างทางกายภาพ (Physical Distancing) ตามมาตรการป้องกันการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อ COVID-19 หลังจากประชาสัมพันธ์การเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้แล้ว ผู้วิจัยนัดหมายกลุ่มตัวอย่างเพื่อชี้แจงรายละเอียดของงานวิจัย วิธีการ รวมถึงตอบข้อซักถาม ให้กับกลุ่มตัวอย่าง พร้อมทั้งให้เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย (Participant information sheet) แก่กลุ่มตัวอย่างและให้กลุ่มตัวอย่างลงนามในใบยินยอม (Informed consent form) ก่อนเก็บข้อมูลทุกครั้ง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและเอกสารทุกอย่างผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ IRB1-064/2565 (22 กรกฎาคม 2565 - 22 กรกฎาคม 2566)

หลังจากเก็บข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยและ/หรือ ผู้ช่วยวิจัย ตรวจสอบข้อมูลจากแบบสอบถาม และจัดกระทำข้อมูลให้อยู่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในงานวิจัย

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปแสดงค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความถี่ (Frequency) ร้อยละ (%) เพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไป และประสบการณ์การเล่นกีฬาอีสปอร์ต และการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ coefficient of multiple correlation ระหว่างจำนวนครั้งที่เล่นเกมในแต่ละวัน และอาการปวดหลังล่างของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต โดยใช้ Spearman rank correlation

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครพบว่าส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 73.7 อายุเฉลี่ย 20.20 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 63.52 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 169.85 เซนติเมตร ข้อมูลประสบการณ์ในการเล่นกีฬาอีสปอร์ต และจำนวนครั้งที่เล่นในแต่ละวัน แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสบการณ์ในการเล่นกีฬาอีสปอร์ต (เดือน) และจำนวนครั้งที่เล่นในแต่ละวันของอาสาสมัคร

ตัวแปร	\bar{X}	S.D.
ประสบการณ์ในการเล่น (เดือน)	54.74	35.43
จำนวนวันในการเล่น (ต่อสัปดาห์)	5.18	1.89
จำนวนครั้งในการเล่น (ต่อวัน)	4.33	5.43
จำนวนเวลา (นาที) ในการเล่นต่อครั้ง	190.73	133.55
จำนวนเวลาพัก (นาที) ระหว่างเกมรวม	183.74	199.91

จากตารางที่ 1 พบว่า อาสาสมัคร ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการเล่นกีฬาอีสปอร์ตเฉลี่ย 54.74 เดือน เล่นกีฬาอีสปอร์ตเฉลี่ย 5.18 วันต่อสัปดาห์ จำนวนครั้งที่เล่นกีฬาอีสปอร์ตเฉลี่ย 4.33 ครั้งต่อวัน โดยในแต่ละวันมีระยะเวลาพักระหว่างการเล่นเฉลี่ย 183.73 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 190.73 นาที ในการเล่นต่อครั้ง

ข้อมูลระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จากแบบประเมินความเสี่ยงการทำงานของผู้ใช้คอมพิวเตอร์โดยวิธี ROSA แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของความเสี่ยงด้านการยศาสตร์การทำงานของผู้ใช้คอมพิวเตอร์โดยวิธี Rapid Office Strain Assessment (ROSA)

ระดับความเสี่ยง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับความเสี่ยงต่ำ มีผลของคะแนนตั้งแต่ 1-2	7	6.9
ระดับความเสี่ยงปานกลาง มีผลของคะแนนตั้งแต่ 3-4	26	25.5
ระดับความเสี่ยงสูง มีผลของคะแนนตั้งแต่ 5-7	59	57.8
ระดับความเสี่ยงสูงมาก ซึ่งมีผลของคะแนนตั้งแต่ 8-10	10	9.7

จากตารางที่ 2 พบว่าอาสาสมัคร ส่วนใหญ่มีความเสี่ยงด้านการยศาสตร์อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง คิดเป็นร้อยละ 57.8 ผลการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์อยู่ในระดับ 5 คะแนนขึ้นไป หมายถึง จำเป็นต้องมีการประเมิน หรือศึกษาเพิ่มเติมทันที มีจำนวนผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตที่ได้ผลระดับนี้ทั้งสิ้น 69 คน คิดเป็นร้อยละ 67.6

ข้อมูลแสดงจำนวนและร้อยละของอาการปวดเมื่อยหลังเล่นกีฬาอีสปอร์ตแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของอาการปวดเมื่อยหลังเล่นเกมกีฬาอีสปอร์ต

อาการปวดเมื่อย	อาสาสมัคร (n=137)	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ไม่เคยเลย	42	30.7
เป็นบางครั้ง (1-3 วันต่อสัปดาห์)	83	60.6
เป็นบ่อยๆ (4 วันต่อสัปดาห์ หรือมากกว่า)	8	5.8
เป็นประจำทุกวัน	3	2.2
ไม่รายงานข้อมูล	1	0.7

จากตารางที่ 3 พบว่าส่วนใหญ่อาสาสมัคร มีความรู้สึกปวดเมื่อยหลังเล่นเกมเป็นบางครั้ง (1-3 วันต่อสัปดาห์) คิดเป็นร้อยละ 60.6 โดยตำแหน่งของร่างกายที่อาสาสมัครรายงานอาการปวดคือหลังล่างด้านซ้าย คิดเป็นร้อยละ 35.7 และหลังล่างด้านขวา คิดเป็นร้อยละ 34.2 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการเล่นในในแต่ละวัน ของผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต และตำแหน่งของร่างกายที่มีอาการปวด คือหลังล่างด้านซ้าย และด้านขวา แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการเล่นเกมนต่อวันและตำแหน่งที่มีอาการเจ็บปวด

ตำแหน่งที่มีอาการเจ็บปวด	จำนวนครั้งในการเล่นเกมนต่อวัน		
	Spearman's rho (r)	p-value	ความสัมพันธ์
หลังล่างด้านซ้าย	.185*	.039	มีความสัมพันธ์กันทางบวก
หลังล่างด้านขวา	.131	.146	ไม่มีความสัมพันธ์

* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (2-tailed)

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งในการเล่นเกมนใน 1 วัน พบความสัมพันธ์กับตำแหน่งอาการปวดหลังล่างด้านซ้าย ($r = .185, p = .039$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < 0.05$)

อภิปรายผล

จากผลการวิจัย (ตารางที่ 1) พบว่าผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตมีจำนวนครั้งในการเล่นเกมนเฉลี่ย 4.33 ครั้งต่อวัน และเฉลี่ย 5.18 วันต่อสัปดาห์ และมีระยะเวลาการเล่นนาน (190.73 นาทีต่อครั้ง) อาจก่อให้เกิดความผิดปกติที่หลังล่างได้ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่ตำแหน่งหลังล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการนั่งนาน 120 นาที นำมาสู่ข้อเสนอแนะว่า หากมีการนั่งนาน ควรหยุดพักก่อนครบ 120 นาที และการนั่งใช้คอมพิวเตอร์ในท่าเดิมเป็นระยะเวลานาน ระหว่าง 2-8 ชม.ต่อวัน ทำให้มีอาการปวดเมื่อยบริเวณลำตัวและเมื่อใช้นานถึง 4-8 ชม.ต่อวันเป็นผลให้มีอาการปวดเมื่อยบริเวณ คอไหล่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลางเดือน และอุงุ่น, 2557; Waongenngarm, et al., 2020)

การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จากแบบประเมินความเสี่ยงการทำงานของผู้ใช้คอมพิวเตอร์โดยวิธี ROSA (จากตารางที่ 2) พบว่า ผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตส่วนใหญ่มีผลการประเมินความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง (5 คะแนนขึ้นไป) แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่ต้องเฝ้าระวังต่อไป โดยควรจัดสภาพแวดล้อมให้ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ เช่น การปรับความสูงของเก้าอี้ ระยะเวลาในการใช้งาน อุปกรณ์เล่นเกมน เพื่อปรับเปลี่ยนท่าทางการนั่งให้ถูกต้อง และมีการออกกำลังกายเป็นประจำ เช่น การเหยียดยืดกล้ามเนื้อบริเวณหลัง เพื่อลดความเมื่อยล้า อาการเกร็งของกล้ามเนื้อ และบรรเทาอาการปวด

จากผลการวิจัยพบว่าผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตส่วนใหญ่รายงานถึงความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกโดยมีอาการปวดเมื่อยหลังเล่นเกมน กีฬาอีสปอร์ต เป็นบางครั้ง โดยมีตำแหน่งที่ปวดคือหลังล่างด้านซ้าย จำนวน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 35.7 และหลังล่างด้านขวา จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ 34.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของนรากร พลหาญ และคนอื่นๆ (2557) ที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างจากบุคลากรสายสนับสนุน มหาวิทยาลัยนครพนม มีกลุ่มอาการทางกล้ามเนื้อและกระดูกที่เกิดจากการใช้คอมพิวเตอร์ โดยมีอาการปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 48.5

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการเล่นเกมนต่อวันและอาการปวดหลังล่างพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการเล่นเกมนต่อวันและอาการปวดหลังล่างด้านซ้าย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Baker, et al., 2018) ที่พบว่าการเล่นเกมนเป็นเวลานานหรือซ้ำๆ ตลอดทั้งวันอาจส่งผลให้กล้ามเนื้อและโครงสร้างหลังล่างเกิดความเครียดจากความดันภายในหมอนรองกระดูกสันหลังที่เพิ่มขึ้นในท่านั่ง ซึ่งนำไปสู่ความรู้สึกไม่สบายร่างกายส่วนล่างได้ นอกจากนี้ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลจากการศึกษาอาการปวดของคณงานทอผ้าด้วยมือในชุมชน ตำบลแม่แรง จังหวัดลำพูน จำนวน 30 คน ของพัชรินทร์ และทัศนพงษ์ (2561) ที่พบว่า อาการปวดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา และในช่วง 7 วัน ที่ผ่านมา สูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ อาการปวดหลังบน อาการปวดหลังล่าง และ อาการปวดสะโพกหรือต้นขา โดยมีงานวิจัยด้านกายศาสตร์กับร่างกายส่วนล่าง ว่าขณะที่นั่งเก้าอี้ น้ำหนักทั้งหมดของร่างกาย จะตกลงที่กระดูก sit bone หรือกระดูก ischial tuberosity โดยการเคลื่อนไหวของกระดูก sacrum จะสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของกระดูกเชิงกราน ดังนั้นเมื่อกระดูกเชิงกรานหมุนตัวไปด้านหน้า กระดูกสันหลังระดับเอว จะอยู่ในลักษณะแอ่นเพื่อพยุงร่างกายในการทรงตัว แต่ในทางกลับกันเมื่อกระดูกเชิงกรานหมุนตัวไปด้านหลัง กระดูกสันหลังระดับเอวจะอยู่ในลักษณะตรง (kyphosis) ทำให้ในขณะนั่ง กระดูกเชิงกรานจะหมุนตัวไปทางด้านหลัง ส่งผลให้กระดูกสันหลังระดับเอวอยู่ในลักษณะตรงมากกว่าปกติ จึงทำให้จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเคลื่อนไปทางด้านหน้าและส่งผลให้ลำตัวส่วนบนเคลื่อนไปทางด้านหน้าตาม ซึ่งเป็นสาเหตุให้ กล้ามเนื้อหลังล่างเกิดอาการล้าได้ (In, et al., 2021)

ความผิดปกติในระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงาน เคลื่อนไหวร่างกายในรูปแบบเดิมซ้ำๆ รวมถึงมีการจำกัดการเคลื่อนไหว มักเกิดขึ้นแบบสะสมเรื้อรัง หากมีอาการตั้งแต่ช่วงวัยรุ่นอาจเป็นสาเหตุให้ความสามารถหรือประสิทธิภาพในการเล่นกีฬาอีสปอร์ตของนักกีฬาลดลงได้เมื่อมีอาการปวด (DiFrancisco-Donoghue, et al., 2019) ในกรณีผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ต การฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวมีประโยชน์อย่างมากในการฝึกหรือปรับท่าทางการนั่งให้เหมาะสม จะช่วยควบคุมท่าทาง ปรับปรุงระยะการเคลื่อนไหว และหลีกเลี่ยงความเจ็บปวดได้ (Akyüz, 2022) การยืดกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว กล้ามเนื้อแขนและขาที่ใช้งาน จะช่วยลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อได้ เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้เล่นกีฬาอีสปอร์ตควรให้ความสำคัญกับการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ งานวิจัยของ ญาณวัฒน์ และวสุนธรา (2565) แสดงให้เห็นว่านักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการออกกำลังกายอยู่ในระดับปานกลาง โดยปัจจัยส่วนบุคคลคืออายุและระดับชั้นปีมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักศึกษาช่วงอายุ 20-21 ปี เริ่มเป็นวัยผู้ใหญ่ที่มีความรับผิดชอบสามารถวางแผนและจัดสรรเวลาเพื่อการดูแลสุขภาพตนเองโดยเฉพาะการออกกำลังกายได้ นอกจากนี้ การปรับสภาพแวดล้อมในการเล่นเกมนให้เหมาะสม เช่น การเลือกใช้เก้าอี้ที่รองรับสรีระ การปรับความสูงของโต๊ะและจอคอมพิวเตอร์ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผู้ที่เล่นกีฬาอีสปอร์ตบ่อยครั้งต่อวันมีแนวโน้มที่จะเกิดอาการปวดหลังได้ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับกีฬาอีสปอร์ต เช่น นักกีฬา โค้ช นักวิทยาศาสตร์การกีฬา ควรรตระหนักและจัดโปรแกรมการฝึกสมรรถภาพทางกายด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและการเหยียดยืดกล้ามเนื้อให้หนักกีฬา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณทุนอุดหนุนการวิจัยแก่บุคลากรคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา งบประมาณรายได้ส่วนงาน ประจำปีงบประมาณ 2565

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ผู้ประสานงานของชมรมกีฬาอีสปอร์ตกำแพงเพชร ด้วยความร่วมมือของชมรมฯ ทำให้การดำเนินการวิจัยของเราประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- กลางเดือน โภชนา และอุณัฐ สัจพงค์. (2557, พฤษภาคม-สิงหาคม). ความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของกลุ่มผู้ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก กรณีศึกษา นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. *วารสารสาธารณสุขศาสตร์*, 44(2), 162-173.
- ขวัญจิต เพ็งแป้น. (2560, เมษายน-มิถุนายน). การป้องกันปัญหาภาวะสุขภาพของเด็กติดเกมออนไลน์. *วารสารราชธานีนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ*, 1(1), 16-32.
- จุฑาทิพย์ วิญญูเจริญกุล และกลางเดือน โภชนา. (2558, พฤษภาคม-สิงหาคม). การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของผู้ใช้คอมพิวเตอร์ด้วยวิธี Rapid Office Strain Assessment (ROSA). *วารสารสาธารณสุขศาสตร์*, 45(2), 148-158.
- ชลดา บุญโท. (2554). พฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และผลกระทบต่อสุขภาพจากเกมออนไลน์. การค้นคว้าอิสระหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ณัฐวัฒน์ เอมสรณ์ และวสุนธรา รตนภาส. (2565, มกราคม-มิถุนายน). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. *สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9(1), 119-131.
- นรากร พลหาญ สมสมร เรื่องวรุณ โกลม บัญแก้ว และ อนุพงษ์ ศรีวิรัตน์. (2557, กรกฎาคม-ธันวาคม). กลุ่มอาการที่เกิดต่อร่างกายจากการใช้คอมพิวเตอร์ในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายสนับสนุน มหาวิทยาลัยนครพนม. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 6(12), 26-38.
- พัชรินทร์ ใจจุ่ม และทัศนพงษ์ ตันติปัญจพร. (2561, กันยายน-ธันวาคม). ประสิทธิภาพของการจัดโปรแกรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ร่วมกับการให้ความรู้ ด้านการยศาสตร์เพื่อลดอาการปวดเมื่อยหลังและเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังของคณงานทอผ้าด้วยมือ ตำบลแม่แรง อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(3), 29-39.
- พิมพ์ิศา ชูทิพย์. (2567). *Digital Citizenship: ฉลาดอย่างไรให้เป็นพลเมืองดิจิทัลคุณภาพ*. [Online]. Available : <https://www.depa.or.th/th/article-view/digital-citizenship> [2567, ตุลาคม 28].
- พีรพันธ์ จิรสุนันต์. (2567). *Cloud Gaming: อนาคตวงการเกม*. [Online]. Available : <https://www.depa.or.th/en/article-view/cloud-gaming> [2567, ตุลาคม 28].
- ภควัต เจริญลาภ. (2560). *ศึกษาคคุณค่าและมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกีฬาอีสปอร์ต*. นิตยสารศตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารธุรกิจบัณฑิตและการผลิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
- ยิ่งรัก บุญคำ. (2563). *ความเครียดและภาวะปวดกล้ามเนื้อ*. [Online]. Available : <https://pharmacymahidol.ac.th/th/knowledge.2563> [2567, สิงหาคม 25].

- โรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, กอง. (2557). รายงาน
สถานการณ์โรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ปี 2556. นนทบุรี :
สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม.
- สถิติเศรษฐกิจ สำนักงานสถิติแห่งชาติ, กอง. (2564). สรุปผลที่สำคัญ สํารวจการมีการใช้เทคโนโลยี
สารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน พ.ศ. 2563. กรุงเทพฯ : กองสถิติพยากรณ์ สำนักงานสถิติ
แห่งชาติ.
- ส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, สำนักงาน. (2563). ผลการสำรวจข้อมูลและ
ประเมินสถานภาพอุตสาหกรรมบริการดิจิทัล ประจำปี 2563 คัดการณ์ 3 ปี. [Online]. Available :
<https://www.depa.or.th/th/article-view/income-data-statistics-2563> [2564, มีนาคม 28].
- Akyüz, B. (2022). The importance of physical training in e-sports. *International Online Journal
of Education and Teaching*, 9(4), 1960-1973.
- Baker, R., Coenen, P., Howie, E., Williamson, A. & Straker, L. (2018, August). The Short Term
Musculoskeletal and Cognitive Effects of Prolonged Sitting During Office Computer Work.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 7;15(8), 1678.
- DiFrancisco-Donoghue, J., Balentine, J., Schmidt, G. & Zwibel, H. (2019). Managing the health of
the eSport athlete: An integrated health management model. *BMJ Open Sport &
Exercise Medicine*, 5(1) e000467.
- Emara, A.K., Ng, M.K., Cruickshank, J.A., Kampert, M.W., Piuze, N.S., Schaffer, J.L. & King, D.
(2020). Gamer's Health Guide : Optimizing Performance, Recognizing Hazards and
Promoting Wellness in Esports. *Current Sports Medicine Reports*, 19, 537-545.
- In, T.S., Jung, J.H., Jung, K.S. & Cho, H.Y. (2021, August). Spinal and Pelvic Alignment of Sitting
Posture Associated with Smartphone Use in Adolescents with Low Back Pain.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 7;18(16), 8369.
- Waongenngarm, P., van der Beek, A.J., Akkarakittichoke, N. & Janwantanakul, P. (2020).
Perceived musculoskeletal discomfort and its association with postural shifts during 4-h
prolonged sitting in office workers. *Applied Ergonomics*, 89, 103225.



ผลเฉลยของสมการไดโอฟานไทน์ $3^x+97^y=z^2$ และ $11^x+89^y=z^2$

Solutions of the Diophantine equations $3^x+97^y=z^2$ and $11^x+89^y=z^2$

โกมล ไพศาล*

Komon Paisal

ไพลิน ชญาภัม*

Pailin Chayapham

วิชาญ เลิศลพ**

Wichan Lertlop

Received : November 28, 2023

Revised : February 23, 2024

Accepted : July 17, 2024

บทคัดย่อ

ในบทความวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พิสูจน์ว่าผลเฉลยของสมการไดโอฟานไทน์ $3^x+97^y=z^2$ และ $11^x+89^y=z^2$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ คือ (x, y, z) คือ $\{(1, 0, 2), (1, 1, 10)\}$ และ $\{(1, 1, 10)\}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ : สมการไดโอฟานไทน์ / ผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มลบ

ABSTRACT

In this article, we prove that the solutions of the Diophantine equations $3^x + 97^y = z^2$ and $11^x + 89^y = z^2$, where x, y and z are non – negative integers, are $\{(1, 0, 2), (1, 1, 10)\}$ and $\{(1, 1, 10)\}$, respectively.

Keywords : Diophantine equation / Non-negative integer solutions

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Informatics Mathematics Program, Faculty of science and technology, Suan Sunandha Rajabhat
University(Corresponding Author) e-mail: komon.pa@ssru.ac.th

**อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Physics Program, Faculty of science and technology, Suan Sunandha Rajabhat University

บทนำ

นักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจในการหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น Sroysang (2014) ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $143^x + 145^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) คือ $(1, 0, 12)$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ Robago (2016) ได้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 17^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) คือ $(3, 1, 5), (5, 1, 7), (6, 1, 9), (7, 3, 71)$ และ $(9, 1, 23)$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ Aggarwal, Sharma and Singhal (2020) แสดงได้ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $223^x + 241^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จะไม่มีผลเฉลย และ Burshtein (2021) กล่าวว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $p^4 + q^y = z^4$ และ $p^4 - q^y = z^4$ เมื่อ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะที่ต่างกันจะไม่มีผลเฉลย นอกจากนั้น Aggarwal and Kumar (2021) ได้พิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ที่อยู่ในรูปแบบ $(2^{2m+1}-1) + (6r+1)^n = z^2$ เมื่อ m, n, r และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ ก็ไม่มีผลเฉลยเช่นเดียวกัน จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีนักวิจัยได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ $p^2 + q^2 = z^2$ เมื่อ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะ ซึ่ง $p+q = 100$ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษารูปแบบสมการดังกล่าว แต่ในบทความนี้ขอนำเสนอเพียง 2 สมการ ดังนี้ สมการแรกเพื่อพิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 97^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) คือ $(1, 0, 2)$ และ $(1, 1, 10)$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ และสมการที่สองเพื่อพิสูจน์ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $11^x + 89^y = z^2$ มีผลเฉลย (x, y, z) คือ $(1, 1, 10)$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ ส่วนสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 97^y = z^2$

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยบทตั้ง ดังนี้

บทตั้งที่ 1 ข้อคาดการณ์ของคาร์ทาลาน (Catalan) กล่าวว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $a^x - b^y = 1$ เมื่อ a, b, x และ y เป็นจำนวนเต็มที่มีมากกว่า 1 จะมีผลเฉลยเพียงหนึ่งเดียวเท่านั้น คือ $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$

พิสูจน์ ข้อคาดการณ์นี้ได้รับการพิสูจน์ โดย Paul Mihailescu (2004)

บทตั้งที่ 2 สมการไดโอแฟนไทน์ $1 + 97^y = z^2$ เมื่อ y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จะไม่มีผลเฉลย

พิสูจน์ (การพิสูจน์โดยข้อขัดแย้ง) สมมติว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $1 + 97^y = z^2$ ซึ่ง y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ เป็นผลเฉลยของสมการนี้ เมื่อจัดรูปสมการใหม่เป็น $z^2 - 97^2 = 1$ โดยบทตั้งที่ 1 ซึ่งกล่าวว่ามีผลเฉลยเพียงหนึ่งเดียว จึงเกิดข้อขัดแย้ง

บทตั้งที่ 3 สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 1 = z^2$ เมื่อ x และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ มีผลเฉลยคือ $(x, z) = (1, 2)$

พิสูจน์ จากสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 1 = z^2$ เมื่อ x และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ ถ้า $x = 0$ จะได้ว่า $z^2 = 2$ และถ้า $z = 0$ จะได้ว่า $3^x = -1$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น จึงพิจารณา กรณีที่ $x \geq 1$ และ $z \geq 1$ ซึ่ง ถ้า $x = 1$ จะได้ว่า $z = 2$ ทำให้ได้ว่า $(x, z) = (1, 2)$ เป็นผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 1 = z^2$ แต่ถ้า $x > 1$ ทำให้ $z \geq 3$ จากบทตั้งที่ 1 ทำให้ทราบว่าค่า x และ z ดังกล่าวจะไม่มีผลเฉลยของ $3^x + 1 = z^2$ ดังนั้น สรุปได้ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x + 1 = z^2$ มีผลเฉลยคือ $(x, z) = (1, 2)$

บทตั้งที่ 4 สมการไดโอแฟนไทน์ $1+89^y = z^2$ เมื่อ y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จะไม่มีผลเฉลย พิสูจน์ (การพิสูจน์โดยข้อขัดแย้ง) สมมติว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $1+89^y = z^2$ ซึ่ง y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ เป็นผลเฉลยของสมการนี้ เมื่อจัดรูปสมการใหม่เป็น $z^2 - 89^y = 1$ โดยบทตั้งที่ 1 ซึ่งกล่าวว่ามีผลเฉลยเพียงหนึ่งเดียว จึงเกิดข้อขัดแย้ง

บทตั้งที่ 5 สมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+1 = z^2$ เมื่อ x และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จะไม่มีผลเฉลย พิสูจน์ (การพิสูจน์โดยข้อขัดแย้ง) สมมติว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+1 = z^2$ ซึ่ง x และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ เป็นผลเฉลยของสมการนี้ เมื่อจัดรูปสมการใหม่เป็น $z^2 - 11^x = 1$ โดยบทตั้งที่ 1 ซึ่งกล่าวว่ามีผลเฉลยเพียงหนึ่งเดียว จึงเกิดข้อขัดแย้ง

ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งการวิจัยออกเป็นทฤษฎีบท 2 บท ดังได้กล่าวต่อไปนี้

ทฤษฎีบทที่ 1 สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x+97^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (1, 0, 2)$ และ $(1, 1, 10)$

พิสูจน์ กำหนดให้ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ และพิจารณากรณีจำนวนใดจำนวนหนึ่งในสามจำนวนนั้น ก็คือ x, y และ z เป็นศูนย์ นั่นคือจากสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x+97^y = z^2$ กรณีที่ $z = 0$ เห็นได้ชัดเจนว่าเป็นไปไม่ได้ และกรณีที่ $x = 0$ โดยบทตั้งที่ 2 ทำให้สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x+97^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลย ถ้า $y = 0$ โดยบทตั้งที่ 3 สรุปได้ว่า $(x, y, z) = (1, 0, 2)$ เป็นผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $3^x+97^y = z^2$ จึงเป็นการเพียงพอที่จะพิจารณาผลเฉลย เมื่อ $x \geq 1, y \geq 1$ และ $z \geq 1$ เนื่องจาก 3^x+97^y เป็นจำนวนคี่ ดังนั้น z^2 เป็นจำนวนคี่ด้วย จึงได้ว่า z เป็นจำนวนคี่ กำหนดให้ $z = 2k$ สำหรับ k บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ เนื่องจาก $z^2 \equiv 0 \pmod{4}$ และ $97^y \equiv 1 \pmod{4}$ เป็นผลทำให้ $3^x \equiv 3 \pmod{4}$ ดังนั้น x เป็นจำนวนคี่ กำหนดให้ $x = 2m+1$ สำหรับ m บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ ต่อไปจึงได้พิจารณา y ออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ y เป็นจำนวนคู่ ซึ่ง $y = 2t$ สำหรับ t บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จาก $3^x+97^y = z^2$ จะเขียนได้ในรูป $z^2 - 97^{2t} = 3^x$ กำหนดให้ $x = u+v$ และ โดยการไม่สูญเสียยัยทั่วไป ให้ $u > v$ จะได้ว่า $(z - 97^t)(z + 97^t) = 3^{u+v}$ ผลที่ตามมา $2(97^t) = 3^u - 3^v = 3^v(3^{u-v} - 1)$ เมื่อ $v \neq 0$ เป็นไปไม่ได้ เพราะว่า ด้านซ้ายของสมการไม่มี 3 เป็นตัวประกอบ จึงเหลือกรณี เมื่อ $v = 0$ ทำให้ $2(97^t) = 3^x - 1$ แต่ $2(97^t) - 2 = 3^x - 1 - 2$ จะได้ว่า $2(97^t - 1) = 3(3^{x-1} - 1)$ ทำให้ $3^{x-1} - 1 = 2$ และ $97^t - 1 = 3$ ดังนั้น $x = 2$ เกิดข้อขัดแย้งที่ว่า x เป็นจำนวนคี่

กรณีที่ 2 กำหนดให้ y เป็นจำนวนคี่ ซึ่ง $y = 2t+1$ สำหรับ t บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จาก $3^x+97^y = z^2$ จะเขียนได้ในรูป $3^{2m+1}+97^{2t+1} = (2k)^2$ ดังนั้น $3(3^{2m})+97(97^{2t}) = 4k^2$ จะได้ว่า $3(3^{2m})+48(97^{2t}) = 4k^2 - 49(97^{2t})$ ดังนั้น $3(3^{2m} + 16(97^{2t})) = (2k - 7(97^t))(2k + 7(97^t))$ ผลที่ตามมา $2k - 7(97^t) = 3$ และ $2k + 7(97^t) = 3^{2m} + 16(97^{2t})$ ซึ่งเป็นไปได้เมื่อ $t = 0, k = 5$ และ $m = 0$ ดังนั้น สมการไดโอแฟนไทน์ $3^x+97^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มเป็นลบ มีผลเฉลยคือ $(x, y, z) = (1, 1, 10)$

ทฤษฎีบทที่ 2 สมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+89^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มเป็นลบ มีผลเฉลยคือ $(x, y, z) = (1, 1, 10)$

พิสูจน์ กำหนดให้ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มเป็นลบ และพิจารณากรณีจำนวนใดจำนวนหนึ่งในสามจำนวนนั้น ก็คือ x, y และ z เป็นศูนย์ นั่นคือ จากสมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+89^y = z^2$ กรณีที่ $z = 0$ เห็นได้ชัดเจนว่าเป็นไปไม่ได้ และกรณีที่ $x = 0$ โดยบทตั้งที่ 4 ทำให้สมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+89^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลย ถ้า $y = 0$ โดย บทตั้งที่ 5 สรุปลงได้สมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+89^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลย จึงเป็นการเพียงพอที่จะพิจารณาผลเฉลย เมื่อ x, y และ $z \geq 1$ เนื่องจาก 11^x+89^y เป็นจำนวนคี่ ดังนั้น z^2 เป็นจำนวนคี่ด้วย จึงได้ว่า z เป็นจำนวนคี่ กำหนดให้ $z = 2k$ สำหรับ k บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ เนื่องจาก เนื่องจาก $z^2 \equiv 0 \pmod{4}$ และ $89^y \equiv 1 \pmod{4}$ เป็นผลทำให้ได้ $11^x \equiv 3 \pmod{4}$ ดังนั้น x เป็นจำนวนคี่ กำหนดให้ $x = 2m+1$ สำหรับ m บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ ต่อไปจึงได้พิจารณา y ออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ y เป็นจำนวนคู่ ซึ่ง $y = 2t$ สำหรับ t บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จาก $11^x+89^y = z^2$ จะเขียนได้ในรูป $z^2 - 89^{2t} = 11^x$ กำหนดให้ $x = u+v$ และ โดยการไม่สูญเสียทั่วไป ให้ $u > v$ จะได้ว่า $(z - 89^t)(z+89^t) = 11^{u+v}$ ผลที่ตามมา $2(89^t) = 11^u - 11^v = 11^v(11^{u-v} - 1)$ เมื่อ $v \neq 0$ เป็นไปไม่ได้ เพราะว่าด้านซ้ายของสมการไม่มี 11 เป็นตัวประกอบจึงเหลือกรณีเมื่อ $v = 0$ ทำให้ $2(89^t) = 11^x - 1 = 11^{2m+1} - 1$ แต่ $2(89^t) \equiv 2 \pmod{5}$ หรือ $2(89^t) \equiv 3 \pmod{5}$ และ $11^{2m+1} - 1 \equiv 0 \pmod{5}$ ซึ่งขัดแย้งกัน ดังนั้น $11^x+89^y = z^2$ จึงไม่มีผลเฉลย เมื่อ y เป็นจำนวนคู่

กรณีที่ 2 กำหนดให้ y เป็นจำนวนคี่ ซึ่ง $y = 2t+1$ สำหรับ t บางตัวที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ จาก $11^x+89^y = z^2$ จะเขียนได้ในรูป $11^{2m+1}+89^{2t+1} = (2k)^2$ ดังนั้น $11(11^{2m})+89(89^{2t}) = 4k^2$ ผลที่ตามมา $11(11^{2m})+88(89^{2t}) = 4k^2-1(89^{2t})$ ดังนั้น $11(11^{2m}+8(89^{2t})) = (2k+89^t)(2k-89^t)$ ผลที่ตามมา $2k+89^t = 11$ และ $11^{2m}+8(89^{2t}) = 2k-89^t$ ซึ่งเป็นไปได้เมื่อ $t = 0, k = 5$ และ $m = 0$ ดังนั้น สมการไดโอแฟนไทน์ $11^x+89^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ มีผลเฉลยคือ $(x, y, z) = (1, 1, 10)$

อภิปรายผลการวิจัย

สมการไดโอแฟนไทน์ในรูปแบบ $p^x+q^y = z^2$ เมื่อ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะ จะมีผลเฉลยหรือไม่มีผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าของ p และ q เช่น $2^x+2^y = z^2$ มีผลเฉลย ได้แก่ $(0, 3, 3), (1, 1, 2), (2, 5, 6), (3, 0, 3), (3, 3, 4), (4, 7, 12), (5, 2, 6), (5, 5, 8), (6, 9, 24), (7, 4, 12), (7, 7, 16), (8, 11, 48), (9, 6, 24), (9, 9, 32), (10, 13, 96), (11, 8, 48), (11, 11, 64)$ และ $(13, 10, 96)$ แต่สมการ $223^x+241^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ ส่วนรูปแบบ $p^x+q^y = z^2$ เมื่อ p และ q เป็นจำนวนเฉพาะ ซึ่ง $p+q = 100$ ที่เหลือ ได้แก่ $17^x+83^y = z^2, 29^x+71^y = z^2, 41^x+59^y = z^2$ และ $47^x+53^y = z^2$ ซึ่งมีผลเฉลยเหมือนกัน คือ $(x, y, z) = (1, 1, 10)$ ไม่ได้นำเสนอในบทความนี้ เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำแล้ว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่สนับสนุนและให้โอกาสในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- Aggarwal, S., Sharma, S.D. & Singhal, H. (2020, August). On the Diophantine equation $223^x+241^y = z^2$. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 5(8), 155-156.
- Aggarwal, S. & Kumar, S. (2021). On the exponential Diophantine equations $(2^{2m+1}-1)+(6r + 1)^n = z^2$. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 4(6), 49-51.
- Burshtien, N. (2021, January). All the solutions of the Diophantine equations $p^4+q^y = z^4$ and $p^4-q^4 = z^4$ when p,q are distinct primes. *Annal of Pure and Applied Mathematics*, 23(1), 17-20.
- Mihailescu, P. (2004). Primary cyclotomic units and a proof of Catalan’s conjecture. *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik*, 572, 167-195.
- Rabago, J.F.T. (2016). On the Diophantine equation $2^x+17^y = z^2$. *Journal of the Indonesian Mathematical Society*, 22(2), 85-88.
- Sroysang, B. (2014). On the Diophantine equation $143^x+145^y = z^2$. *International Journal of pure and applied Mathematics*, 91(2), 265-268.



การสร้างเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
Creating a Wire Bending Tool for Attaching the Ground Wire to the Electrical
Pole of the Provincial Electricity Authority

ณัฐดนัย เรือนคำ*

Nuthdanai Rueankham

Received : October 25, 2023

Revised : July 16, 2024

Accepted : July 30, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2) ประเมินคุณภาพของเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ 3) ประเมินความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประเมินความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า โดยพนักงานแผนกก่อสร้างและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุง และนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า จำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แบบบันทึกผลการทดลอง แบบประเมินคุณภาพและแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า เครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถตัดลวดได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว สามารถตัดได้ตรงและหรือใกล้เคียงตามมาตรฐาน ทุกตัว ทำให้ระบบสายดินยึดแน่น มั่นคง ไม่หลุดออกจากเสา ปลอดภัยทั้งระบบจำหน่ายแรงต่ำและแรงสูง ของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและระบบจำหน่ายของผู้ใช้ไฟ คุณภาพของเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.59, S.D = 0.50$) และความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.57, S.D = 0.83$)

คำสำคัญ : เครื่องมือตัดลวด / สายดิน / เครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟ

*อาจารย์ประจำแผนกวิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร

Lecturer in the Department of Electrical Engineering Kamphaeng Phet Technical College

(Corresponding Author) e-mail: nuthdanai25170@gmail.com

ABSTRACT

This research aimed to 1) Designed and created a wire bending tool for attaching ground wires to electrical poles of the Provincial Electricity Authority. 2) Evaluate the quality of wire bending tools for attaching ground wires to electrical poles of the Provincial Electricity Authority and 3) Evaluate satisfaction with wire bending tools for attaching ground wires to electrical poles of the Provincial Electricity Authority. Quality evaluated by 5 experts. Evaluate satisfaction with wire bending tools for attaching ground wires to electrical poles. by employees of the construction and operations department Provincial Electricity Authority Khlong Khlung District Branch and undergraduate students Electrical Technology Department: 20 people. The tools used include Experimental result recording form Quality evaluation form and satisfaction evaluation. The statistics used are arithmetic mean and standard deviation. The results of the research found that wire bending tools for attaching ground wires to electrical poles of the Provincial Electricity Authority were designed and built. Can bend wires easily, conveniently and quickly. Can bend straight and or close to the standard for every type. Make the grounding system firmly fixed, stable, and not detached from the pole. Safe for both low and high voltage distribution systems of the Provincial Electricity Authority and the distribution system of electricity users. Quality of wire bending tools for attaching ground wires to electrical poles of the Provincial Electricity Authority The overall picture is at the highest level. ($\bar{X} = 4.59, S.D = 0.50$) and satisfaction with the wire bending tools for attaching ground wires to electrical poles of the Provincial Electricity Authority. at the highest level ($\bar{X} = 4.57, S.D = 0.83$)

Keywords : Bending wire Equipment / Ground Wire /

Wire bending tool for attaching ground wires to light poles

บทนำ

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (แผนยุทธศาสตร์การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2564-2568, 2567) มีความได้เปรียบในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ครอบคลุมทั่วประเทศ โดยทิศทางในอนาคตต้องการให้ปรับปรุงประสิทธิภาพ ดังนี้ 1) การเพิ่มความมั่นคงของระบบจำหน่าย ในพื้นที่เมืองใหญ่ และพื้นที่เศรษฐกิจของประเทศ 2) เร่งรัดโครงการ Smart Grid ให้ได้ตามแผนฯ ทั้งนี้ โครงการฯ มีการลงทุนสูง ให้นั้นการสร้างความร่วมมือกับเอกชนให้เข้าร่วมในการดำเนินงาน 3) ในช่วง Energy Transition ของโครงสร้างอุตสาหกรรมไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ควรปรับปรุงระบบ Grid ให้รองรับการเชื่อมต่อของ TPA และระบบเทคโนโลยีของผู้ใช้ไฟฟ้าใน

อนาคต (Connected Customers) (พัฒนาจุดแข็งและรักษาความได้เปรียบในการแข่งขันกับเอกชนในอนาคต)

4) การรองรับในการเป็น Load Aggregator ในอนาคต

สายดิน (KJL, 2567) ถือเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ไฟฟ้าสำคัญที่ช่วยเสริมความปลอดภัยในการใช้งาน เป็นตัวนำหรือสายไฟที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำหน้าที่นำทางกระแสไฟฟ้าที่รั่วให้ไหลลงไปสู่พื้นดิน หรือนำทางกลับไปยังระบบตัดไฟ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายถึงชีวิตต่อผู้ใช้งานที่สัมผัสกระแสไฟฟ้ารั่วโดยไม่ได้ตั้งใจ โดยมีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า ดังนี้ 1) เมื่อเกิดไฟรั่ว กระแสไฟฟ้าจะไหลจากสายดินลงสู่พื้นดิน ช่วยลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากไฟฟ้าช็อต 2) ช่วยถ่ายเทพริชจู่ไฟฟ้าสถิตออกจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ลดความเสี่ยงในการเกิดประกายไฟและเพลิงไหม้ 3) ช่วยรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ และป้องกันไฟกระชากจากไฟฟ้าที่อยู่ในระบบมากเกินไป 4) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ยาวนานขึ้น

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาลองชุลง เป็นหน่วยงานสังกัดการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดกำแพงเพชร ในการดูแลและรับผิดชอบโครงข่ายระบบไฟฟ้าครอบคลุมอำเภอคลองขลุง จากประสบการณ์การปฏิบัติงานแผนกก่อสร้างและปฏิบัติการการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ผ่านมา พบว่าความผิดปกติของระบบจำหน่ายในปัจจุบันมีด้วยหลายสาเหตุ เช่น จากธรรมชาติ จากอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายเสื่อมสภาพ และจากการปฏิบัติงานติดตั้งลวดยึดสายดินพบว่าสายดินหลุดออกจากเสาไฟฟ้า เกิดจุดเสี่ยงในระบบจำหน่าย เช่น สายดินระบบแรงสูงหลุดมาแตะกับระบบแรงต่ำด้านล่าง ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงต่ำ ส่งผลให้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นชำรุดเสียหาย เป็นจำนวนมาก การติดตั้งระบบสายดินต้องมีการตัดลวดเพื่อยึดสายดินกับเสาไฟฟ้า การตัดลวดยึดสายดินต้องตัดด้วยมือ ไม่มีเครื่องมือช่วยในการตัดลวด อาศัยทักษะของผู้ปฏิบัติเป็นอย่างมาก เนื่องจากลวดที่นำมาตัดมีความโค้งงอ แข็ง เหนียว ทำให้เจ็บมือและบาดเจ็บแก่ผู้ปฏิบัติงาน ยากต่อการตัดให้ได้ตามแบบมาตรฐาน และควบคุมการติดตั้งชุดสายดิน ส่งผลให้การตัดลวดยึดสายดินไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ทำให้เกิดจุดเสี่ยงในระบบจำหน่ายทั้งด้านแรงต่ำและแรงสูง จากสายดินที่หลุดออกจากเสาไฟฟ้าแต่เนื่องจากเครื่องมืออุปกรณ์ในการตัดลวดมีราคาสูง ขาดงบประมาณในการจัดซื้อ เพื่อเป็นการการสนองนโยบายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค PEA 4.0 ที่มุ่งเน้น “พัฒนาค้นด้วยเครื่องมือ พัฒนางานด้วยเทคโนโลยี” จึงคิดค้นสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์มาพัฒนางานด้านต่าง ๆ ให้กับหน่วยงาน เพื่อใช้ประโยชน์และแก้ปัญหาความผิดปกติของระบบจำหน่าย



ภาพที่ 1 จุดเสี่ยงในระบบจำหน่ายที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อบุคคลหรือความเสียหายต่ออุปกรณ์

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้วิเคราะห์ปัญหา หาวิธีเพื่อแก้ไขปัญหานำไปสู่การคิดค้น ออกแบบและสร้าง เครื่องมือดัดลวดสำหรับยึดสายดิน ให้มีความแข็งแรงของระบบสายดิน ถูกต้องตามมาตรฐาน เหมาะสมกับ ผู้ปฏิบัติงานใช้งานได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก พัฒนางานและส่งผลให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำมี เสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

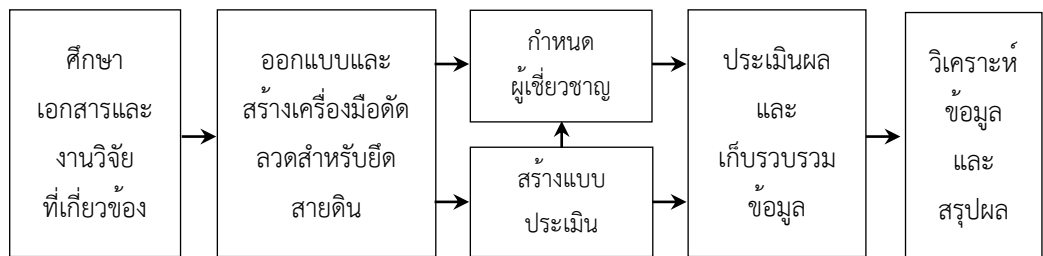
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ เจ้าหน้าที่ พนักงานพนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุง และ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร

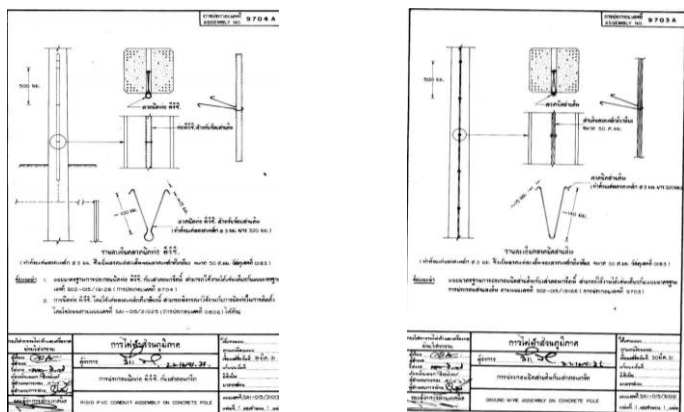
กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอคลองขลุง แผนกก่อสร้างและ ปฏิบัติการ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า ห้องเรียน ทลพ. 66.2 วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร จำนวน 20 คน โดยใช้วิธีสุ่มแบบเจาะจง

เครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) แบบบันทึกผลการทดสอบเครื่องมือดัดลวดสำหรับ ยึดสายดิน 2) แบบประเมินคุณภาพเครื่องมือดัดลวดสำหรับยึดสายดิน และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อ การใช้งานของเครื่องมือดัดลวดสำหรับยึดสายดิน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



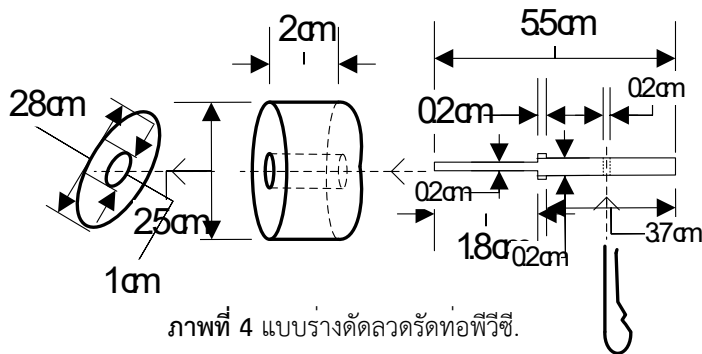
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



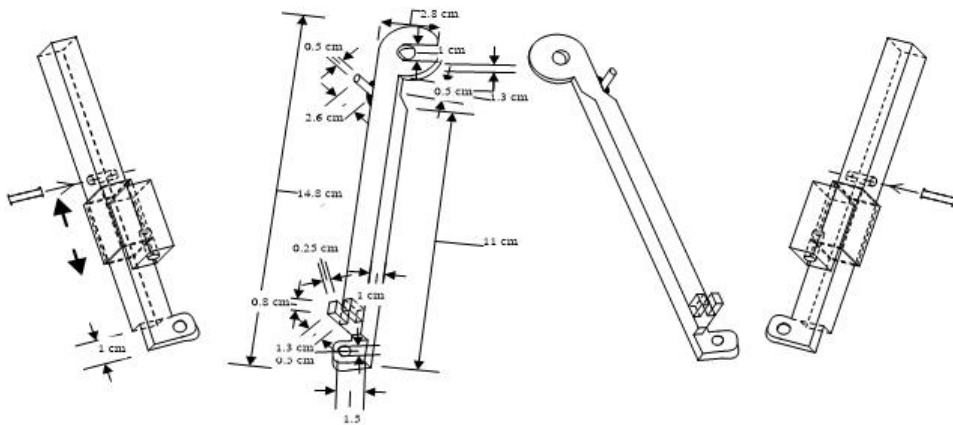
ภาพที่ 3 แบบมาตรฐานลวดยึดสายดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1. ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อความถูกต้องตามมาตรฐานของการตัดลวดยึดสายดิน และสามารถทำได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยความชำนาญ แสดงดังภาพที่ 3

2. ออกแบบชิ้นงานและสร้างเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดิน วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการสร้างชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 และเมื่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้เครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดิน แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 4 แบบร่างตัดลวดรัดท่อพีวีซี.



ภาพที่ 5 แบบร่างเครื่องมือตัดลวด



ภาพที่ 6 เครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดิน

3. วิธีใช้งานเครื่องมือตัดลวดสำหรับสำหรับยึดสายดิน ไปทดลองตัดลวด แบ่งเป็นการตัดลวดยึดสายดิน 2 รูปแบบ ได้แก่

1) แบบยึดลวดเหล็ก 50 ตารางมิลลิเมตร โดยตรง

- ตัดลวดเหล็กขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 32 เซนติเมตร 1 เส้น มาใส่ที่ตัวเครื่องมือตัดลวด และทำการพับส่วนปลายโดยนำส่วนปลายของลวดเสียบเข้าไปในรูที่เจาะไว้ตรงส่วนด้ามเครื่องมือตัดลวด ตัดลวดโดยการพับเครื่องมือตัดลวด เพื่อให้ลวดเหล็กงอตามต้องการ



ภาพที่ 7 การตัดลวดเหล็กขนาด 3 มิลลิเมตร

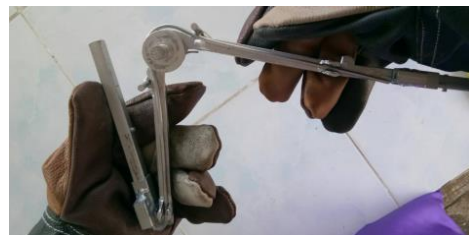
- นำปลายลวดอีกด้านเสียบเข้าไปในรูที่เจาะไว้ตรงส่วนด้ามเครื่องมือตัดลวดเพื่อพับขาอีกข้างที่เหลือ และนำลวดที่ตัดออกจากเครื่องมือตัดลวด จะได้ลวดยึดสายดินตามมาตรฐาน



ภาพที่ 8 รูปแบบลวดเหล็ก แบบยึดลวดเหล็ก โดยตรง

2) แบบยึดท่อ PVC

- ตัดลวดเหล็กขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 32 เซนติเมตร 1 เส้น มาใส่ที่ตัวเครื่องมือตัดลวด และทำการพับส่วนปลายโดยนำส่วนปลายของลวดเสียบเข้าไปในรูที่เจาะไว้ตรงส่วนด้ามเครื่องมือตัดลวด ตัดลวดโดยการพับเครื่องมือตัดลวด เพื่อให้ลวดเหล็กงอตามต้องการ



ภาพที่ 9 การตัดลวดเหล็กขนาด 3 มิลลิเมตร

- นำปลายลวดอีกด้านเสียบเข้าไปในรูที่เจาะไว้ตรงส่วนด้ามเครื่องมือตัดลวดเพื่อพับขาอีกข้างที่เหลือ และนำลวดที่ตัดออกจากเครื่องมือตัดลวด จะได้ลวดยึดสายดินตามมาตรฐาน



ภาพที่ 10 รูปแบบลวดเหล็ก แบบยึดท่อ PVC

ออกแบบประเมินคุณภาพ ของเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดิน แบบประเมินค่า (Checklist) 5 ระดับ ได้แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบโครงสร้าง ด้านการใช้งาน และด้านคุณภาพ เพื่อนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ทำการประเมิน จำนวน 5 คน นำมาวิเคราะห์ผลโดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเทียบค่าเฉลี่ยกับขั้นระดับคุณภาพ ดังนี้ (ล้วน และอังคณา, 2538)

4.50-5.00 หมายถึง มีคุณภาพมากที่สุด

3.50-4.49 หมายถึง มีคุณภาพมาก

2.50-3.49 หมายถึง มีคุณภาพปานกลาง

1.50-2.49 หมายถึง มีคุณภาพน้อย

1.00-1.49 หมายถึง มีคุณภาพน้อยที่สุด

การออกแบบประเมินความพึงพอใจ ออกแบบประเมินความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า แบบประเมินค่า (Checklist) 5 ระดับ เพื่อนำไปให้พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอคลองขลุง ทำการประเมิน จำนวน 20 คนวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเทียบค่าเฉลี่ยกับขั้นระดับคุณภาพ ดังนี้ (ล้วน และอังคณา, 2538)

4.50-5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

3.50-4.49 หมายถึง พึงพอใจมาก

2.50-3.49 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

1.50-2.49 หมายถึง พึงพอใจน้อย

1.00-1.49 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการทดลองเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า

ผลจากการนำเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ให้ผู้ปฏิบัติงาน แผนกก่อสร้างและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุง สามารถตัดลวดยึดสายดิน โดยใช้เครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า สามารถตัดลวดได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งสามารถตัดได้ตรงและหรือ

ใกล้เคียงตามมาตรฐานทุกตัว ทำให้ระบบสายดินยึดแน่น มั่นคง ไม่หลุดออกจากเสา ปลอดภัยทั้งระบบจำหน่ายแรงต่ำและแรงสูง ของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและระบบจำหน่ายของผู้ใช้ไฟ



รูปแบบยึดลวดเหล็ก 50 ตารางมิลลิเมตร โดยตรง

แบบยึดท่อ PVC

ภาพที่ 11 รูปแบบลวดเหล็กยึดสายดินทั้ง 2 รูปแบบ ที่ใช้งานจริง



ภาพที่ 12 ภาพการติดตั้งลวดยึดสายดิน ที่ใช้งานจริง

2. ผลการประเมินคุณภาพเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า

ผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ซึ่งทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่มีประสบการณ์ทางด้านการทำงาน 10 ปีขึ้นไป จำนวน 5 ท่าน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดิน

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ระดับคุณภาพ
ด้านการออกแบบโครงสร้าง	4.52	0.51	มากที่สุด
ด้านการใช้งาน	4.60	0.49	มากที่สุด
ด้านการบำรุงรักษา	4.64	0.51	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	4.59	0.50	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.59, S.D. = 0.50$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.52, S.D. = 0.51$) ด้านการใช้งานมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.60, S.D. = 0.49$) และด้านการบำรุงรักษามีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.64, S.D. = 0.51$)

3. ผลความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อเครื่องตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ทำการประเมินโดยพนักงานแผนกก่อสร้างและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุงและนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า จำนวน 20 คน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดิน

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ออกแบบได้โดดเด่น น่าสนใจ	4.65	0.51	มากที่สุด
2. สะดวกต่อพกพา เคลื่อนย้าย	4.55	0.67	มากที่สุด
3. มีความแข็งแรง คงทนของวัสดุเหมาะสมกับงาน	4.35	0.92	มาก
4. ความปลอดภัยจากการใช้งาน	4.60	0.97	มากที่สุด
5. ความสวยงาม ความเรียบร้อย	4.45	0.97	มาก
6. ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4.55	0.92	มากที่สุด
7. ซ่อมแซมแก้ไขได้สะดวก	4.40	0.97	มาก
8. ตัวเครื่องตัดกะทัดรัด	4.85	0.68	มากที่สุด
9. ความง่ายต่อการบำรุงรักษา	4.60	0.68	มากที่สุด
10. ต้นทุนคุ้มค่ากับประโยชน์ที่ได้รับ	4.65	0.97	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	4.57	0.83	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า พนักงานแผนกก่อสร้างและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุง และนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.57, S.D. = 0.83$)

อภิปรายผล

1. เครื่องตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า เป็นการค้นคว้า พัฒนาและออกแบบ เพื่อพัฒนางานของหน่วยงานแผนกก่อสร้างและปฏิบัติการ ซึ่งไม่สามารถซื้อขายได้จากห้างร้าน บริษัททั่วไป เป็นเครื่องมือที่ผู้ปฏิบัติงานเกิดปัญหาในการทำงาน จึงนำปัญหาที่พบมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบวิธีการทำงาน หรือ อุปกรณ์มาแก้ไขปัญหาระบบสายดินให้มีความมั่นคง ทั้งระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ และระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ลดจุดเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากระบบสายดิน ลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายจาก

อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายชำรุด ดังกล่าวกับหน่วยงานหรือแผนกก่อสร้างและปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุง ที่มุ่งเน้นให้อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายถูกต้องตามมาตรฐานและเพิ่มทักษะความสามารถของผู้ปฏิบัติงานในการติดตั้งระบบสายดินให้สามารถตัดลวดยึดสายดินได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ก่อให้เกิดผลลัพธ์ด้านกระบวนการภายใน (Internal Process) ได้แก่ 1) สร้างผลิตภัณฑ์ หรือนวัตกรรม (ลวดยึดสายดิน) ได้ถูกต้องตามแบบมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2) สามารถลดเวลาในการผลิตและติดตั้งลวดยึดสายดิน และ 3) ทำให้การตัดลวดยึดสายดินตามแบบมาตรฐานเป็นเรื่องง่ายต่อผู้ปฏิบัติงาน แม้เป็นผู้ที่เข้าปฏิบัติงานใหม่ เพราะขั้นตอนการใช้ไม่ซับซ้อน

2. คุณภาพของเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอยู่ในระดับมาก เนื่องจากการออกแบบโครงสร้าง มีขนาด รูปแบบ ของโครงสร้างเหมาะสม และการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเหมาะสม มีความคงทน แข็งแรงต่อการใช้งาน มีความปลอดภัยในการใช้งาน มีความคุ้มค่าในการลงทุน บำรุงรักษาง่ายและปฏิบัติงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ (ภาณุวัฒน์, 2563) ได้พัฒนาเครื่องสับต้นข้าวโพดสำหรับผลิตอาหารสัตว์ ภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}=4.70, S.D.=0.14$) สอดคล้องกับ และสอดคล้องกับ (ณัฐดนัย, 2565) ได้สร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.58, S.D.=0.41$)

3. ความพึงพอใจต่อเครื่องมือตัดลวดสำหรับยึดสายดินเข้ากับเสาไฟฟ้า ภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอยู่ในระดับมาก เนื่องจากตัวเครื่องตัดลวดกะทัดรัด ออกแบบได้โดดเด่น น่าสนใจ ต้นทุนคุ้มค่ากับประโยชน์ที่ได้รับ ปลอดภัยจากการใช้งานและง่ายต่อการบำรุงรักษา ซึ่งสอดคล้องกับ (เอกชัย, 2563) ได้ศึกษาความพึงพอใจของเกษตรกรผู้เลี้ยงผึ้งต่อเครื่องสลัดน้ำผึ้งอัตโนมัติ จำนวน 7 คน พบว่า ความพึงพอใจภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.61, S.D.=0.46$) สอดคล้องกับ (ณัฐดนัย, 2564) ได้ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงและระดับปริญญาตรีต่อเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง จำนวน 45 คน ภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.60, S.D.=0.53$) และสอดคล้องกับ (ณัฐดนัย, 2565) ได้ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาแผนกวิชาช่างไฟฟ้าระดับชั้น ปวส. และปริญญาตรี วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร จำนวน 45 คน ต่อการสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.50, S.D.=0.54$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาอำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร ขอขอบคุณคณะผู้บริหาร อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ รวมถึงเครื่องมือ อุปกรณ์ในการท้าววิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- แผนยุทธศาสตร์การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2564-2568. (2567). คณะกรรมการกำหนดนโยบายและยุทธศาสตร์การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. [Online]. Available : <https://infocenter.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER9/DRAWER087/GENERAL/DATA0000/00000744.PDF> [2567, กันยายน 23].
- Kjl. (2567). **เหล็กเส้นกลม**. [Online]. Available : <https://www.kjl.co.th/blog/what-is-grounding-system> [2567, กันยายน 23].
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2538). **เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา**. (ครั้งที่พิมพ์ 5). กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- ภาณุวัฒน์ วงศ์แสงน้อย. (2563). การออกแบบและการพัฒนาเครื่องสับต้นข้าวโพดสำหรับผลิตอาหารสัตว์. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์**, 15(1), 15-31.
- เอกชัย ไก่แก้ว. (2563). เครื่องสไล่น้ำผึ้งแบบอัตโนมัติ. **วารสารสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3**, 4(8), 143-155.
- ณัฐดนัย เรือนคำ. (2564). การสร้างและพัฒนาแบบจำลองเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง. **วารสารสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3**, 5(9), 113-126.
- ณัฐดนัย เรือนคำ. (2565). การสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ. **สัทธิง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.) มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**, 9(2), 43-57.



การจำลองการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดแยกโดดโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

Simulation of Virtual Inertial Control of an Isolated Microgrid using Fuzzy Logic Control

พรณพัฒน์ แผงสาย*

Pornapat Pangsai

พรณวัฒน์ แผงสาย**

Pornawat Pangsai

Received : September 22, 2023

Revised : June 28, 2024

Accepted : September 6, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดแยกโดด (Islanded microgrid) โดยใช้การจำลองการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก เพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนและลดการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบไมโครกริดซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม แบตเตอรี่ สำหรับสร้างแรงเฉื่อยเสมือนและโหลด ผลการวิจัยเป็น 3 กรณี ตามลักษณะกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลม และโหลดแบบสุ่ม สรุปได้ดังนี้ กรณี 1) การเบี่ยงเบนของความถี่ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน กรณีไม่ได้ควบคุม ความถี่อยู่ในระดับ 1.8 Hz และ -1.8 Hz กรณี 2) การเบี่ยงเบนของความถี่ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน กรณีการใช้ PID ควบคุม ความถี่อยู่ในระดับ 1.6 Hz และ -1.6 Hz กรณี 3) การเบี่ยงเบนของความถี่ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน กรณีการใช้ Fuzzy ควบคุม ความถี่อยู่ในระดับ 1.2 Hz และ -1.2 Hz สรุปการจำลอง พบว่าการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ให้การเบี่ยงเบนของความถี่ต่ำกว่าการควบคุมด้วยพีไอแบบทั่วไป (PI) และการเบี่ยงเบนความถี่เมื่อมีการติดตั้งการควบคุมแรงเฉื่อยดีกว่าการไม่เสมือน

คำสำคัญ : การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริด / ควบคุมแบบฟัซซีลอจิก / การหาค่าผลการจำลอง

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Lecturer in Department of Science Faculty of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University

(Corresponding Author) e-mail: narongsak503@gmail.com

**ผู้ตรวจระบบการผลิตพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

Renewable energy production and energy conservation system inspector ministry of energy

ABSTRACT

The objective of this research is to research virtual inertial control of islanded microgrid using fuzzy logic control simulation. To increase virtual inertia and reduce frequency oscillations in the electrical power system. The system used in the study is a microgrid system which consists of diesel generator Wind power generators, batteries for generating virtual inertial forces and loads. The simulation results are 3 cases according to the electrical power characteristics from wind power. and load randomly It can be summarized as follows: Case 1 Frequency deviation, Power from the diesel generator and power from the battery create, virtual inertia. In case of not controlling Frequencies are in the range of 1.8 Hz and -1.8 Hz. Case 2 Frequency deviation Power from the diesel generator and power from the battery create, virtual inertia. In the case of using PID control, the frequency is at the level of 1.6 Hz and -1.6 Hz. Case 3 Frequency deviation, Power from the diesel generator and power from the battery create, virtual inertia. In the case of using Fuzzy control, the frequency is at the level of 1.2 Hz and -1.2 Hz. Summary of the simulation: It was found that virtual inertial force control using fuzzy logic control It provides lower frequency drift than conventional PI controls and better frequency drift when inertial control is installed than without virtual control.

Keywords : Virtual Inertial Control of Microgrids / Fuzzy Logic Control /

Determination of Simulation Results

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสถานการณ์เจริญเติบโตของเศรษฐกิจและจำนวนในปัจจุบัน ปัญหาเรื่องพลังงานกำลังเป็นปัญหาที่ประเทศต่างๆ ทั่วโลกให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาพลังงานด้านต่างๆ มาทดแทนพลังงานในปัจจุบันที่ลดน้อยลงเรื่อยๆ และกำลังจะหมดไปในอนาคตข้างหน้า ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไข จึงได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่อยู่ห่างไกลหรือเขตทุรกันดารของประเทศ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561) โดยเฉพาะพลังงานธรรมชาติอย่าง เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งขบวนการผลิตไฟฟ้า โรงงานไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายแรงเฉื่อยให้กับไมโครกริด ผ่านส่วนที่หมุนได้ ความเฉื่อยนี้จะช่วยจัดการความถี่ให้อยู่สถานะที่เหมาะสมที่สุด (นราศักดิ์, 2560) เพื่อจัดระบบจัดเก็บพลังงานหมุนเวียนและระบบเก็บพลังงาน (Energy Storage System : ESS) และไหลลงภายในประเทศที่มีโหมดแยกหรือเชื่อมต่อกับไมโครกริด เพื่อลดการช้อยงไร้ก้ตามอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับพลังงานหมุนเวียน (RESs) จะลดความเฉื่อยของไมโครกริดลงอย่างมากซึ่งทำให้ ความถี่กับแรงดัน เกิดปัญหาตามมา (สหรัฐ, 2561) เมื่อเทียบกับ

ไมโครกริดแบบเดิม พลังงานทางเลือก คือพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัดพลังงานทดแทนแบ่งออกได้หลายประเภทดังนี้

1. พลังงานลมที่ได้จากกังหันลม

พลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ที่ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไป หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลม จะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับแกนหมุนของกังหันลมจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม (อุทัย, 2564)

2. การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม

การนำลมมาใช้ประโยชน์จะต้องอาศัยเครื่องจักรกลสำคัญ คือ “กังหันลม” ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลม เป็นพลังงานกลก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ที่สำคัญพลังงานลมใช้ไม่มีวันหมด และกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม (อุทัย, 2564)

3. พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ที่เราจะนำมาใช้คือพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ฉะนั้นทฤษฎีแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ทฤษฎีหัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ ทฤษฎีการเกิด Optical Transition ต่างๆ ในสารกึ่งตัวนำกระบวนการเกิดพาหะและการรวมตัวของพาหะในสารกึ่งตัวนำ ฯลฯ จึงเป็นสิ่งที่ต้องทำความเข้าใจให้ได้ก่อนจึงจะสามารถประดิษฐ์พัฒนาปรับปรุงตลอดจนใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ (อธิป, 2561)

4. องค์ประกอบใหญ่ๆ ของระบบโฟโตโวลตาอิกมีดังต่อไปนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar arrays) ซึ่งมีขนาดโตพอที่จะสามารถแปรพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตามปริมาณที่ต้องการ การคำนวณออกแบบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ณ สถานที่ติดตั้งระบบ และขนาดของโหลดที่ใช้

2) Blocking Diode ทำหน้าที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่หรือโหลดเพียงทางเดียวเพราะหากไม่มีแสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่จะถูกย้อนกลับสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ถ้าไม่มีการต่อ Blocking Diode เอาไว้

3) แบตเตอรี่ ทำหน้าที่เก็บสะสมกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (Portable Photovoltaic System)

4) อินเวอร์เตอร์ (inverter) ทำหน้าที่แปรไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่และเฟสตามต้องการหรือเหมาะสมกับการเข้ากับ Utility Grid โดยทั่วไป องค์ประกอบนี้มักได้แก่ DC.- AC

ข้อดีของพลังงานแสงอาทิตย์

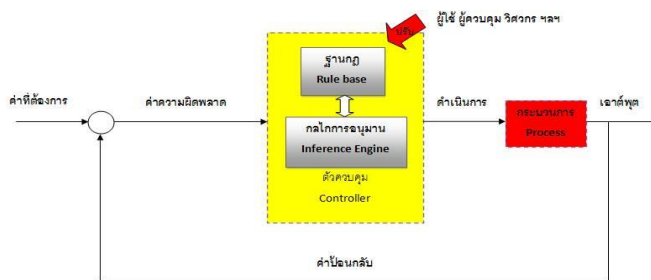
- | | |
|------------------------------|--|
| 1) ประหยัดค่าใช้จ่ายอย่างมาก | 5) พลังงานแสงอาทิตย์เป็นการลงทุนที่ปลอดภัย |
| 2) เห็นผลตั้งแต่วันแรก | 6) ประสิทธิภาพที่น่าเชื่อถือ |
| 3) ระยะเวลาคืนทุนต่ำ | 7) ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้ได้ทุกที่ |
| 4) เพิ่มมูลค่าให้กับบ้าน | 8) สร้างความเป็นอิสระด้านพลังงาน |

ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะแก้ปัญหาแรงเฉื่อย ของระบบที่ลดลงจากการเพิ่มขึ้นของ การผลิตไฟฟ้า จาก กังหันลมและเซลล์แสงอาทิตย์ จึงมีการนำเสนอการจำลองแรงเฉื่อยเสมือน (Virtual Inertia emulator) ซึ่งดึงพลังงานมาจากแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง ที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งอาจหมดไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

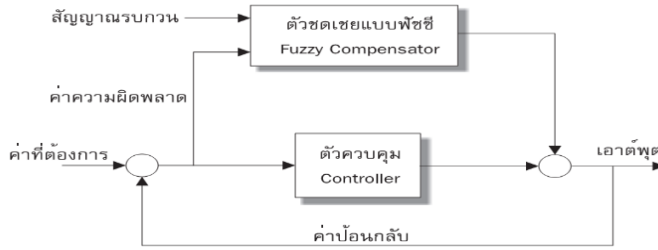
กฎต่างๆ ทางวิศวกรรมในตัวควบคุมแบบฐานกฎต่างๆ ไป ต้องคัดแยกออกจากส่วนที่เป็นสมการ คณิตศาสตร์ (ในตัวควบคุมแบบดั้งเดิม) ตัวอย่างรูปแบบการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซี มีดังต่อไปนี้

1. การควบคุมโดยตรง แสดงดังภาพที่1 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีจะอยู่ในส่วนหน้าก่อนที่ เอาต์พุตจะถูกป้อนกลับเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการจะถูกเปรียบเทียบกับค่าอินพุตที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่าความ ผิดพลาดเกิดขึ้น นั่นคือเอาต์พุตไม่ตรงหรือไม่สอดคล้องกับค่าอินพุตที่ต้องการ ตัวควบคุมจะดำเนินการอย่างใด อย่างหนึ่ง ตามกลวิธีที่กำหนดหรือออกแบบไว้ในตัวควบคุม ตัวควบคุมแบบฟัซซี ใช้แทนตัวควบคุม PID แบบ ดั้งเดิมนั่นเอง



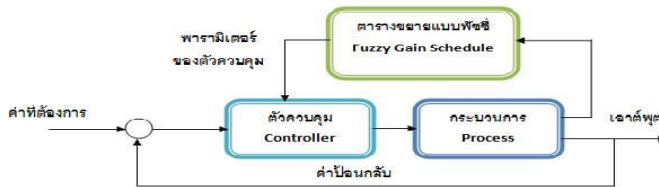
ภาพที่ 1 การควบคุมโดยตรง

2. การควบคุมแบบไปข้างหน้า เป็นการแสดงนำเอาฟัซซีลอจิกมาเป็นตัวชดเชยการทำงานของตัว ควบคุมในการควบคุม ตัวควบคุมในระบบอาจจะเป็นตัวควบคุม PID แบบเชิงเส้น แสดงดังภาพที่2. ในขณะที่ตัว ชดเชยแบบฟัซซีจะทำการชดเชยการทำงานของตัวควบคุมในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น



ภาพที่ 2 การควบคุมไปข้างหน้า

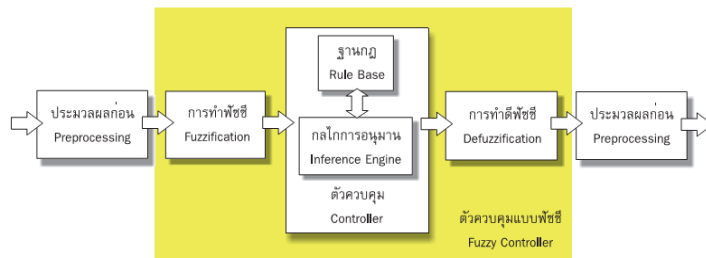
3. การควบคุมค่าพารามิเตอร์เชิงปรับตัว ในกรณีทีระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีจุดทำงานเปลี่ยนแปลงไป จากค่าเริ่มต้นที่ตั้งไว้ เราสามารถที่จะปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวควบคุมให้สอดคล้องกับจุดทำงาน ใหม่ได้ด้วยการจัดตารางการขยายแบบฟัซซี (Fuzzy gain Scheduling) การปรับค่าดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ ตารางค้นหา (Look-up Table) แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การควบคุมพารามิเตอร์เชิงปรับตัว

การออกแบบสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซี

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีมีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณเหมือนกับวิธีราก-โพลส์ (Root-Locus) วิธีผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) หรือวิธีวางตำแหน่งโพล (Pole Placement) ได้รายละเอียดต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงองค์ประกอบต่างๆ ของตัวควบคุมแบบฟัซซี ตามแนวทางสำหรับออกแบบใน เชิงวิศวกรรม แสดงดังภาพที่ 4



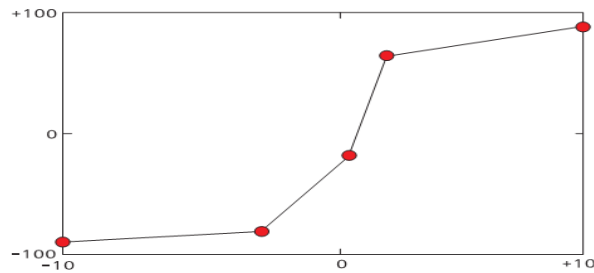
ภาพที่ 4 โครงสร้างตัวควบคุมฟัซซี

1) องค์ประกอบในการประมวลผลก่อนและหลัง

1.1 การประมวลผลก่อน เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการเตรียมอินพุต ให้มีความเหมาะสมที่จะใช้กับ ตัวควบคุมในโลกของฟัซซี (ไม่รวมขั้นตอนการทำให้เป็นฟัซซี) จึงจำเป็นจะต้องมีการประมวลผลก่อน เพื่อปรับ ค่าอินพุตเหล่านั้นให้มีความเหมาะสม

1.2 การทำฟัซซี ค่าอินพุตที่ได้จากการประมวลผลก่อนจะถูกแปลงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิก จากฟังก์ชันสมาชิกต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบ แล้วทำการรวมผลลัพธ์ของอินพุตนั้น ตามเงื่อนไข (ตัวแปรภาษา) ที่ถูก ออกแบบไว้

1.3 ฐานกฎ กฎในระบบฟัซซีถือเป็นหัวใจในการดำเนินการควบคุม แนวคิดของการใช้ฐานกฎ ในฟัซซีลอจิกทำให้ระบบที่มีความใกล้เคียงกับการทำงานจริงของมนุษย์ หรือกล่าวได้ว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญนั่นเอง



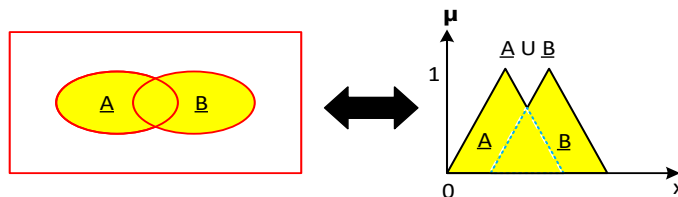
ภาพที่ 5 การปรับค่าให้เป็นบรรทัดฐานแบบไม่เป็นเชิงเส้นของค่าอินพุต

การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ คือ Union, Intersection, Complement และ Subset

1. ยูเนียนของฟัซซีเซต จะเป็น OR Operation ในสมการ 1 และแสดงดังภาพที่ 6

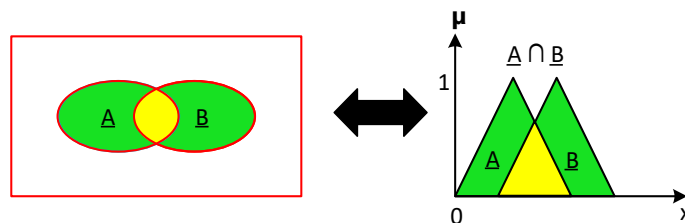
$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{1}$$



ภาพที่ 6 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซตจะเป็น AND Operation ในสมการ 2 และในแสดงดังภาพที่ 7

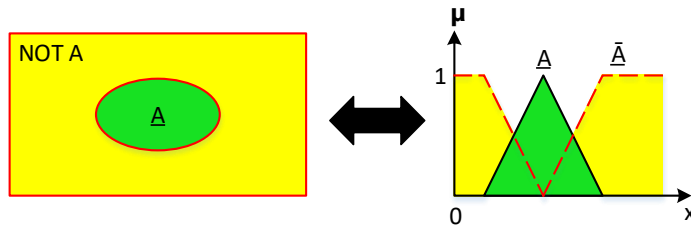
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \tag{2}$$



ภาพที่ 7 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

3. คอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการ 3 และแสดงดังภาพที่ 8

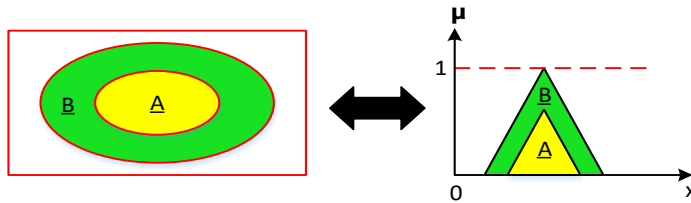
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{3}$$



ภาพที่ 8 คอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต A

4. เซตย่อย (Subset) หรือ คอนเทนเมนต์ของฟัซซีเซต ในสมการ 4 และแสดงดังภาพที่ 9

$$\underline{A} \subset \underline{B} \rightarrow \mu_{\underline{A}}(X) \leq \mu_{\underline{B}}(X) \tag{4}$$



ภาพที่ 9 เซตย่อย หรือ คอนเทนเมนต์ของฟัซซีเซต A

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่นิยมนำมาใช้และพิจารณามากมี 6 ชนิดดังนี้

1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม Membership Function Triangular ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์

คือ {a,b,c}

$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \tag{5}$$

2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมี

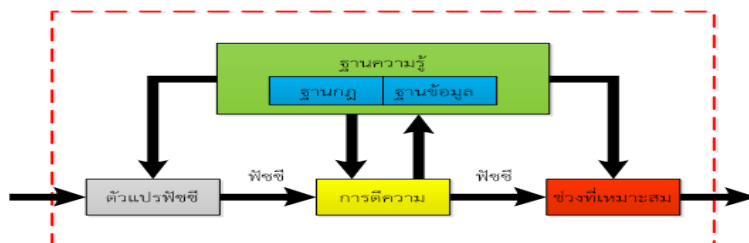
ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ คือ {a,b,c,d}

$$\text{trapezoidal}(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \tag{6}$$

ตัวแปรภาษา

เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นค่าที่แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัย สามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็นหรือ Temperature Quantity is cold ตัวแปร Temperature quantity เป็นตัวแปรภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมาก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกซึ่งประกอบด้วยที่สำคัญ 4 ส่วน แสดงดังภาพที่ 10



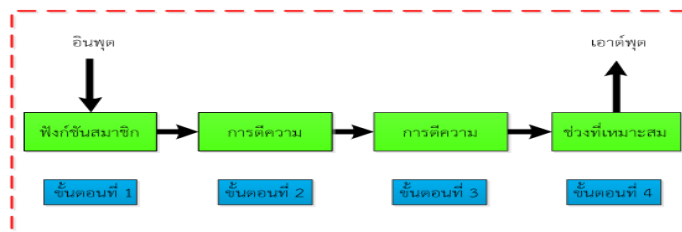
ภาพที่ 10 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลฟัซซี

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซีหรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา

ฐานความรู้เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบสองส่วนคือ ฐานกฎ และ ฐานข้อมูล

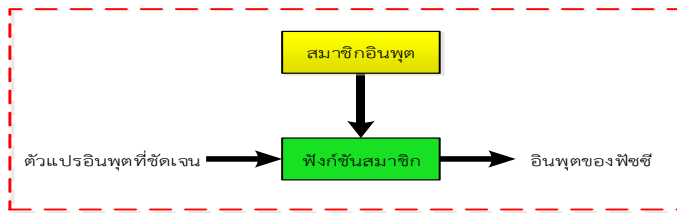
ฐานกฎส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา

ฐานข้อมูลเป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุมและการจัดการ ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจากโครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผล แสดงดังภาพที่ 11



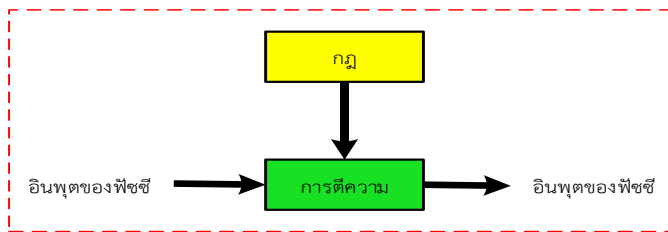
ภาพที่ 11 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซีโดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุตและความสำคัญต่อการเอาต์พุต โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญเพื่อเป็นฟัซซีการอินพุต แสดงดังภาพที่ 12



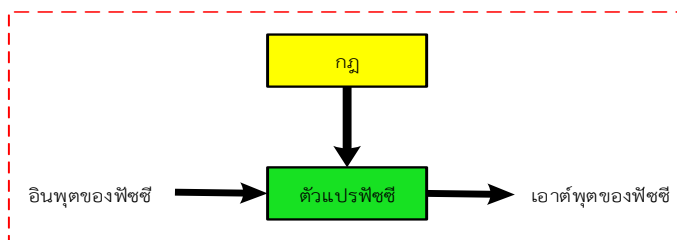
ภาพที่ 12 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการตัดสินใจที่เหมาะสม แสดงดังภาพที่13



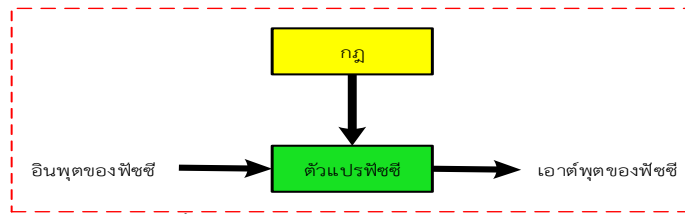
ภาพที่ 13 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาค่าฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลวิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซีโดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นเอาต์พุตฟัซซีด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 15 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการหาจุดศูนย์กลางเป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมใช้ในปัจจุบันค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ 7

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} aiwi}{\sum_{i=1}^{n_i} ai} \quad (7)$$

เมื่อ COG คือ ค่าของจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity)

คือ ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

คือ ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

คือ พื้นที่ใต้โค้งของเซตตำแหน่งที่ i

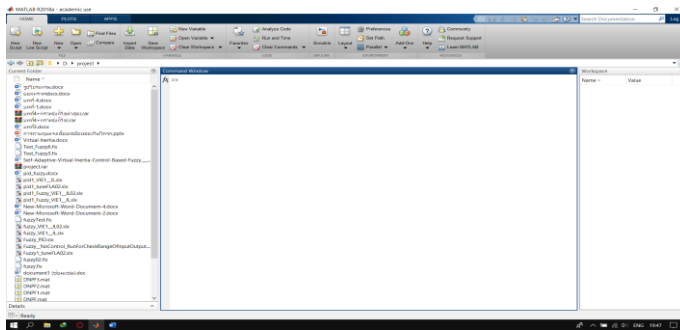
ระบบควบคุมอุณหภูมิ: กฎของฟัซซี

กฎของฟัซซี เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฟัซซีในระบบ โดยปกติการออกแบบกฎดังกล่าวจะทำโดยผู้เชี่ยวชาญที่ซึ่งรู้ความสัมพันธ์ภายในของระบบเป็นอย่างดี และทำให้สามารถสรุปเป็นกฎความสัมพันธ์นั้นๆ ออกมาได้ถูกต้อง พิจารณาระบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งมี 2 อินพุต (ตัวแปร) ได้แก่ Error และ Error Rate และ 1 เอาต์พุตคือ Output ตัวอย่างการออกแบบกฎของฟัซซี ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 มีดังนี้

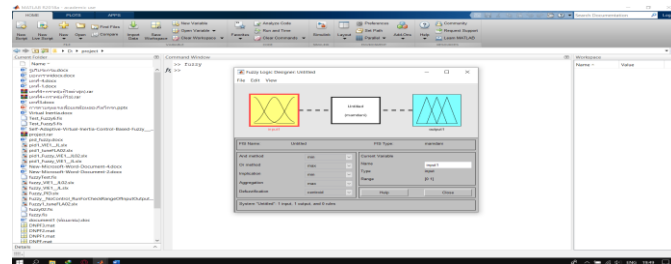
1. IF Error = N AND Error Rate = N THE Output = C
2. IF Error = Z AND Error Rate = N THE Output = H
3. IF Error = P AND Error Rate = N THE Output = H
4. IF Error = N AND Error Rate = Z THE Output = C
5. IF Error = Z AND Error Rate = Z THE Output = NC
6. IF Error = P AND Error Rate = Z THE Output = H

วิธีการใช้ฟังก์ชันฟัซซีในโปรแกรม MATLAB

1. เปิดโปรแกรม MATLAB แสดงดังภาพที่ 16
2. พิมพ์คำสั่ง Fuzzy ในหน้าต่าง Command Window ในโปรแกรม MATLAB แล้วกด ENTER จะปรากฏหน้าต่าง FIS แสดงดังภาพที่ 16



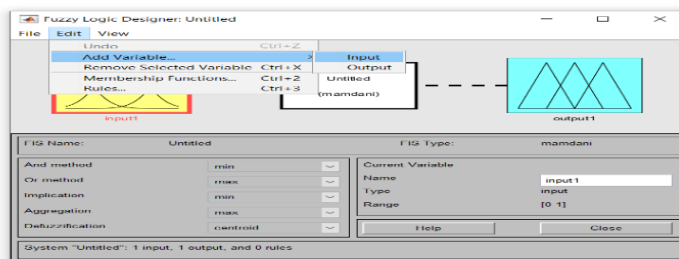
ภาพที่ 16 การเริ่มเปิดโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 17 วิธีการเปิดใช้คำสั่ง Fuzzy

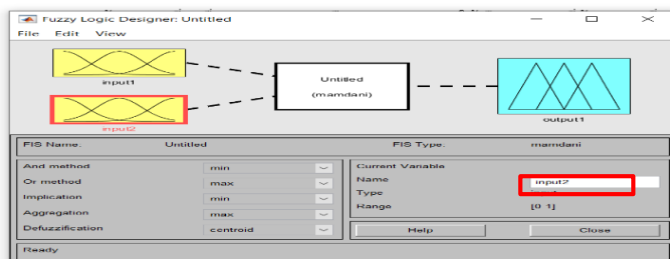
3. สามารถเพิ่มจำนวน input ของระบบโดยเลือก Edit >> Add Variable >> Input แสดงดัง

ภาพที่ 18



ภาพที่ 18 วิธีการเพิ่มจำนวน input ของระบบ

4. หากต้องการเปลี่ยนชื่อ Block input หรือ Block output ให้เลือก Block ที่ต้องการเปลี่ยนชื่อที่ชื่อ Name สามารถเปลี่ยนชื่อได้ตามต้องการ แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 วิธีการเปลี่ยนชื่อของ input หรือ output

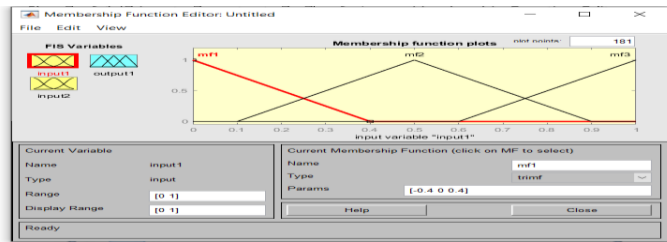
Note

สำหรับในหน้าต่าง FIS Editor จะแบ่งเป็นสองส่วนหลักๆ คือ

1. > ส่วนของ input และ output เมื่อคลิกเข้าไปจะแสดงหน้าต่างของ Membership Function Editor

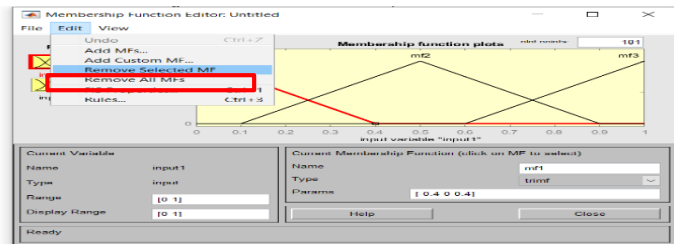
2. > ส่วนของกฎที่เราต้องสร้างเองจะแสดงหน้าต่างของ Rule

5. คลิกเข้าไปที่ input หรือ output เพื่อเปิดหน้าต่างของ Membership Function Editor จะแสดงหน้าต่าง แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 หน้าต่าง Membership Function Editor

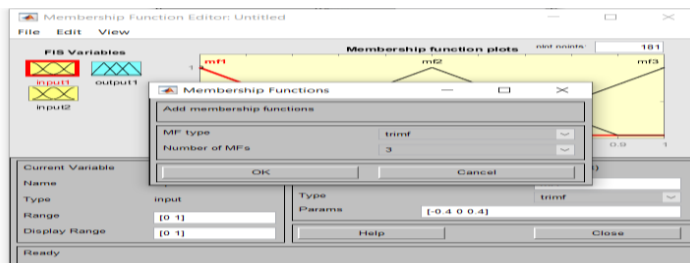
6. สามารถลบ Membership Function ของ input หรือ output โดย คลิกเลือก Membership Function ที่ต้องการลบ >> Edit >> Remove Selected MF ดังแสดงในภาพที่ 21 และสามารถลบ Membership Function ทั้งหมดใน Block โดยไปที่ Edit >> Remove All MFs แสดงดังภาพที่ 21



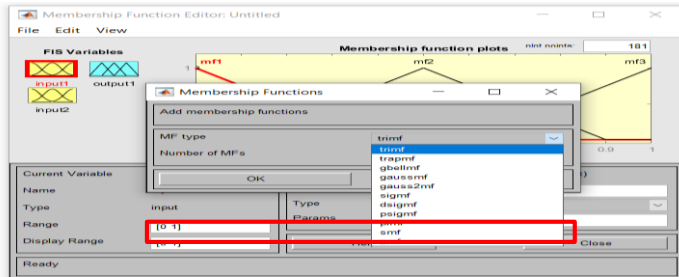
ภาพที่ 21 ตัวอย่างการลบ Membership Function mf2 เพียงฟังก์ชันเดียว

สามารถเพิ่ม Membership Function ของ input หรือ output โดย ไปที่ Edit >> Add MFs จะปรากฏหน้าต่าง Membership Functions แสดงดังภาพที่ 22

7. สามารถเลือกชนิดของ Membership Function ในช่อง MF type ชนิดของ Type แสดงดังภาพที่ 23

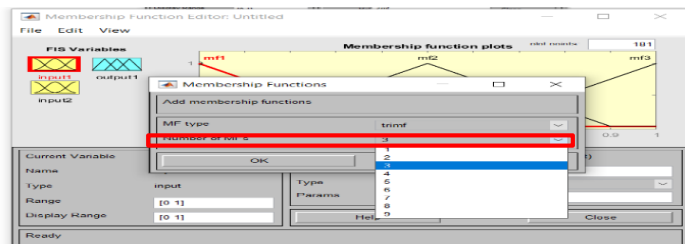


ภาพที่ 22 หน้าต่าง Membership Functions

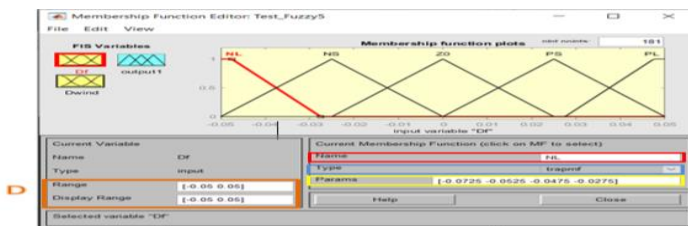


ภาพที่ 23 วิธีการเลือกชนิดของฟังก์ชัน

8. สามารถเลือกจำนวน Membership Function ในช่อง Number of MFs แสดงดังภาพที่ 24 การเลือกใช้ชนิด และจำนวนของ Membership Function อยู่ที่ความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน เมื่อกำหนดชนิดและจำนวนของ Membership Function เรียบร้อยแล้ว กด OK แสดงดังภาพที่ 25



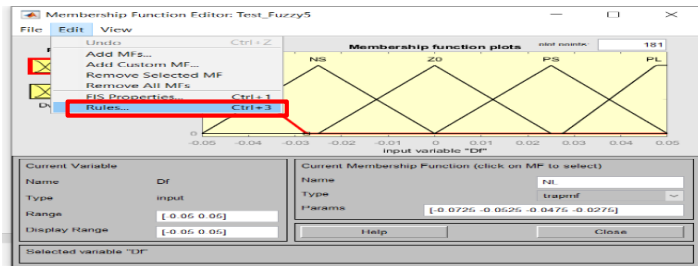
ภาพที่ 24 วิธีการเลือกจำนวนของ Membership Function



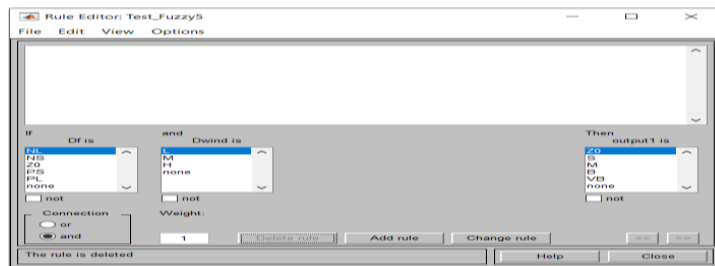
ภาพที่ 25 ตัวอย่างการกำหนด Membership Function ชนิด gaussmf จำนวน 5 ฟังก์ชัน

จากภาพที่ 26 สามารถเปลี่ยนชื่อ ของ Membership Function ในช่อง Name [A] สามารถเปลี่ยนชนิดของ Membership Function ได้ในช่อง Type [B] สามารถเปลี่ยนตำแหน่งและความกว้างของกราฟฟังก์ชันได้ ในช่อง Params และสามารถเปลี่ยนขอบเขตของฟังก์ชันได้ในช่อง Range, Display Range [D] ใน Block output ก็สามารถกำหนดได้ในลักษณะเดียวกัน

9. สร้างกฎของฟัซซี โดยไปที่ Edit >>Rules หรือ Ctrl+3 แสดงดังภาพที่ 26 จะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 27

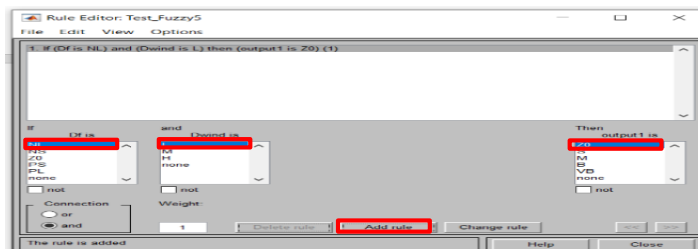


ภาพที่ 26 วิธีการเข้าไปสร้างกฎของฟัซซี



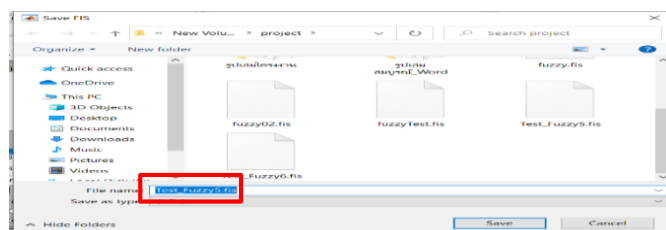
ภาพที่ 27 หน้าต่าง Rule Editor

10. สามารถกำหนดกฎของฟัซซีได้ ตามความเหมาะสม โดยเลือก ค่า input ที่ช่อง input1 และเลือก ค่า output ที่ช่อง output1 >> Add rule เช่น เลือก input1 เป็น NL เลือก input2 เป็น L และเลือก output เป็น ZO >> Add rule ในหน้าต่างจะแสดง 1. If (Df is NL) and (Dwind is L) then (output1 is ZO) (1) แสดงดังภาพที่ 28



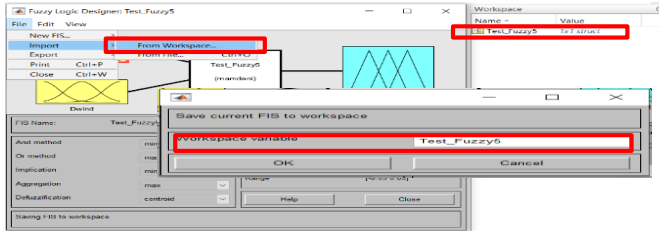
ภาพที่ 28 ตัวอย่างการสร้างกฎของฟัซซี

11. เมื่อต้องการบันทึกไฟล์ Membership Function ที่สร้างขึ้น ทำได้โดยไปที่ File >> Export >>ToFile หรือ กด Ctrl + S >> กำหนดไฟล์เดือร์ที่จะบันทึกและตั้งชื่อไฟล์ >> บันทึก แสดงดังภาพที่ 29



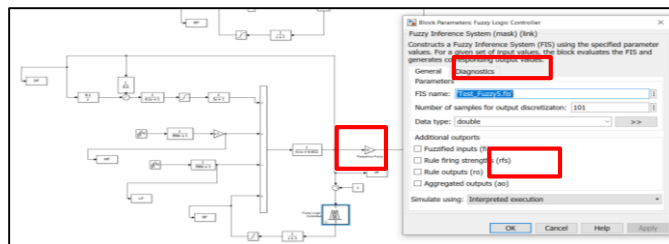
ภาพที่ 29 ขั้นตอนการบันทึกไฟล์ Membership Function

12. เมื่อต้องการนำไฟล์ Membership Function ไปใช้งาน ทำได้โดย File >> Export >> To Workspace หรือ Ctrl + T >> OK แสดงดังภาพที่ 30



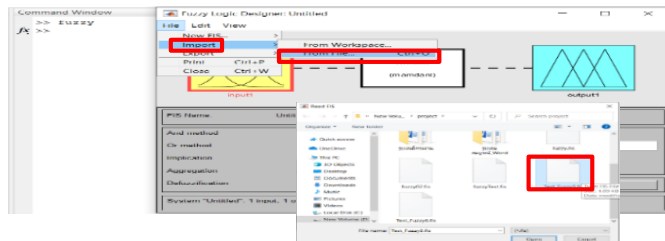
ภาพที่ 30 การนำ Membership Function ไปใช้ในหน้าต่าง MATLAB

13. การนำ Membership Function ไปใช้ในหน้า Simulink ทำได้โดย เปิดหน้า Simulink ขึ้นมา Dueble Click ที่ Block ของฟัซซี่ จะปรากฏหน้าต่าง Function Block Parameters >> ป้อนชื่อไฟล์ Membership Function ในช่อง FIS file or structure โดยชื่อไฟล์จะต้องเป็นชื่อเดียวกันกับไฟล์ที่ทำการ Export To Workspace >> OK แสดงดังภาพที่ 31



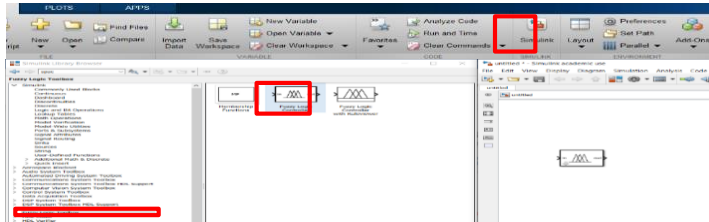
ภาพที่ 31 การนำ Membership Function ไปใช้ในหน้า Simulink

14. เมื่อต้องการใช้ Membership Function ที่เราสร้างไว้พิมพ์คำสั่ง fuzzy >> Enter ในหน้าต่าง Command Window จะปรากฏหน้าต่าง FIS Editor จากนั้นไปที่ File >> Import >> From file หรือ Ctrl + O >> เลือกไฟล์ที่ต้องการเปิด >> เปิด แสดงดังภาพที่ 32

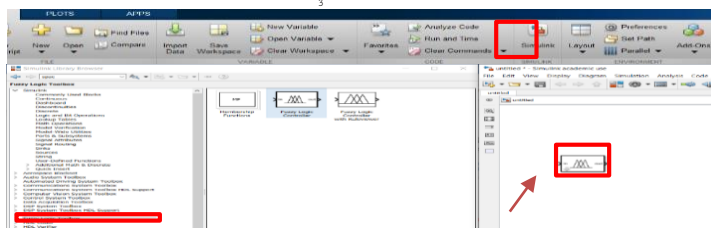


ภาพที่ 32 การเปิดไฟล์ Fuzzy

15. การนำ Block ของฟัซซี่ มาใช้ในหน้าต่าง Simulink ขึ้นมา >> Simulink Browser >> Fuzzy Logic Controller ลากมาใช้ได้เลย แสดงดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การนำ Block ของฟัซซี มาใช้ในหน้าต่าง Simulink

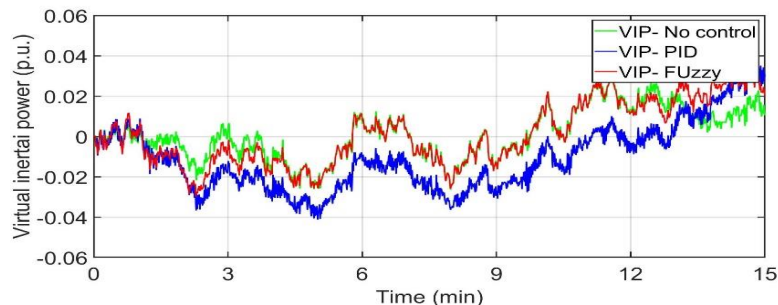


ภาพที่ 34 การนำ Block ของฟัซซี มาใช้ในหน้าต่าง Simulink

ผลการวิจัย

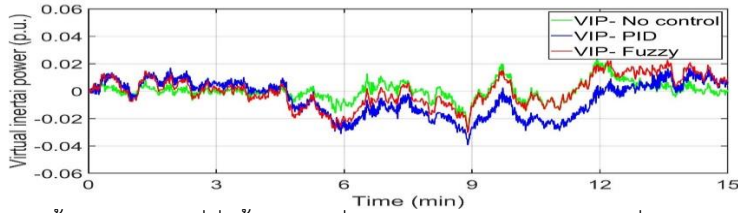
การวิจัยระบบที่ใช้สำหรับควบคุมความถี่ของ Fuzzy เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ ซึ่งได้รับผลกระทบกำลังไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอจากพลังงานจากกังหันลม โดยระบบไฟฟ้ากำลังนี้เป็นระบบนำเสนอบนบพนี้ คือ ระบบไมโครกริด จากผลการจำลองในแกนเวลาของระบบไฟฟ้ากำลังที่ทำการศึกษาที่ติดตั้งตัวควบคุม Fuzzy ในโปรแกรม MATLAB เพื่อหาผลรวมพื้นที่ใต้กราฟของการแกว่งของความเบี่ยงเบนความถี่ ผลการจำลองในบพนี้ จะแบ่งกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ตามลักษณะกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลม และโหลดแบบสุ่ม แสดงดังภาพที่ 35 และแสดงดังภาพที่ 36

ผลการวิจัยกรณี 1 แสดงดังภาพที่ 35 แสดงการเบี่ยงเบนของความถี่, แสดงกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและแสดงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน



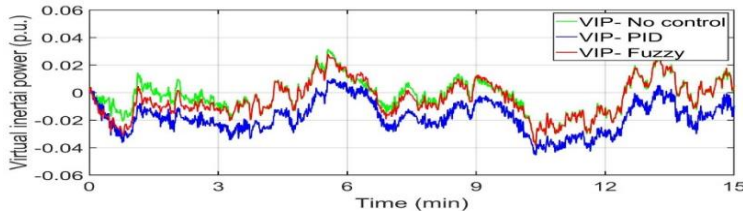
ภาพที่ 35 กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน (VIE) กรณี 1 (ก) ไม่มีการควบคุม (ข) ควบคุมด้วย PIDแบบทั่วไป (ค) ควบคุมด้วย Fuzzy (ง) เปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี

ผลการวิจัยกรณี 2 แสดงดังภาพที่ 36 โดยแสดงการเบี่ยงเบนของความถี่, แสดงกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ และแสดงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน



ภาพที่ 36 กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน (VIE) กรณี 1 (ก) ไม่มีการควบคุม (ข) ควบคุมด้วย PIDแบบทั่วไป (ค) ควบคุมด้วย Fuzzy (ง) เปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี

ผลการวิจัยกรณี 3 แสดงดังภาพที่ 37 แสดงการเบี่ยงเบนของความถี่, แสดงกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดดีเซลล์ และแสดงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน



ภาพที่ 37 กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน (VIE) กรณี 1 (ก) ไม่มีการควบคุม (ข) ควบคุมด้วย PID แบบทั่วไป (ค) ควบคุมด้วย Fuzzy (ง) เปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี

อภิปรายผล

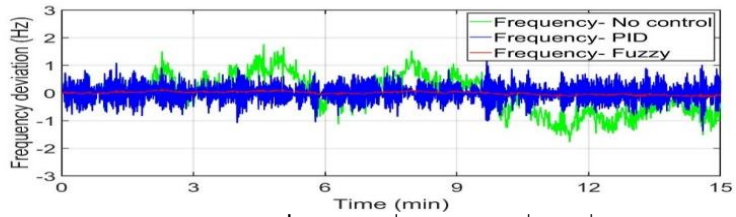
การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริดแยกโดด ระบบที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม แบตเตอรี่สำหรับสร้างแรงเฉื่อยเสมือน และโหลด ผลการวิจัยเป็น 3 กรณีตามลักษณะกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลม และโหลดแบบสุ่ม สรุปได้ดังนี้

กรณี 1 การเบี่ยงเบนของความถี่, กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน กรณีไม่ได้ควบคุม ความถี่อยู่ในระดับ 1.8 Hz และ -1.8 Hz

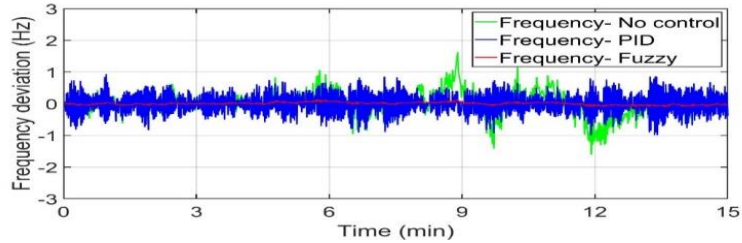
กรณี 2 การเบี่ยงเบนของความถี่, กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน กรณีการใช้ PID ควบคุม ความถี่อยู่ในระดับ 1.6 Hz และ -1.6 Hz

กรณี 3 การเบี่ยงเบนของความถี่, กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่สร้างความเฉื่อยเสมือน กรณีการใช้ Fuzzy ควบคุม ความถี่อยู่ในระดับ 1.2 Hz และ -1.2 Hz

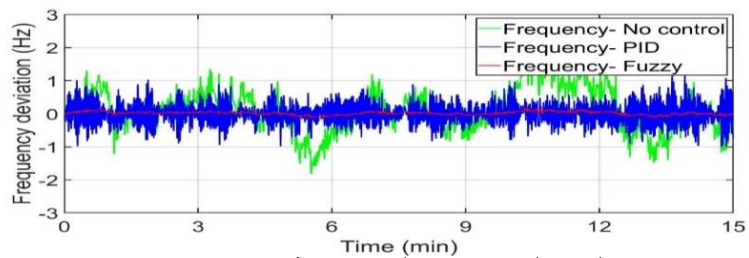
สรุปการจำลอง พบว่า การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ให้การเบี่ยงเบนของความถี่ต่ำกว่าการควบคุมด้วยพีไอดีแบบทั่วไป (PID) และการเบี่ยงเบนความถี่เมื่อมีการติดตั้งการควบคุมแรงเฉื่อยดีกว่าการไม่เสมือน ดังภาพที่ 38 ถึงภาพที่ 40 ซึ่งแสดงการเบี่ยงเบนความถี่ในกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 3



ภาพที่ 38 การเบี่ยงเบนความถี่กรณีที่ 1



ภาพที่ 39 การเบี่ยงเบนความถี่กรณีที่ 2



ภาพที่ 40 การเบี่ยงเบนความถี่กรณีที่ 3

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2561). ประกาศคณะกรรมการพัฒนาระบบพลังงานไฟฟ้าทางออก

สุดท้ายที่เหลืออยู่. กรุงเทพฯ : กองเศรษฐกิจไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

สหรัฐ เพ็ชรกุล (2561). **อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

นราศักดิ์ นารี. (2560). **พลังงานลมและการสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้า**. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ :

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

อชิป เพ็งพัด. (2561). **การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ใน คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ระดับสูง 2**

(315394). ขอนแก่น : ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุทัย บุญญรัตน์กุล. (2564). **การออกแบบวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการบำรุงรักษา**.

กรุงเทพฯ : กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย.



การพัฒนาและคุณลักษณะของปริมาณสารเติมแต่งต่อสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต
สำหรับการใช้งานแบบเติมร้อน : คุณภาพของน้ำผลไม้ที่ทำจากน้ำผลไม้เข้มข้น

Development and Characterization of Additives Content on The Properties of
Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles for Hot-Fill Applications :
The Quality of Fruit Juice Made from Concentrate

ปาริชาติ เทียนเงิน*

Parichat Tienngern

สุรเชษฐ์ ตุ่มมี**

Surachet Toommee

ชिरาวุฒิ เพชรเย็น***

Chiravoot Pechyen

Received : May 29, 2023

Revised : December 6, 2024

Accepted : December 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตโคพอลิเมอร์กับพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PET-co-PEG) ที่อัตราส่วนของสารเติมแต่ง และการขึ้นรูปแตกต่างกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติโดยจะศึกษา ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนผ่านของสาร (Migration) ปริมาณการแพร่กระจายของสารไพรมารีเอโรแมติกแอมีนส์ (Primary aromatic amines; PAAs) แต่ละชนิด และการแพร่กระจายของสารจำเพาะ (Specific migration limits) สำหรับภาชนะบรรจุที่ทำมาจากพลาสติกบางชนิด ที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection; LOD) ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นไปตามข้อจำกัดที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยวัสดุที่สัมผัสอาหาร (FCM) ด้วยการวิเคราะห์โดยคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางความร้อน คุณสมบัติทางเคมี

*นักศึกษาลัทธิศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of Science Program Student Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University

**อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer at Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University (Corresponding Author) e-mail: Chiravoot.p@gmail.com

และศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษา (Self-life), %Total soluble solid (Brix°), pH จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีพบว่าอัตราส่วนของสารเติมแต่ง และการขึ้นรูปของตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์ และเมื่อทดสอบอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition Temperature : Tg) เท่ากับ 82.5, 81.5, 80.7, 79.8 และ 82.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting Temperature : Tm) เท่ากับ 253.9, 253.7, 246.9, 253.5 248.9 องศาเซลเซียส ดังนั้นประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับการใช้งานแบบเติมร้อน โดยจะต้องมีอัตราส่วนของสารเติมแต่ง และการขึ้นรูปที่เหมาะสม จะสามารถคงความเสถียรต่อคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้น และมีระยะเวลาเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ทนต่อการจัดเก็บที่อุณหภูมิสูง รวมถึงสามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดได้สูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคด้านคุณภาพและความปลอดภัย อีกทั้งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญสำหรับความก้าวหน้าในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้เข้มข้น

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต / บรรจุภัณฑ์ / การเคลื่อนผ่านของสาร / น้ำผลไม้เข้มข้น

ABSTRACT

This research is to study the development of polyethylene terephthalate copolymer bottle packaging with polyethylene glycol (PET-co-PEG) at the ratio of additives. and different forms. To improve the properties, factors affecting the migration and diffusion amounts of each type of primary aromatic amine (PAA) will be studied. of specific migration limits for containers made of certain plastics The limit of detection (LOD) is not more than 0.002 mg/kg. Meets the limits set forth in the Food Contact Materials (FCM) Act by analyzing physical properties. thermal properties, chemical properties, and the study of storage period (self-life), % total soluble solid (brix°), and pH. And the molding of different samples did not affect the change in the chemical composition of the packaging. and when tested, the glass transition temperature (Tg) was 82.5, 81.5, 80.7, 79.8, and 82.2 °C, and the melting temperature (Tm) was 253.9, 253.7, 246.9, 253.5, and 248.9 °C. Therefore, the type of packaging for hot-fill applications It must have the right ratio of additives and formability. It will be able to maintain stability in the quality of concentrated juice and have a longer storage period. Resistant to high-temperature storage Including being able to withstand more acidic conditions. To meet the needs of consumers in terms of quality and safety. It is also an important factor in the advancement of the concentrated fruit juice industry.

Keywords : Polyethylene terephthalate (PET) / Packaging / Migration / Fruit Juice Concentration

บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากความเสี่ยงจากปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของหลักของการเจ็บป่วย เช่น กิจกรรมในชีวิตประจำวัน มลพิษ สารเคมี เชื้อโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สถานการณ์ปัจจุบันที่มีการแพร่ระบาดของโรค Covid-19 ซึ่งทำให้มีผู้ติดเชื้อจำนวนมาก ดังนั้นการเลือกรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีประโยชน์และจำเป็นต่อร่างกายจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อช่วยให้ร่างกายสามารถฟื้นฟูและรักษาอาการเจ็บป่วยได้ ผลไม้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีไฟโตนิวเทรียนท์ (ฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์) วิตามิน (วิตามินซี กรดโฟลิก และโปรวิตามินเอ) กรดอินทรีย์ และเส้นใย Bermúdez-Soto & Tomas-Barberán (2004) อย่างไรก็ตาม ผลไม้ที่หลากหลายมักเกิดขึ้นตามฤดูกาล และมีการเพาะปลูกเฉพาะสภาพแต่ละพื้นที่ภูมิประเทศทั่วโลก ผลไม้ส่วนใหญ่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นและง่ายต่อการเน่าเสีย ดังนั้นจึงนิยมนำผลไม้ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลไม้อบแห้ง น้ำผลไม้เข้มข้น ผลไม้กระป๋อง ผลไม้แช่แข็ง แยม เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ Aguiar, et al., (2012); Yabsley & Cross (2001) ยิ่งไปกว่านั้นจำนวนผลผลิตของผลไม้ในแต่ละฤดูกาลมีปริมาณมาก เพื่อป้องกันผลผลิตที่ล้นตลาด การเน่าเสียระหว่างการจัดเก็บและขนส่ง ดังนั้นผลไม้จึงถูกนิยมนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ “น้ำผลไม้เข้มข้น” แต่เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่อาจทำให้มีผลต่อคุณสมบัติการเก็บรักษาคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้นระหว่างการจัดเก็บของบรรจุภัณฑ์และความปลอดภัยที่มีต่อ

ผู้บริโภค ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จึงมีความสำคัญต่อการคงคุณสมบัติของน้ำผลไม้เข้มข้นเนื่องจากสาเหตุที่ทำให้ให้น้ำผลไม้เสื่อมคุณภาพ ได้แก่ จุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้รสชาติและสีของน้ำเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสมในการบรรจุใส่น้ำผลไม้ยังอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ไปทำลายคุณภาพของน้ำผลไม้ ดังนั้น ควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำผลไม้ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการดื่มน้ำผลไม้ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2560)

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) เป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ ในอุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้นเนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลที่มีความแข็งแรงน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง ลักษณะใส ทนต่ออุณหภูมิสูง ยิ่งไปกว่านั้นคือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นเทอร์โมพลาสติกที่กลับมาแปรรูปใหม่ได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงและเป็นพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามในการจัดเก็บน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีค่าความเป็นกรดสูงในบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต อาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนผ่านของสาร (Migration) เช่น สารตกค้างจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันและสารประกอบที่ย่อยสลาย เมื่อใช้วัสดุดังกล่าว ในการผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร สารมลพิษเหล่านี้ อาจเคลื่อนที่เข้าสู่อาหารส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์ เช่นการดูดซึมทำให้บรรจุภัณฑ์บวมและเร่งอาการถ่ายโอนสารจากวัสดุไปยังเครื่องดื่ม ทำให้รสชาติเปลี่ยน รวมไปถึงคุณภาพและการเก็บรักษาโดยปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนผ่านของสารเช่น ความเข้มข้นของสารและความสามารถในการละลายของสารที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะในน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีความเข้มข้นของกรดสูงซึ่งสามารถเพิ่มความสามารถในการละลายของสารได้ Begley & Hollifield (1990); Mekonnen, Incarnato & Di Maio (2016) จากปัญหาการเกิดการ

เคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารได้และอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคจึงมีกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 435 โดยมีข้อกำหนดปริมาณการแพร่กระจายของสารไพรมารีแอโรแมติกแอมีนส์ (Primary Aromatic Amines: PAAs) แต่ละชนิด ที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection: LoD) เท่ากับ 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมาตรฐานการแพร่กระจายของสารจำเพาะ (Specific migration limits) สำหรับภาชนะบรรจุที่ทำมาจากพลาสติกบางชนิด (กระทรวงสาธารณสุข, 2565) โดยในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น โดยปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตกับพอลิเอทิลีนไกลคอล เพื่อให้คงคุณสมบัติในการทนกรด ลดการเกิดออกซิเดชัน และเกิดการเคลื่อนผ่านของสาร จากวัสดุบรรจุภัณฑ์ไปยังอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถคงคุณสมบัติในการเก็บรักษา และยังคงคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้น

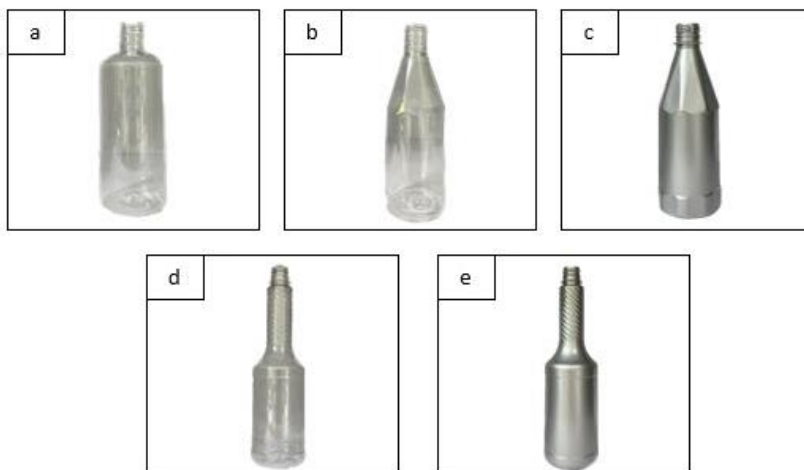
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนเตรียมเม็ดเรซินผสม (Compound resin)

นำเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และพอลิเอทิลีนไกลคอลโคพอลิเมอร์ มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำเม็ดเรซินโดยนำพอลิพอร์ลีนผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอลโคพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ

2. ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

นำเม็ดเรซินผสมแต่ละสูตรที่ผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติกด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ ดังภาพที่



ภาพที่ 1 บรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด

3. การทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทรฟเทแลต

3.1 วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทรฟเทแลต ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared: FTIR)

เพื่อตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุลรวมกับเทคนิคอื่น โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ $400-4000\text{ cm}^{-1}$ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) ได้ผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน

3.2 วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของ บรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทรฟเทแลต ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate: OTR) (ศศิประภา และธวัชชัย, 2564)

เพื่อศึกษาอัตราการส่งผ่านออกซิเจน (OTR) คือการวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผ่านสารในช่วงเวลาที่กำหนด อัตราคงที่ที่ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านฟิล์มได้ OTR แสดงเป็นปริมาตรของออกซิเจนที่แทรกซึมเข้าไปในพื้นที่ที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่งวัน $\text{cc}/\text{m}^2/24\text{hr}$...หรือ... $\text{cc}/100\text{ in}^2/24\text{hr}$ วัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน 73°F (23°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 0% OTR สำหรับวัสดุฟิล์มพลาสติกคืออัตราคงที่ตัวที่ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มในสภาวะที่กำหนด (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) OTR ถูกวัดสำหรับอาหารที่แตกต่างกัน (ของแข็งและของเหลว) และวัสดุบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ไม้ ไม้ก๊อก แก้ว อลูมิเนียม พลาสติก (แข็งและยืดหยุ่น) เป็นต้น ในบรรจุภัณฑ์อาหาร การซึมผ่านของออกซิเจนผ่านบรรจุภัณฑ์เมื่อเวลาผ่านไปก่อให้เกิดกระบวนการสลายตัวของอาหารที่เรียกว่าออกซิเดชัน ดังนั้น การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผ่านโครงสร้างวัสดุกันที่ปรับแต่งได้เองเพื่อลดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร

ในงานวิจัยนี้ใช้ตามมาตรฐาน OTR: ASTM D3985 เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อวัดอัตราการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนอย่างแม่นยำโดยใช้วิธีเซนเซอร์แบบคลอเมตริกสำหรับฟิล์มและแผ่นพลาสติกและตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ $23\text{ }^\circ\text{C}$ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่เราวัดตัวเลข OTR ของบรรจุภัณฑ์

3.3 วิเคราะห์ความเสถียรของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทรฟเทแลต เมื่อได้รับความร้อน ด้วยเทคนิคศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis : TGA) (Monda & Hu, 2006; Martins, et al., 2009)

เพื่อศึกษาความเสถียรของพอลิเมอร์ เมื่อสารตัวอย่างในรูปของแข็งได้รับความร้อน จะทำการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เครื่องนี้ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ หรือ

การระเหยของน้ำ หรือการที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโมเลกุล การแตกตัวของวัสดุ หรือการตกผลึกที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะถูกวางไว้บนจานขนาดเล็กที่เชื่อมกับเครื่องซึ่งที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ เช่น อากาศหรือออกซิเจน หากอยู่ในบรรยากาศรีดักชัน ซึ่งอาจจะเป็นก๊าซเฉื่อยเช่น ไนโตรเจน เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป จะเกิดสัญญาณการวัดที่สามารถแสดงผลในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อน้ำหนัก (Tg) โดยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด น้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปเกิดมาจากการระเหย การสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยา โดยตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนตั้งแต่ 25-600 °C ที่อัตรา 20°C/min ในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 40 mL/min

3.4 วิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยเทคนิค เครื่องวิเคราะห์หสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter: DSC) (ปิยะธิดา, 2565)

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal transition) ของสารตัวอย่าง ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุมโดยที่ (Glass Transition) และ (melting) เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน (Endothermic) ในขณะที่ crystallization เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน (Exothermic) ซึ่งตัวอย่างปริมาณ 10 mg จะถูกให้ความร้อนตั้งแต่ -40 ถึง 290 °C (Temperature) อัตราการให้ความร้อนคงที่ 5 min (Certain heating) และ Cool down ที่อุณหภูมิ 25 °C

3.5 การทดสอบค่าพีเอชที่มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำผลไม้ที่อัตราส่วนต่างๆของสารเติมแต่ง (pH) ตรวจวัดค่า pH ของน้ำผลไม้เข้มข้นโดยใช้เครื่องวัดค่า pH แบบดิจิตอล (เครื่องวัดค่า pH แบบไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น HI 9020) ปริมาณที่เพียงพอ 50 mL ของตัวอย่างถูกถ่ายในบีกเกอร์ 100 mL และ pH ถูกบันทึกโดยเครื่องวัดค่า pH ตามวิธีการที่อธิบายไว้ใน AOAC 2000

3.6 การทดสอบหาค่าปริมาณของแข็ง (%Total soluble solids)
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างน้ำผลไม้ถูกบันทึกโดยตรงโดยเครื่องวัดการหักเหของแสงของ Abbe (รุ่น RL Nr. 1373) และผลลัพธ์ถูกแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix°) ตามที่ Rangana (1991) อธิบาย

โดยการนำตัวอย่างน้ำผลไม้ 10 กรัม ปรับค่า refractive index ของ Hand refractometer ให้อยู่ตรงตำแหน่ง %0 brix° โดยใช้ น้ำกลั่นหยดลงบน prism 2-3 หยด เมื่อปรับแล้วใช้ช้อนดูด prism ให้แห้ง ใช้หลอดหยดดูดตัวอย่างหยดลงบน prism ของ Hand refractometer 2-3 หยด พยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ ทำการอ่านค่า refractive index ของ Soluble solid ซึ่งมีหน่วยเป็น %Brix ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับค่าการหักเหของน้ำตาลซูโครสที่ละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (น้ำเชื่อมบริสุทธิ์) ที่อุณหภูมิ 20 °C ถ้าวัดที่อุณหภูมิอื่นต้องปรับค่าให้ถูกต้อง (Correction) โดยใช้ตารางปรับค่า

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำผลไม้ (Organic acid) (Rehman, et al., 2014)

โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก) ในน้ำผลไม้หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง 100 องศา ด้วยเทคนิคการแยกสารประกอบ โดยอาศัยหลักการความแตกต่าง ของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบ (High Performance Liquid Chromatograph: HPLC) ใช้ buffer-acetonitrile เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0.5% wt/Vol) (0.038 M), acetonitrile (0.4% vol/vol) (0.049 M) ปรับ pH 2.24 ด้วย H_3PO_4 กระดาษกรอง Whatman number 1 และตัวกรองเมมเบรน $0.45 \mu\text{m}$ ที่สภาวะอัตราการไหล 0.3 mL/min

3.8 การวิเคราะห์ปริมาณการแพร่กระจายของสารไพรมารี แอโรแมติก เอมีนส์ (Primary Aromatic Amines: PAAs)

โดยวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังเครื่องดื่ม ด้วยเทคนิคการแยกสารประกอบ โดยอาศัยหลักการความแตกต่าง ของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบ (High Performance Liquid Chromatograph: HPLC) วิเคราะห์ผ่าน Column C-18 โดยใช้อุณหภูมิ $50 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 40 min โดยเพิ่มที่ละ $20 \text{ }^\circ\text{C/min}$ จนถึง $320 \text{ }^\circ\text{C}$

ภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก แต่ละชนิดต้องตรวจรายการการแพร่กระจายของสารไพรมารี แอโรแมติก เอมีนส์ (Primary Aromatic Amines: PAAs) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 435 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะที่ทำมาจากพลาสติก โดยปริมาณของสารในกลุ่ม PAAs จะต้องปริมาณสูงสุดที่ยอมให้แพร่กระจายสู่อาหาร สำหรับพลาสติกแต่ละชนิด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ไม่เกินที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection: LOD)

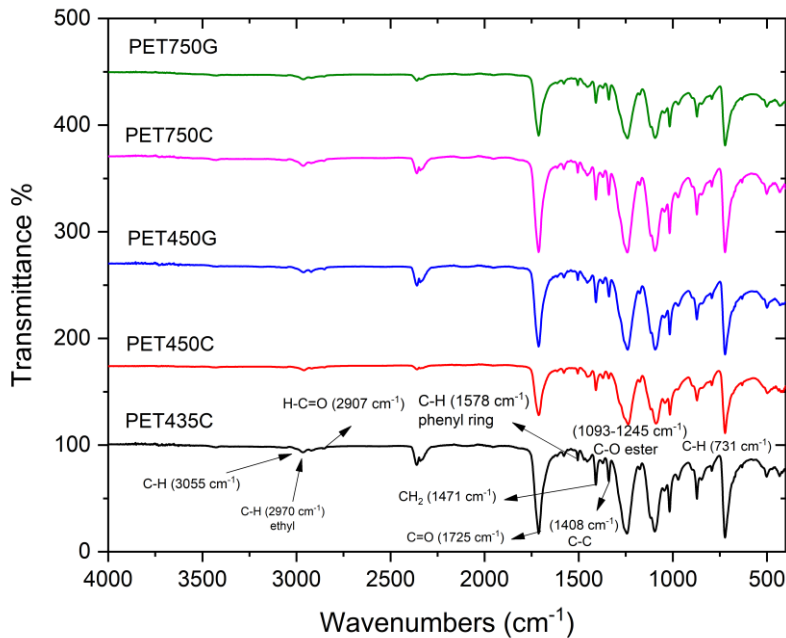
ผลวิจัยวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทรฟเทเลตสำหรับการบรรจุผลไม้เข้มข้นเพื่อทนต่อปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ผ่านของสาร (Migration) และยังคงคุณสมบัติและความเสถียรของน้ำผลไม้เข้มข้น จึงวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) และคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทรฟเทเลต ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์-ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared: FTIR)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เพื่อศึกษาอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลผ่านการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ที่สอดคล้องกับการยืดหรือหดการสั่นสะเทือนของพันธะเฉพาะ ตำแหน่งเหล่านี้ปรากฏขึ้นอยู่กับประเภทของพันธะ แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิเอทิลีนเทรฟเทเลตดังภาพที่ 2 จากภาพแสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิเอทิลีนเทรฟเทเลตที่ตำแหน่ง 1093 cm^{-1} และ 1245 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ C-O (C-O stretching) ที่ตำแหน่ง 1725 cm^{-1} พบ C=O ของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ และที่ตำแหน่ง 2970 cm^{-1} C-H(C-H stretching) ตำแหน่ง 731 cm^{-1} C-H (C-H bending) ของหมู่ฟังก์ชันเอทิล และพบ C-H(C-H stretching)

ตำแหน่ง 3055 cm^{-1} ของวงแหวนอะโรมาติก นอกจากนี้ยังพบวงอะโรมาติกของฟีนิลที่ตำแหน่ง 1578 cm^{-1} สำหรับบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ตรวจสอบ พบตำแหน่งของเลขคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งหมด โดยไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นที่ตำแหน่งใหม่



ภาพที่ 2 FTIR สเปกตร้าของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยเทคนิค เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter: DSC)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยทำการเตรียมตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุ ตัวอย่างลงในถ้วย (Pan) ทำการอัดแน่นแล้วตัวอย่าง จะถูกให้ความร้อนตั้งแต่ -40 ถึง $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Temperature) อัตราการให้ความร้อนคงที่ 5 min (Certain heating) และ Cool down ที่อุณหภูมิ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน สามารถคำนวณหาค่าร้อยละความเป็นผลึกได้จากสมการ (1)

$$\% \text{ crystallinity } (X_c) = \frac{\Delta H_m}{w\Delta H_m^*} \times 100 \quad (1)$$

ΔH_m คือ การเปลี่ยนแปลงความร้อนของการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง

ΔH_m^* คือ การเปลี่ยนแปลงความร้อนของการหลอมเหลวของสารตัวอย่างที่เกิดผลึก ร้อยละ 100

w คือ เศษส่วนโมลของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิในการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

Sample	Tg (°C)	Tm (°C)	Tc (°C)	ΔHm (J/g)
PET435C	76.2	255.5	182.1	73.74
PET450C	81.8	253.7	186.1	64.62
PET450G	80.7	246.9	201.9	54.04
PET750C	79.8	253.5	182.9	47.7
PET750G	82.2	248.9	201.9	58.68

วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Transmission rate: OTR)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราการส่งผ่านออกซิเจน (OTR) คือการวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผ่านสารในช่วงเวลาที่กำหนด อัตราคงที่ที่ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านฟิล์มได้ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังน้ำผลไม้เข้มข้น ตามมาตรฐาน OTR: ASTM D3985 เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อวัดอัตราการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนอย่างแม่นยำโดยใช้วิธีเซนเซอร์แบบคูลอมเมตริกสำหรับฟิล์มและแผ่นพลาสติก และตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 23 °C ตามเกณฑ์มาตรฐานที่เราวัดตัวเลข OTR ของบรรจุภัณฑ์

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตเพื่อบรรจุน้ำผลไม้เข้มข้น โดยการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลเพื่อปรับปรุงกายโครงสร้างของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตให้มีคุณสมบัติในการเก็บรักษาน้ำผลไม้เข้มข้นที่ยาวนานขึ้น และสามารถทนต่อค่าความเป็นกรดได้สูง คงความเสถียรต่อคุณภาพและรสชาติของน้ำผลไม้เข้มข้นโดยลดการเกิดการเคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลการแพร่กระจายของสาร สำหรับภาชนะบรรจุที่ทำมาจากพลาสติกบางชนิด ที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection: LOD) ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยวัสดุที่สัมผัสอาหาร (FCM) จากผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ตรวจสอบ พบตำแหน่งของเลขคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งหมดที่ตำแหน่ง 1093 cm^{-1} และ 1245 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ C-O (C-O stretching) ที่ตำแหน่ง 1725 cm^{-1} พบ C=O ของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ และที่ตำแหน่ง 2970 cm^{-1} C-H(C-H stretching) ตำแหน่ง 731 cm^{-1} C-H (C-H bending) ของหมู่ฟังก์ชันเอทิล และพบ C-H(C-H stretching) ตำแหน่ง 3055 cm^{-1} ของวงแหวนอะโรมาติก นอกจากนี้ยังพบวงอะโรมาติกของฟีนิลที่ตำแหน่ง 1578 cm^{-1} โดยไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นที่ตำแหน่งใหม่ และจากผลการศึกษามลสารทดสอบค่าการเปลี่ยนสถานะทางความร้อนของสาร พบว่าการขึ้นรูปของตัวอย่างที่แตกต่างกันและการใส่สารเติมแต่งสี (colorant) ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ไม่เติมสารเติมแต่งสี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชีราวุฒิ เพชรเย็น ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ๆ ในสาขานวัตกรรมวัสดุ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเรื่องสารเคมี อุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่าง และอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางต่างๆ และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจจนประสบผลสำเร็จตามที่หวังไว้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 435) พ.ศ. 2556. (2565, 17 มิถุนายน).
- ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139 ตอนพิเศษ. หน้า 139 ง.
- ปิยะธิดา สนธิสมบัติ. (2565). **Research division**. [Online]. Available : https://www.asiaplus.co.th/asps/research_file.php?id=64491&file=1 [2022, June 10]
- ศศิประภา ชิตรัตถา และธวัชชัย แพชมัด. (2564, กันยายน). เทคนิคทางเลือกสำหรับศึกษาลักษณะฟิล์มและเมมเบรน. **วารสารเภสัชกรอุตสาหกรรม**, 9(2), 4-5.
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม. (2560). การเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำผลไม้. [Online]. Available : <https://www.dip.go.th/th/search?keyword=น้ำผลไม้&page=2> [2022, June 10].
- Aguiar, I.B., Miranda, N.G.M., Gomes, F.S., Santos, M.C.S., Freitas, D.d.G.C. & Tonon, R.V., (2012, October). Physicochemical and sensory properties of apple juice concentrated By Reverse osmosis and osmotic evaporation. **Innov Food Sci Emerg. Technol**, 16, 137-142.
- Begley, T.H. & Hollifield, H.C. (1990, May-June). Evaluation of polyethylene terephthalate cyclic trimer migration from microwave food packaging using temperature-time profiles. **Food Addit Contam**, 7(3), 339-346.
- Bermúdez-Soto, M.J. & Tomas-Barberán, F.A. (2004, July). Evaluation of commercial red fruit juice concentrates as ingredients for antioxidant functional juices. **Eur Food Res Technol**, 219(2), 133-141.
- Martins, I.M.G., Magina, S.P., Oliveira, L., Freire, C.S.R., Silvestre, A.J.D., Neto, C.P. & Gandini, A. (2009, October). New biocomposites based on thermoplastic starch and bacterial cellulose. **Compos Sci Technol**, 69(13), 2163-2168.
- Mekonnen, Z.T., Incarnato, L. & Di Maio, L. (2016). Migration Phenomena Analysis of Virgin PET Recycled PET Multilayers Films. **Ann Food Process Preserv**, 1(1), 1008.
- Monda, S. & Hu, J.L. (2006, April). Structural characterization and mass transfer properties of Nonporous segmented polyurethane membrane: Influence of hydrophilic and carboxylic group. **J Membrane Sci**, 274, 219-226.
- Rehman, M.A., Khan, M.R., Sharif, M.K., Ahmad, S. & Shah, F.H. (2014, January). Study on the storage stability of fruit juice concentrates. **Journal of Food Sciences**, 24(1), 101-107.
- Yabsley, C. & Cross, A. (2001). **Miracle Juices: 60 Juices for a Healthy Life**. Creative Publishing International, Beverly, MA, USA.



การศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของอัตราส่วน
PP/PP-Regrind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้น

Production, Characterization and Chemical migration studies of PP/PP-Regrind
Scrap Ratio for Concentrated

รัชพล อภิตติกร*

Rushapol Apiratikorn

สุรเชษฐ์ ตุ่มมี**

Surachet Toommee

ชिरาวุฒิ เพชรเย็น***

Chiravoot Pechyen

Received : May 29, 2023

Revised : December 6, 2024

Accepted : December 27, 2024

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดอัตราส่วน ของ PP และ PP-REGRAD เพื่อนำมาทำการวิจัยและทดสอบคุณสมบัติ ในการคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นในบรรจุภัณฑ์ PP นี้เตรียมได้โดยการผสมอัตราส่วน พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP : PP-REGRAD) ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 ตามลำดับโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างและ สมบัติต่างๆ ของขวดพลาสติก วิเคราะห์โดยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR), การวิเคราะห์ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD), tensile strength (TS), Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetric Analysis (TGA), Oxygen Transmission Rate (OTR), High Performance Liquid Chromatography (HPLC), Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), % Total soluble solid และ PH Meter พบว่า ผลการทดสอบ

*นักศึกษาลัทธิศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of Science Program Student Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University

**อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer at Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University(Corresponding Author) e-mail: Chiravoot.p@gmail.com

ของสมบัติเชิงกล การทดสอบการรับแรงกระแทก และการรับแรงดึง ได้ผลสรุปว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ดังนั้นใช้ขวดพลาสติกที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทดสอบแล้วสามารถรักษาคุณภาพของน้ำมะขามเข้มข้นเนื่องจากการประเมินลักษณะทางกายภาพและเคมี เป็นทางเลือกที่มีแนวโน้มในการควบคุมการเกิดการเคลื่อนที่ผ่านของสารเคมีจากขวดพลาสติกไปยังตัวผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นขวดพลาสติกที่ได้จากพอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน-รีไซเคิล มีความสามารถในการรักษาคุณภาพของน้ำมะขามเข้มข้นได้ตามระยะเวลาที่กำหนด และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ในอนาคต

คำสำคัญ : พอลิโพรพิลีน / พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล / กระบวนการฉีดขึ้นรูป

ABSTRACT

In this research, the ratio of PP and PP-REGRAD was determined to be used for research and testing the quality preservation of concentrated tamarind juice products in PP packaging. Recycled polypropylene [PP: PP-REGRAD], including 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, and 60:40 respectively by injection molding process. Different mixing ratios cause changes in the internal structure and properties. of plastic bottles Analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction analysis (XRD), tensile strength (TS), Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetric Analysis (TGA), Oxygen Transmission Rate (OTR), High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), % Total soluble solid, and PH Meter found that Results of tests on mechanical properties Resource capacity and tensile strength tests were performed using polyethylene. (PP-Regrind) is not allowed to work in the tensile plant of polyethylene (PP). Therefore, using plastic bottles with suitable ratios was tested to maintain the quality of concentrated tamarind juice due to physical and chemical evaluation. It is a promising alternative to controlling the migration of chemicals from plastic bottles to food products. Therefore, plastic bottles derived from polypropylene and recycled polypropylene has the ability to maintain the quality of concentrated tamarind juice for a specified period of time and can be used in the food industry in the future.

Keywords : polypropylene / recycled polypropylene / Injection Molding Process

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงอายุใดก็ตาม ล้วนแต่ต้องอาศัยปัจจัยสี่ทั้งนั้นแต่ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่มนุษย์นั้นไม่สามารถขาดได้ คือ อาหาร เนื่องจากเป็นสิ่งจำเป็นที่เป็นพื้นฐานสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ผู้บริโภคในยุคปัจจุบันให้ความสำคัญกับสุขภาพ เครื่องปรุงรสเป็นส่วนหนึ่งในการประกอบอาหารของคนไทย เพื่อรสชาติอาหารให้มีความเอร็ดอร่อยกลมกล่อม ขณะที่ผู้ประกอบการได้พัฒนาเครื่องปรุงรสใหม่ๆ ออกมาอย่างสม่ำเสมอเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ในปัจจุบันเครื่องปรุงรสมีความหลากหลายมากขึ้น และเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้ตลาดในประเทศเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันเป็นยุคที่ผู้บริโภคมีความเร่งรีบในชีวิตประจำวันควบคู่กับกระแสสุขภาพ แม้บ้านพ่อบ้านรุ่นใหม่จึงต้องการเครื่องปรุงที่มีคุณสมบัติประโยชน์ใช้งานสะดวก ปราศจากการปนเปื้อนจากสารเคมี รวมถึงช่วยในการลดระยะเวลาในการประกอบอาหารให้สั้นลง ฉะนั้นผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องเร่งปรับตัวรองรับกับพฤติกรรมผู้บริโภคยุคใหม่ ด้วยการพัฒนาผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เพราะคนส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมากขึ้นอาหารสำเร็จรูปเป็นอาหารที่อำนวยความสะดวกอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ อาหารสำเร็จรูปประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอาหารแปรรูปที่ใช้บริโภคเป็นอาหารมื้อหลัก จำพวกเนื้อสัตว์ หรืออาหารทะเลบรรจุภาชนะกระป๋องปิดสนิท หรือใช้บริโภคร่วมกับอาหารหลัก เช่น พืชผักดองกระป๋อง เครื่องดื่ม หรือบริโภคเป็นอาหารว่าง หรืออาหารขบเคี้ยวระหว่างมื้ออาหารหลัก เช่น ขนมปังกรอบ ถั่วอบ วุ้นสำเร็จรูป ขนมหวาน และนมเจลลี่

อาหารสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคทันที หมายถึง อาหารที่ผลิตเรียบร้อยพร้อมบริโภคที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายได้ทันที อาหารแช่เยือกแข็ง (frozen food) จัดเป็นอาหารที่อำนวยความสะดวกชนิดใหม่ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย (งามทิพย์, 2550) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วในต่างประเทศ เพราะเป็นอาหารสำหรับผู้ที่ไม่มีความสะดวกแม้กระทั่งจะออกจากบ้าน จึงมีผู้คิดค้นพัฒนาอาหารจานด่วนให้เก็บรักษาได้นาน โดยการนำไปแช่เยือกแข็งเมื่อปรุงผสมเสร็จแล้ว นำกล่องกระดาษใส่อาหารที่ปรุงสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งไว้ เมื่อจะรับประทานจะนำมาใส่เตาไมโครเวฟเพียงเวลาไม่กี่วินาทีก็สามารถนำออกมารับประทานได้ทันที สำหรับภาชนะบรรจุของอาหารประเภทนี้ อาจเป็นแผ่นหรือถุงพลาสติก กล่องกระดาษ หรือโฟม หรือกระป๋องตามความเหมาะสมของสภาพอาหารและการจำหน่าย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคจึงมีผู้ประกอบการขนาดกลาง ขนาดเล็ก หรือระดับครัวเรือนรายย่อย ผลิตน้ำมะขามบรรจุขวดพลาสติกจำหน่ายเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตคือการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งหากได้รับความร้อนเพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพ หรือทำให้เกิดโรค ขณะเดียวกันบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกที่ได้รับความร้อนสูงอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ (วิโรจน์, 2560) หรืออายุในการเก็บรักษาและสุขภาพของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน การศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารให้ป้องกันการเสื่อมสภาพหรือการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ ที่อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนเตรียมเม็ดเรซินผสม (Compound resin)

นำเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน และเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่รีไซเคิลมาป้อนความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำเม็ดเรซินโดยนำพอลิโพรพิลีน ผสมกับพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างที่กำหนดดังตารางที่ 1 โดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ออกมาเป็นเม็ดเรซินผสม

2. การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

2.1 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength)

การทดสอบคุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกนั้น สามารถใช้ค่าต่างๆ ต่อไปนี้ในการพิจารณา ได้แก่ ค่าโมดูลัส (Modulus) ค่าความเค้นคราก (yield strength) ค่าความเค้นดึง (tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% elongation) (เสาวรจน, ม.ป.ป.)

2.2 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength)

คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด ที่ใช้บ่งบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ

3. การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

3.1 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนที่เปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการวัดปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุเมื่อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในการทดลองนี้จะวัด

- Nitrogen atmosphere
- sample = 6-10 mg
- Head = -10 to 280 °C
- Heating rate = 10 °C min⁻¹

อยู่ในสถานะหลอมเหลว (The molten state) = 3 min เพื่อ cooling ไปที่ 10 °C min⁻¹

- ตัวอย่างจะถูกทำให้ร้อนอีกครั้ง 280 °C ไปที่ 10° C min⁻¹

3.2 Thermogravimetric Analysis (TGA)

เป็นเครื่องที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุในการทดลองนี้จะวัด Td

4. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

4.1 X-ray Diffractometer (XRD)

ทำการศึกษาด้านวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative)

- บดสารตัวอย่างให้เป็นผง จะต้องมีความขนาดอนุภาคประมาณ 40-micron โดยปริมาณที่ต้อง

ใช้ในการ ทดสอบต่อครั้ง ประมาณ 1-2 กรัม

- ตักสารตัวอย่าง ลงใน sample holder แล้วใช้ glass plate กดอัดตัวอย่างให้ แน่นเพื่อให้ มีผิวหน้าที่เรียบที่สุด

- สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือฟิล์มบางจะต้องมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ไม่เกิน 10 x 10 x 2 มิลลิเมตร และใช้ด้าน หน้าที่เรียบที่สุดใน การวิเคราะห์โดยใช้เทปใสยึดติดตัวอย่างเข้ากับ sample holder

4.2 Dynamic mechanical thermal analyzer (DMTA)

คุณสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องไดนามิกแมกคานิคอลเทอร์มอลอนาไลซิส กำหนดอุณหภูมิ 250-290 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะสร้าง TTS diagram ที่อุณหภูมิอ้างอิง 270 องศาเซลเซียส ได้ค่า Shift factor เพื่อนำไปสร้างเส้นโค้ง TTS

5. การทดสอบสมบัติเชิงเคมี (chemical properties)

5.1 Fourier transform infrared (FTIR)

วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม-อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

- The spectral range 4000 - 400 cm^{-1}
- วางเม็ต PP Mk II Golden Gate Dimond 45 ATR ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ
- บีบอัดเม็ตลง ATR Crystal
- 1410 cm^{-1} = CH ring, C-C stretching

5.2 Raman spectroscopy

6. Self-life 3 year

นำขวดแต่ละชนิดที่ทำการขึ้นรูปเสร็จแล้วไปทดสอบในกระบวนการ Self-Life (น้ำมะขามเข้มข้น) มีสารเคมีปนเปื้อนออกมามากน้อยแค่ไหนในบรรจุภัณฑ์

7. การทดสอบสมบัติเกี่ยวกับการป้องกัน (barrier properties)

7.1 วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของ บรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate: OTR)

7.2 วิเคราะห์ปริมาณสารระเหยของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของสารโดยการเปรียบเทียบเลขมวลของสาร (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer: GC-MS)

7.3 วิเคราะห์ปริมาณสารไม่ระเหยของบรรจุภัณฑ์พอลิโพรพิลีน ด้วยเทคนิคสำหรับแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม โดยเปลี่ยนสารผสมให้เป็นไอที่ อุณหภูมิหนึ่ง (Gas Chromatograph: FID-ECD)

7.4 วิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังเครื่องดื่ม ด้วยเทคนิคการแยก

สารประกอบ โดยอาศัยหลักการความแตกต่าง ของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบ (High Performance Liquid Chromatograph: HPLC)

8. การประเมินคุณภาพอาหารทางประสาทสัมผัส (Food Sensory Evaluation) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ในการประเมินคุณภาพอาหารทางประสาทสัมผัสโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่

8.1 การมองเห็น เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นจากการมองเห็น โดยพิจารณาถึงความขุ่น

8.2 การได้กลิ่น เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นจากการใช้จมูกดมกลิ่น

8.3 การรับรส เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้นจากการใช้ลิ้นในการรับรสและกลิ่นที่ได้จากการรับรส ได้แก่ รสเปรี้ยว หวาน เค็ม ขม

8.4 การสัมผัส เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารจากการสัมผัส เช่น ต้มและเนื้อสัมผัสของน้ำมะขามเข้มข้น

8.5 การได้ยิน เป็นการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารจากการเขย่าแล้ววัดการได้ยินเสียง เช่น ความเหลวหรือความหนืดของน้ำมะขามเข้มข้น

9. การทดสอบค่าพีเอชที่มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำผลไม้ที่อัตราส่วนต่างๆของสารเติมแต่ง (storage quality)

ทดสอบโดยการแบ่งเป็นเดือนตามการทดสอบ Self-Life ในแต่ละอัตราส่วนที่แตกต่างกันและ ทดสอบในกลุ่มของ Primary aromatic amines ด้วย

ผลการวิจัย

งานวิจัยศึกษาการศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของอัตราส่วน PP/PP-Regrind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขามเข้มข้น โดยการทดสอบพลาสติกผสมโดยผ่านกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ และมีการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ การทดสอบสมบัติทางความร้อน การทดสอบการสมบัติเกี่ยวกับการป้องกัน และ Self-life ของพลาสติกผสม โดยได้ผลการทดสอบเป็นไปดังนี้

1. ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีน (PP) กับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

จากการทดสอบเมื่อได้พลาสติกผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีน (PP) 5200 กับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ตามอัตราส่วนที่ 1-8 ดังตารางที่ 1 และพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 กับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ตามอัตราส่วนที่ 1-8 ดังตารางที่ 2 โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่าไม่มีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีความแตกต่างจากเม็ดพลาสติกเดิมมากนัก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ (Injection molding) ลักษณะชิ้นงานที่ได้จะเป็นทรงกระบอกแบบขวดพลาสติก ชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปเตรียมก่อนทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 1 แสดงสูตรพอลิโพรพิลีน 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล

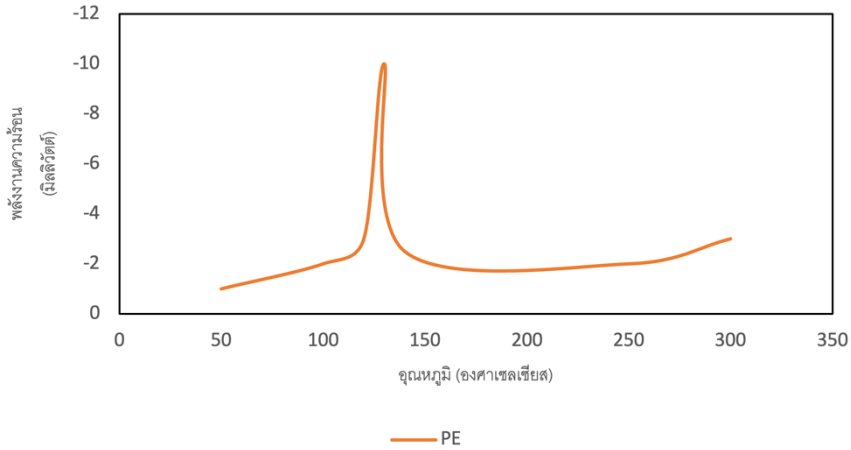
สูตรที่	PP	R-PP
1	100	5
2	95	10
3	90	15
4	85	20
5	80	25
6	75	30
7	70	35
8	65	40

ตารางที่ 2 แสดงสูตรพอลิโพรพิลีน 6600 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล

สูตรที่	PP	R-PP
1	100	5
2	95	10
3	90	15
4	85	20
5	80	25
6	75	30
7	70	35
8	65	40

2. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

Differential Scanning Calorimetry (DSC) ค่า T_g และ T_m ของพอลิโพรพิลีน (PP) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง คาลอริมิทรี (DSC) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพลังงานความร้อนจะได้กราฟดังรูปที่ 1 สำหรับพอลิโพรพิลีน ทำให้ทราบค่า T_m ของพอลิโพรพิลีน ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ผลึกของพอลิโพรพิลีนหลอมเหลว จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล



ภาพที่ 1 จะพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พอลิโพรพิลีนหลอมเหลว (Tm) ก็คืออุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

3. การทดสอบสมบัติเชิงกล

1. คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength)

คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดที่ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของวัสดุ ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP-Regrind) จากการทดสอบการรับแรงกระแทก เมื่อได้ค่าแรงกระแทกที่พอลิเมอร์ได้รับแล้ว ก็นำค่าที่ได้ไปหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่แตก ก็จะได้ค่าแรงกระแทกต่อพื้นที่หรือเรียกว่า ความสามารถในการรับแรงกระแทก ที่พอลิเมอร์รับได้ มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 3 โดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ความสามารถในการรับแรงกระแทก} = \frac{\text{แรงกระแทกที่พอลิเมอร์รับได้}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่แตกเนื่องจากแรงกระแทก}}$$

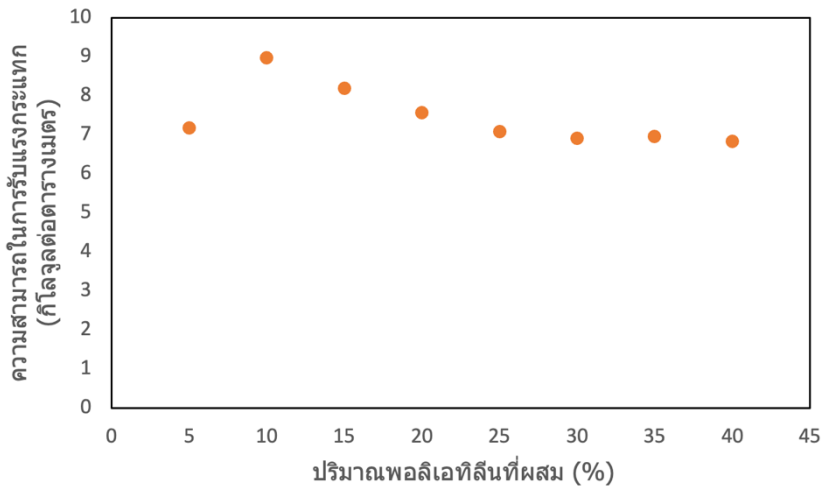
จากนั้นนำข้อมูลไปหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสุดท้ายก็นำค่าดังกล่าวของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต้องการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยการสร้างเป็นกราฟดังภาพที่ 2

ตารางที่ 3 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

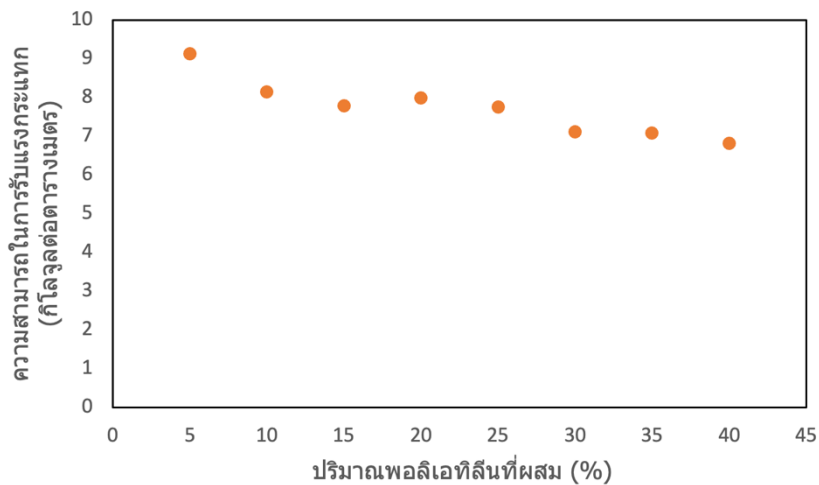
ชนิดของสารที่ทดสอบตามสูตร	ความสามารถในการรับแรงกระแทก (กิโลจูลต่อตารางเมตร)										ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
1	6.66	7.26	7.15	7.30	7.25	7.20	7.22	7.13	7.29	7.25	7.17
2	8.18	8.14	9.16	9.15	9.17	9.19	9.12	9.24	9.11	9.17	8.96
3	8.22	8.50	7.23	7.23	8.20	8.27	9.23	8.33	8.26	8.35	8.18
4	7.58	7.60	7.52	6.95	7.35	8.46	7.48	8.28	6.77	7.57	7.55
5	6.23	6.37	7.0	6.42	6.87	7.23	7.37	8.00	7.42	7.87	7.07
6	6.77	6.79	6.90	7.45	7.09	6.77	6.79	6.90	6.45	7.09	6.90
7	6.23	6.56	7.34	6.76	6.89	7.23	7.56	7.34	6.76	6.89	6.95
8	7.23	7.00	6.77	6.68	6.45	7.23	7.10	6.77	6.68	6.45	6.83

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 6600 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

ชนิดของสารที่ทดสอบตามสูตร	ความสามารถในการรับแรงกระแทก (กิโลจูลต่อตารางเมตร)										ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
1	9.14	9.16	9.15	9.30	9.25	9.20	9.22	9.13	8.98	8.75	9.12
2	8.18	8.14	8.16	8.15	8.17	7.89	8.12	8.24	8.11	8.17	8.13
3	8.22	7.50	7.66	7.75	8.20	8.27	8.23	7.33	7.26	7.35	7.77
4	7.58	7.60	7.52	8.25	8.35	8.46	8.48	8.28	7.77	7.57	7.98
5	7.22	7.50	7.23	7.23	6.80	8.27	8.23	8.33	8.26	8.35	7.74
6	7.23	6.37	7.10	7.42	6.87	7.23	7.37	7.30	7.42	6.87	7.11
7	6.58	6.60	7.52	7.25	7.35	6.46	7.48	7.28	6.77	7.57	7.08
8	6.77	6.79	6.90	6.45	7.09	6.77	6.79	6.90	6.45	7.09	6.8



ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ด้วยอัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ด้วยอัตราส่วนต่างๆ

1.1 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากรูปที่ 2 จะพบว่า การรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP 100%) และ

พอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีค่า 7.17, 8.96, 8.18, 7.55, 7.07, 6.90, 6.95 และ 6.83 กิโลจูลต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ จึงสามารถสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีน (PP) กับ พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 0-40% จะทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลง ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้จะผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กันตามอัตราส่วนที่กำหนด และสามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP-Regrind) จะแปรผันตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) เมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ในอัตราส่วนที่กำหนด

1.2 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากรูปที่ 3 จะพบว่า การรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP 100%) และพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีค่า 9.12, 8.13, 7.77, 7.98, 7.74, 7.11, 7.08 และ 6.8 กิโลจูลต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% มีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ จึงสามารถสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีน (PP) กับ พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 0-40% จะทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลง ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้จะผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กันตามอัตราส่วนที่กำหนด และสามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP) ผสมพอลิโพรพิลีน (PP-Regrind) จะแปรผันตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) เมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ในอัตราส่วนที่กำหนด

2. คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength)

ในการทดสอบคุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกนั้น สามารถใช้ค่าต่างๆ ต่อไปนี้ในการพิจารณา ได้แก่ ค่าโมดูลัส (Modulus) ค่าความเค้นคราก (yield strength) ค่าความเค้นดึง (tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% elongation) เนื่องจากค่าแรงสูงสุด (maximum load) ของเครื่องทดสอบใช้ 100 กิโลนิวตัน ในขณะที่พอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) มีค่าความเค้นดึงแค่ประมาณ 30 นิวตัน เท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงที่ใช้ทดสอบมาก จึงไม่สามารถนำค่าทั้ง 3 คือ ค่าโมดูลัส ค่าความเค้นคราก และ ค่าความเค้นดึง มาทำการศึกษาได้เนื่องจากมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงสูงสุดของเครื่องทดสอบ ในที่นี้จึงใช้เพียงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวในการศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงดึงของพลาสติกเท่านั้น

ตารางที่ 5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

ชนิดของสารที่ทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การยึดตัว					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	1832.23	1973.37	2040.00	1990.42	1885.87	1944.378
2	1332.43	1473.65	1240.48	1190.32	1185.77	1284.53
3	1002.72	812.79	778.90	708.45	834.09	827.39
4	504.23	750.56	887.34	843.76	867.89	770.756
5	507.23	798.00	772.77	786.68	808.45	734.626
6	573.50	612.50	568.00	608.80	637.55	600.07
7	489.89	543.34	576.67	554.98	582.07	549.39
8	473.56	489.99	521.21	510.22	499.98	498.992

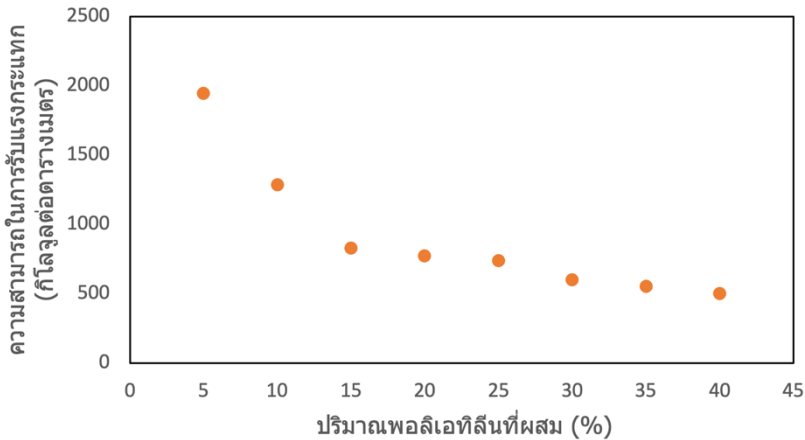
ตารางที่ 6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของพลาสติกพอลิโพรพิลีน 6600 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลที่ทำการทดสอบ

ชนิดของสารที่ทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การยึดตัว					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1	1777.58	1789.60	1879.52	1787.95	1747.35	1796.4
2	1466.26	1386.87	1407.45	1368.42	1406.87	1407.174
3	987.58	1007.60	997.52	1106.95	1007.35	1021.4
4	507.22	797.50	897.93	847.83	886.80	787.456
5	606.58	768.60	847.52	823.25	807.35	770.66
6	502.72	612.79	578.90	608.45	534.09	567.39
7	504.23	550.56	587.34	543.76	567.89	550.756
8	532.43	473.65	540.48	490.32	485.77	504.53

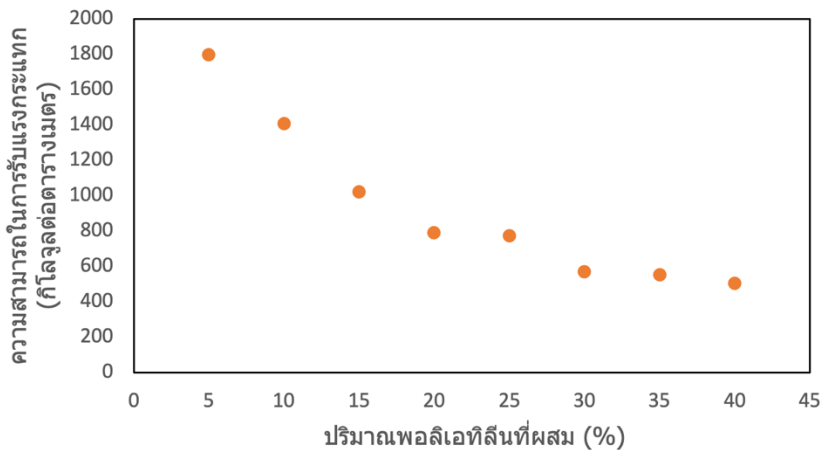
2.1 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 5 นำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยึดตัวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาแสดงความสัมพันธ์และเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งจากความสัมพันธ์ จะพบว่าเมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณ

พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไป โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณการผสมโพลีเอทิลีน (PE) 20% เป็นต้นไป นั้นหมายถึง คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) จะลดลง ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1 แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวจะต่ำกว่ามาก แสดงว่าการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึง ตรงกันข้ามกลับยิ่งทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

2.2 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 6 นำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยึดตัวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาแสดงความสัมพันธ์และเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ปริมาณต่างๆ กัน 5-40% ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งจากความสัมพันธ์ จะพบว่าเมื่อผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไป โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีน (PE) 20% เป็นต้นไป นั่นหมายถึง คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) จะลดลง ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1 แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวจะต่ำกว่ามาก แสดงว่าการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5-40% ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึง ตรงกันข้ามกลับยิ่งทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย

การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) กระจายตัวอยู่ในพอลิโพรพิลีน (PP) ดังนั้นเมื่อมีแรงดึงมากจะทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ขาดก่อน แต่เนื่องจากพันธะนี้ไม่แข็งแรงจึงทำให้รับแรงดึงได้น้อยกว่าพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP 100%)

อภิปรายผล

ในการวิเคราะห์การปรับปรุงคุณภาพของพอลิเมอร์ โดยการทดสอบพลาสติกผสมพอลิโพรพิลีน (PP) ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ผ่านกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ และมีการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ การทดสอบสมบัติทางความร้อน การทดสอบการสมบัติเกี่ยวกับการป้องกัน และ Self-life ของพลาสติกผสม โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

เมื่อนำข้อมูลดิบที่ได้จากการบันทึกในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมทรี (DSC) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพลังงานความร้อนจะได้กราฟดังภาพที่ 1 สำหรับพอลิโพรพิลีน ทำให้ทราบค่า T_m ของพอลิโพรพิลีน ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ผลึกของพอลิโพรพิลีนหลอมเหลว จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล

2. การทดสอบสมบัติเชิงกล

2.1 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ได้รับการรีไซเคิลมาแล้วทำให้ค่าการรับแรงกระแทกลดลง โดยอัตราการลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกลดน้อยลงที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรง

กระแทกตกลงเฉลี่ย 7.17 และปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกตกมากที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 40% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกตกลงเฉลี่ย 6.83

2.2 คุณสมบัติในการรับแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind 5-40%)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งอาจเป็นเพราะพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ได้รับการรีไซเคิลมาแล้วทำให้มีการรับแรงกระแทกตกลง โดยอัตราการตกลงขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกตกน้อยลงที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 5% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกตกลงเฉลี่ย 9.12 และปริมาณการผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกตกมากที่สุด คือ ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) 40% โดยทำให้คุณสมบัติในการรับแรงกระแทกตกลงเฉลี่ย 6.8

2.3 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 5200 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

โดยทั่วไปนั้นคุณสมบัติในการรับแรงดึงสามารถพิจารณาจากค่าโมดูลัส ค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) และค่าการยืดตัว (elongation) แต่เนื่องจากเครื่องตรวจสอบที่ใช้มีค่าแรงสูงสุด (max load) จึงไม่สามารถนำค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) มาเปรียบเทียบกันได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาเฉพาะค่าการยืดตัวเท่านั้น ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) จะทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนด แสดงว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ตรงกันข้ามกลับทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย

2.4 คุณสมบัติในการรับแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิโพรพิลีน (PP) 6600 ผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind)

โดยทั่วไปนั้นคุณสมบัติในการรับแรงดึงสามารถพิจารณาจากค่าโมดูลัส ค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) และค่าการยืดตัว (elongation) แต่เนื่องจากเครื่องตรวจสอบที่ใช้มีค่าแรงสูงสุด (max load) จึงไม่สามารถนำค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ค่าความเค้นแรงดึง (tensile strength) มาเปรียบเทียบกันได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาเฉพาะค่าการยืดตัวเท่านั้น ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) จะทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ที่ผสมลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนด แสดงว่า พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP-Regrind) ไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติใน

การรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ตรงกันข้ามกลับทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงของพอลิโพรพิลีน (PP) ลดลงอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาการผลิต คุณลักษณะเฉพาะ และการศึกษาการเคลื่อนผ่านทางเคมีของ อัตราสวน PP/PP-Regriind สำหรับบรรจุภัณฑ์น้ำมะขาม ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้ความกรุณาอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิราวุฒิ เพชรเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีโดยตลอด

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษาและคณะครูของโรงเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง และ ขอขอบคุณนักเรียนทุกคนที่ให้ความร่วมมือ ในการเก็บข้อมูลครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้ รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ทุนอุดหนุนในการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือประสานงานให้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษาและเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใด บิดา มารดา พี่ๆ และน้องๆ ผู้เป็นกำลังและให้การสนับสนุน ช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในทุกวันนี้ ขอขอบพระคุณที่ท่านให้การอบรมสั่งสอนและสนับสนุนในทุกกิจกรรมมาตลอด

เอกสารอ้างอิง

วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2560). งานฉีตพลาสติก. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2550). การบรรจุอาหาร (Food Packaging). กรุงเทพฯ : เอส พี เอ็ม.

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. (ม.ป.ป.). วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ 1 (Polymer Science I). กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ระบบสารสนเทศจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์

Ban Phet Phaiwan Drinking Water Distribution Information System

อนันตพร อรุณฉาย*

Anantaphon Arunchai

ขัมภิชา ตันตีสันติสม**

Khumphicha Tantisantisom

Received : May 1, 2024

Revised : October 9, 2024

Accepted : December 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการผลิตและจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์ การศึกษาตามหลักการวงจรการพัฒนาาระบบ (System Development Life Cycle) ตั้งแต่การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ระบบด้วยแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) แผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล (Entity-Relationship Diagram) และการพัฒนาระบบบนเว็บไซต์ด้วย MySQL และ PHP ระบบได้รับการประเมินผลผ่านแบบสอบถามความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 คน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของกลุ่มตัวอย่างได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยช่วยปรับปรุงการจัดการข้อมูลและกระบวนการทำงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมที่จัดบันทึกข้อมูลในกระดาษ กลุ่มตัวอย่างให้ความพึงพอใจในภาพรวมในระดับมาก ($\bar{X} = 4.39$, S.D. = 0.68) โดย 1) ประเด็นการประมวลผลตรงตามความต้องการของผู้ใช้และ 2) ประเด็นการเข้าถึงข้อมูลที่ง่าย มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.55$, S.D. = 0.62 และ $\bar{X} = 4.55$, S.D. = 0.69) ส่วนประเด็นความเหมาะสมของรูปแบบรายงาน มีความพึงพอใจน้อยที่สุด ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.93) ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถบูรณาการการจัดการฐานข้อมูลและ

*นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Information Technology Students Faculty of Science and Technology Kamphaeng Phet Rajabhat

University(Corresponding Author) e-mail: faii.anantaphon2466@gmail.com

**อาจารย์ประจำโปรแกรมวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer in the Computer Science and Information Technology program, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

การทำงานอัตโนมัติที่ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสามารถในการขยายตัวของระบบในอนาคต การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบสารสนเทศที่ได้รับการออกแบบเฉพาะ เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานในองค์กรชุมชน และสามารถเป็นต้นแบบสำหรับการนำไปใช้ในบริบทอื่นๆ ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีส่วนช่วยปรับปรุงการให้บริการและสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจในระดับชุมชนโดยการบริหารจัดการการจำหน่ายน้ำดื่มอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : น้ำดื่มบรรจุขวด / หมู่บ้านเพชรไพรวัลย์ / ระบบสารสนเทศ

ABSTRACT

This research aims to analyze, design, and develop an information system for the production and distribution of drinking water by Ban Phet Phaiwan Village. The study follows the principles of the System Development Life Cycle (SDLC), encompassing data collection, system analysis using Data Flow Diagrams (DFDs), Entity-Relationship Diagrams (ERDs), and web-based system development using MySQL and PHP. The system was assessed through a satisfaction survey involving a sample of 60 participants. The research findings indicate that the developed system accurately and effectively meets the needs of the sample group, assisting in the management of data and workflow processes compared to traditional methods of recording information on paper. The overall satisfaction level of the sample group was high ($\bar{x} = 4.39$, S.D. = 0.68), particularly regarding 1) processing that meets user requirements and 2) ease of data access, which had the highest satisfaction levels ($\bar{x} = 4.55$, S.D. = 0.62, and $\bar{x} = 4.55$, S.D. = 0.69). However, the suitability of the report format received the lowest satisfaction rating ($\bar{x} = 4.20$, S.D. = 0.93). This system is capable of integrating database management and automation, contributing to increased reliability and scalability for future developments. This study demonstrates the potential of a specifically designed information system to improve workflow processes in community organizations and can serve as a model for application in other contexts. The developed system contributes to enhancing service delivery and supports economic development at the community level through efficient management of drinking water distribution.

Keywords : Bottled Water / Phetpraiwan Village / Product Sales / Information System

บทนำ

ธุรกิจโรงงานน้ำดื่มบรรจุขวดในชุมชนได้กลายเป็นหนึ่งในธุรกิจที่เติบโตอย่างรวดเร็วในประเทศไทย ด้วยปัจจัยทางภูมิศาสตร์และความต้องการของประชาชนที่เพิ่มขึ้นในการบริโภคน้ำดื่มที่สะอาดและปลอดภัย ความสำคัญของธุรกิจนี้ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนเท่านั้น แต่ยังมีส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจท้องถิ่นและเสริมสร้างอาชีพให้กับคนในชุมชนอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับหนึ่งในเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development goals) เป้าหมายที่ 6 การสร้างหลักประกันเรื่องน้ำและการสุขาภิบาล ให้มีการจัดการอย่างยั่งยืนและมีสภาพพร้อมใช้สำหรับทุกคน โดยมีเป้าหมายย่อย ได้แก่ การให้ทุกคนเข้าถึงน้ำดื่มที่ปลอดภัยและมีราคาที่สามารถซื้อหาได้ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ในปี 2564 ตลาดน้ำดื่มบรรจุขวดในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่า 5.8 หมื่นล้านบาท และคาดการณ์อัตราการเติบโตเฉลี่ยในช่วงปี 2564-2569 ประมาณร้อยละ 4.7 (ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรม, 2565) แสดงให้เห็นว่ายอดขายหน่วยผลิตภัณฑ์น้ำดื่มบรรจุขวดในประเทศไทยมีการซื้อขายเพิ่มมากขึ้น ผู้บริโภคเชื่อถือการผลิตที่ได้คุณภาพและนิยมซื้อน้ำเพื่อการบริโภคเพราะคำนึงถึงความสะอาดสบาย ทำให้การผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดเป็นที่ต้องการอย่างมากในท้องตลาด (ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรม, 2565)

ปัญหาการจัดการข้อมูลในรูปแบบจัดบันทึกข้อมูลในกระดาษยังเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการดำเนินงานโรงงานน้ำดื่ม เช่น การเก็บข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน การค้นหาข้อมูลที่ใช้เวลานาน และความล่าช้าในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานและความสามารถในการขยายฐานลูกค้า รวมถึงการรายงานข้อมูลที่สำคัญ (ทวีศักดิ์ และอนุทิศา, 2561; พิรภพ, 2555) การพัฒนาระบบสารสนเทศที่เหมาะสมและสามารถปรับแต่งให้เข้ากับบริบทของชุมชนได้จึงเป็นสิ่งจำเป็น

จากบริบทดังกล่าว คณะกรรมการบริหารกองทุนหมู่บ้านและชาวบ้านเพชรไพรวัลย์ได้มีมติร่วมกันในการนำงบประมาณมาสร้างโรงผลิตน้ำดื่มเพื่อผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดสำหรับจำหน่ายให้แก่ชาวบ้านในหมู่บ้านเพชรไพรวัลย์และหมู่บ้านใกล้เคียงที่มีราคาไม่สูงกว่าท้องตลาด พร้อมทั้งบริการจัดส่งน้ำดื่มถึงบ้าน อย่างไรก็ตาม จากการดำเนินงานมาระยะหนึ่ง พบว่า โรงผลิตน้ำดื่มประสบปัญหาด้านการจัดบันทึกข้อมูลทั้งหมดในกระดาษ ส่งผลให้การจัดเก็บข้อมูลข้อมูลต่างๆ อาจไม่สมบูรณ์ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องไม่มีความสอดคล้องกัน ทำให้ไม่ทราบข้อมูลที่ถูกต้องได้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ข้อมูลการจำหน่ายและข้อมูลการจัดส่ง การค้นหาข้อมูลต่างๆ ทำได้ยากและใช้เวลานาน ลูกค้าไม่สามารถติดตามสถานะการจัดส่งได้ รวมทั้งการจัดทำรายงานสรุปต่างๆ ที่ใช้เวลามาก นอกจากนี้การติดต่อทั้งหมดผ่านการโทรศัพท์จากลูกค้ากลุ่มเดิมที่เป็นลูกค้าในพื้นที่เท่านั้น ทำให้ไม่สามารถขยายฐานลูกค้าไปยังพื้นที่ใกล้เคียงได้ ด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้พิจารณานำระบบสารสนเทศเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการตามกระบวนการที่ครอบคลุมในสองระยะหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์และพัฒนา ระบบ และการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระยะที่ 1 การวิเคราะห์และพัฒนา ระบบ ตามวงจรการพัฒนา ระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) ของ โอภาส (2566)

1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล ทำการสัมภาษณ์ผู้จัดการโรงงานน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์และกลุ่มลูกค้าในพื้นที่เพื่อรวบรวมข้อมูลปัญหาและความต้องการของระบบ ศึกษาระบบเดิมเพื่อวิเคราะห์ข้อจำกัดและปัญหาที่พบในการดำเนินงาน

1.2 การออกแบบและพัฒนา ระบบ ใช้แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) เพื่อวิเคราะห์กระบวนการทำงานและการไหลของข้อมูลในระบบ ใช้แผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล (Entity Relationship Diagram: ERD) เพื่อกำหนดโครงสร้างฐานข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล พัฒนาระบบสารสนเทศด้วยการจัดการฐานข้อมูล MySQL และภาษา PHP เพื่อรองรับการทำงานบนเว็บไซต์ โดยระบบประกอบด้วยฟังก์ชันการจัดการข้อมูลสมาชิก คำสั่งซื้อสินค้า การชำระเงิน และการออกรายงาน

1.3 การดำเนินการตามวงจรการพัฒนา ระบบ ตามขั้นตอนของ โอภาส (2566) เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผน โดยการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานเพื่อรวบรวมความต้องการและจัดทำแผนดำเนินงาน

ระยะที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

2.1 เกณฑ์การประเมิน ใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่ประกอบด้วยมาตราส่วน Likert (คะแนน 1-5) เพื่อประเมินด้านประสิทธิภาพ ความสะดวกในการใช้งาน และความน่าเชื่อถือของระบบ

2.2 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 คน เป็นผู้อยู่อาศัยในชุมชนบ้านเพชรไพรวัลย์ที่มีประสบการณ์ในการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์และใช้งาน Mobile Banking

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เอื้อมพร, 2554) พร้อมทั้งแปลผลดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51-5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51-4.50 หมายความว่า ระดับมาก

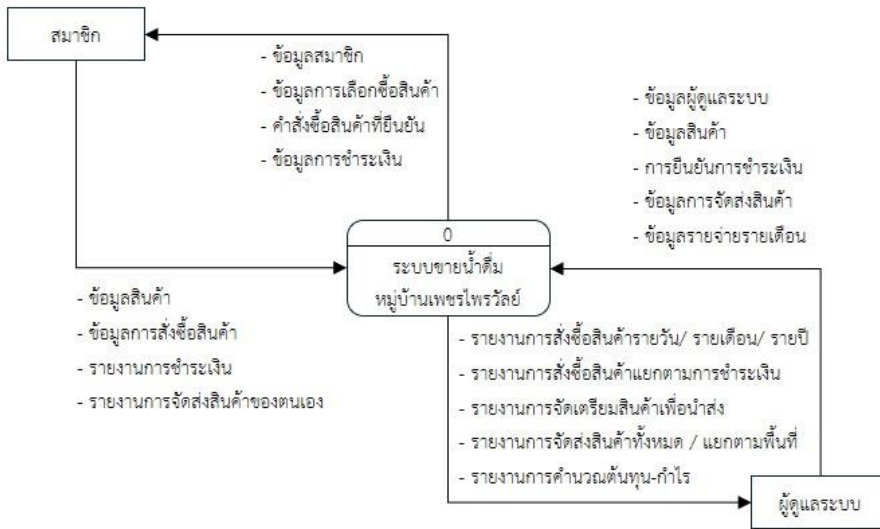
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51-3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51-2.50 หมายความว่า ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01-1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

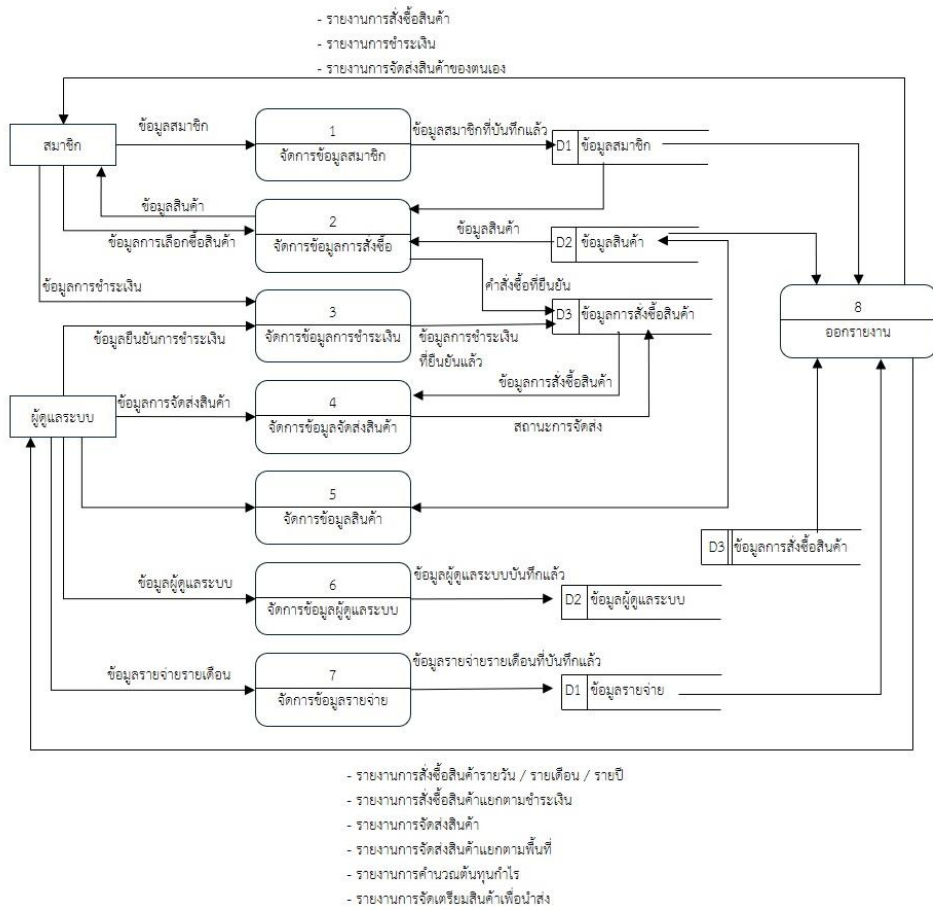
ผลการวิจัย

ระยะที่ 1 ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบ จากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโรงงานน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์และกลุ่มลูกค้าในพื้นที่ สามารถสรุปเป็นแผนภาพแสดงการออกแบบการทำงานของระบบ ได้ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แผนภาพบริบท (Context Diagram)

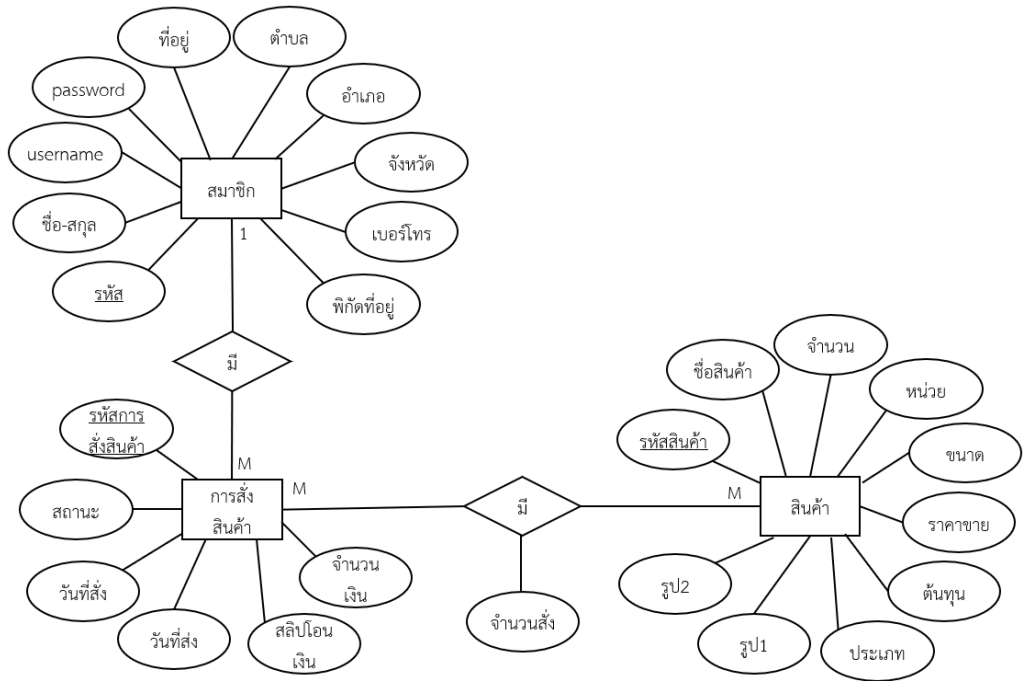
ภาพที่ 1 แผนภาพบริบทของระบบขายนํ้าดื่มของหมู่บ้านเพชรไพรวัลย์ โดยระบบมีการเชื่อมโยงกับ ผู้ใช้งานหลักสองกลุ่ม ได้แก่ สมาชิกและผู้ดูแลระบบ สมาชิกสามารถส่งข้อมูล เช่น รายการคำสั่งซื้อ ข้อมูลการ ชำระเงิน และรับข้อมูลยืนยันคำสั่งซื้อหรือรายงานสถานะสินค้า ขณะที่ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลสินค้า การจัดส่ง และดูรายงานผลการดำเนินงานของระบบ ระบบนี้ช่วยให้การจัดการข้อมูลมีความสะดวกและรวดเร็ว มากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2 แผนภาพกระแสข้อมูล

ภาพที่ 2 แผนภาพกระแสข้อมูล แสดงกระบวนการทำงานของระบบขายน้ำดื่มที่เชื่อมโยงกับสมาชิกและผู้ดูแลระบบ โดยระบบประกอบด้วย 8 กระบวนการหลัก ได้แก่ การจัดการข้อมูลสมาชิก การจัดการคำสั่งซื้อ การจัดการชำระเงิน การจัดการสินค้า การจัดการจัดส่งสินค้า การจัดการผู้ดูแลระบบ การจัดการรายจ่าย และการออกรายงาน ข้อมูลจากสมาชิก เช่น รายละเอียดคำสั่งซื้อและการชำระเงิน ถูกบันทึกในฐานข้อมูลและส่งต่อไปยังกระบวนการอื่น ผู้ดูแลระบบสามารถดูแลข้อมูลสินค้า จัดส่งสินค้า และสร้างรายงานเพื่อวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

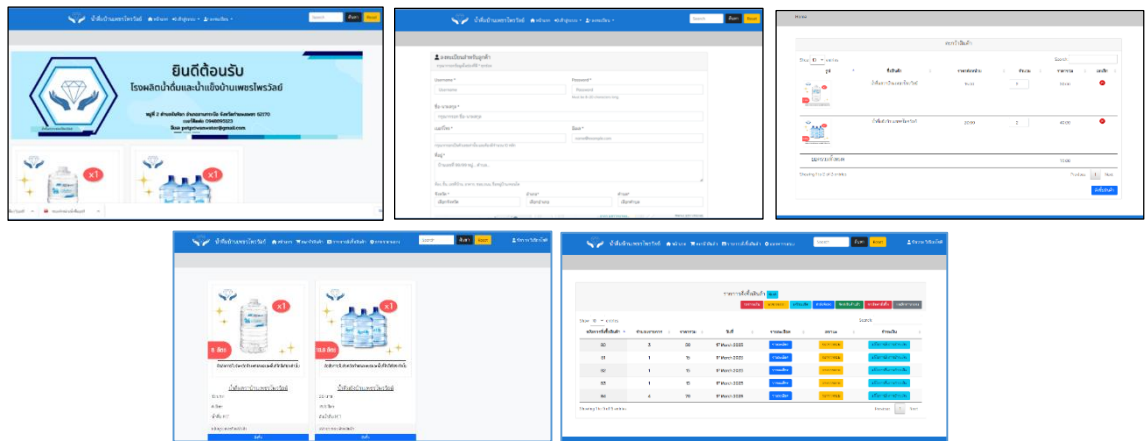
หลังจากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานในระบบโดยใช้แผนภาพบริบทและแผนภาพกระแสข้อมูล ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล เพื่อกำหนดโครงสร้างของฐานข้อมูล แผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแผนภาพนี้จะช่วยระบุความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล เช่น ข้อมูลสมาชิก คำสั่งซื้อ การชำระเงิน และข้อมูลสินค้า การออกแบบนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ระบบสามารถจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างครบถ้วน



ภาพที่ 3 แผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล

ภาพที่ 3 แผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูลนี้ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในระบบขายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์ โดยมี 3 เอนทิตีหลัก ได้แก่ สมาชิก การสั่งซื้อสินค้า และสินค้า ระบบนี้ออกแบบให้สมาชิกแต่ละคนสามารถสร้างคำสั่งซื้อได้หลายคำสั่ง โดยคำสั่งซื้อหนึ่งคำสั่งสามารถประกอบด้วยสินค้าหลายรายการ และสินค้าหนึ่งชนิดสามารถถูกสั่งซื้อได้ในหลายคำสั่ง

ผลการพัฒนาระบบ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบ โดยตัวอย่างหน้าจอที่ได้จากการพัฒนาระบบแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างหน้าจอระบบสารสนเทศจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์จนสำเร็จตามขอบเขตที่กำหนด และได้ดำเนินการทดลองใช้งานจริง ระบบที่พัฒนาช่วยให้ลูกค้าหรือสมาชิกสามารถจัดการข้อมูลส่วนตัว และเพิ่มข้อมูลการชำระเงินได้สะดวกยิ่งขึ้น ขณะที่ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลสินค้า คำสั่งซื้อ รายจ่ายรายเดือน บัญชีธนาคาร และออกรายงานต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำระบบไปให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 คนทดลองใช้เป็นระยะเวลา 2 เดือน จากนั้นได้ทำการสัมภาษณ์และสำรวจความพึงพอใจ รายละเอียดการประเมินประสิทธิภาพเป็นดังนี้

ประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาเทียบกับระบบเดิม

เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทำงานระหว่างระบบเดิมที่ใช้วิธีการจัดบันทึกข้อมูลในกระดาษ และระบบใหม่ในด้านต่างๆ เช่น เวลาในการค้นหาข้อมูล ข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล และเวลาที่ใช้ในการออกรายงาน การเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงที่เกิดขึ้นหลังการพัฒนาระบบใหม่ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่

ประเด็น	ระบบเดิม	ระบบใหม่	การปรับปรุง (%)
เวลาในการค้นหาข้อมูล	30 นาที	5 นาที	ลดลง 83.33%
ข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล	10 ครั้ง/เดือน	3 ครั้ง/เดือน	ลดลง 70%
เวลาในการสรุปข้อมูล	1 ชั่วโมง	15 นาที	ลดลง 75%

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่ใช้การจัดบันทึกในกระดาษ พบว่าระบบใหม่ช่วยลดเวลาในการค้นหาข้อมูลได้เฉลี่ย 83.33% และลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลลงถึง 70% นอกจากนี้ การสรุปข้อมูลต่างๆ ที่เคยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงในระบบเดิมสามารถลดลงเหลือเพียง 15 นาทีในระบบใหม่ช่วยลดเวลาลง 75% นอกจากการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบใหม่เทียบกับระบบเดิมแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบใหม่ ผลการประเมินความพึงพอใจแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละโดยจำแนกตามข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม	จำนวน(คน)	จำนวนร้อยละ
1. ข้อมูลเพศ		
ชาย	28	46.67
หญิง	32	53.33

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม	จำนวน(คน)	จำนวนร้อยละ
2. ข้อมูลอายุ		
ต่ำกว่า 20 ปี	6	10.00
21-40 ปี	24	40.00
41-60 ปี	21	35.00
60 ปีขึ้นไป	9	15.00

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลประชากรของผู้ตอบแบบสอบถามในโครงการประเมินระบบสารสนเทศสำหรับการจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์ โดยผู้ตอบแบบสอบถามถูกจำแนกตามเพศ อายุ ระดับการศึกษา และสภาพการใช้งานระบบ ผลจากตารางพบว่ากลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นสมาชิกที่ใช้งานระบบเดิม และมีความหลากหลายทั้งในด้านอายุและระดับการศึกษา ซึ่งแสดงถึงการประเมินระบบที่ครอบคลุมกลุ่มเป้าหมายในชุมชนอย่างกว้างขวาง

ตารางที่ 3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ

หัวข้อแบบสอบถาม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านสาระสำคัญของระบบสารสนเทศ			
1. ระบบสามารถจัดการเนื้อหาได้ครบถ้วนตามความต้องการของผู้ใช้งาน	4.38	0.61	มาก
2. ระบบมีการจำแนกประเภทของผู้ใช้ตามสิทธิและหน้าที่ของผู้ใช้งาน	4.28	0.69	มาก
3. ความสะดวกในการจัดการข้อมูล	4.38	0.75	มาก
4. ข้อมูลที่นำเสนอครบถ้วนตามความต้องการ	4.37	0.55	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านสาระสำคัญของระบบสารสนเทศ	4.35	0.65	มาก
ด้านความสามารถของระบบ			
5. ระบบสามารถประมวลผลได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้	4.55	0.69	มากที่สุด
6. ระบบมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.35	0.65	มาก
7. รูปแบบรายงานมีความเหมาะสม	4.20	0.93	มาก
8. สามารถค้นหาหรือเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้ง่าย	4.55	0.62	มากที่สุด
9. สามารถนำระบบฯไปประยุกต์ใช้กับระบบงานเดิมได้	4.32	0.74	มาก
10. โดยรวมท่านพึงพอใจในคุณภาพของระบบอยู่ในระดับใด	4.33	0.54	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านความสามารถของระบบ	4.38	0.70	มาก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หัวข้อแบบสอบถาม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการออกแบบ			
11. ระบบใช้งานสะดวก ไม่ซับซ้อน	4.30	0.71	มาก
12. ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่าย และสวยงาม	4.32	0.65	มาก
13. ภาษาเข้าใจง่าย กระชับ อธิบายชี้แจงข้อมูลได้ชัดเจน	4.50	0.72	มาก
14. ความสวยงาม ความทันสมัย น่าสนใจ	4.50	0.67	มาก
15. ความเร็วในการแสดงผล ภาพ ตัวอักษร และข้อมูลต่างๆ	4.53	0.67	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบ	4.43	0.68	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม 3 ด้าน	4.39	0.68	มาก

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบในด้านต่างๆ พบว่า ความพึงพอใจเฉลี่ย ทั้ง 3 ด้าน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.39$, S.D. = 0.68) โดยแต่ละด้านมีความพึงพอใจดังนี้ 1) ด้านสาระสำคัญของระบบสารสนเทศ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.65) 2) ด้านความสามารถของระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.38$, S.D. = 0.70) 3) ด้านการออกแบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.43$, S.D. = 0.68) ซึ่งประเด็นที่ได้รับการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด จำนวน 3 ประเด็น ได้แก่ 1) ประเด็นระบบสามารถประมวลผลได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ 2) ประเด็นสามารถค้นหาหรือเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้ง่าย และ 3) ประเด็นความเร็วในการแสดงผล ภาพ ตัวอักษร และข้อมูลต่างๆ

โดยสรุป ผลการประเมินสะท้อนว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในระดับที่น่าพึงพอใจ และมีศักยภาพในการนำไปใช้จริงในชุมชน

อภิปรายผล

ผลการวิจัยระบบสารสนเทศจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ระบบใหม่แทนวิธีการแบบเดิม โดยระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยลดเวลาในการค้นหาข้อมูล ลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล และลดเวลาการสรุปข้อมูลต่างๆ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พิรภพ (2555) ที่พบว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการน้ำดื่มในชุมชนช่วยลดปัญหาการจัดเก็บข้อมูลแบบกระดาษและเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล นอกจากนี้ งานวิจัยของ ทวีศักดิ์ และอนูทิศา (2561) ยังชี้ให้เห็นว่าการใช้ระบบบริหารจัดการที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับโรงงานน้ำดื่มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดความล่าช้าในการให้บริการได้ การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบใหม่พบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับ "มาก" โดยด้านความเร็วในการแสดงผลข้อมูลได้รับการประเมินผลอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมนึก (2557) ที่ระบุว่าระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นช่วยเพิ่มความรวดเร็วและความสะดวกในการใช้งานให้กับผู้ใช้งานจริงในโรงงานน้ำดื่ม

การพัฒนาาระบบสารสนเทศในครั้งนี้ไม่เพียงแต่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน แต่ยังตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับที่ที่ต้องการการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยที่แสดงถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นนั้น เนื่องจากระบบใหม่ได้รับการออกแบบโดยใช้แผนภาพกระแสข้อมูล และแผนภาพความสัมพันธ์ข้อมูล ซึ่งช่วยให้โครงสร้างการจัดการข้อมูลมีความชัดเจนและสอดคล้องกับกระบวนการทำงานจริงในโรงงานน้ำดื่ม เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้วิธีจัดข้อมูลลงในกระดาษซึ่งอาจเกิดความซ้ำซ้อนและข้อผิดพลาดในการจัดการข้อมูล ระบบใหม่จึงลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มความแม่นยำในการทำงาน

การนำ MySQL และ PHP มาใช้ในการพัฒนาระบบช่วยให้การจัดการฐานข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รองรับการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้รวดเร็วและลดความซับซ้อนในกระบวนการค้นหาและจัดเก็บข้อมูล ซึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลและการสรุปข้อมูลต่างๆ ลดลงอย่างมาก การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) ที่เข้าใจง่ายและเหมาะสมกับบริบทของผู้ใช้งานในชุมชน ช่วยให้ทั้งสมาชิกและผู้ดูแลระบบสามารถใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ได้โดยไม่ต้องมีความรู้ด้านเทคนิคสูง การออกแบบเช่นนี้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความพึงพอใจและลดข้อผิดพลาดในการใช้งาน

ระบบที่พัฒนาขึ้นได้รับการออกแบบให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานโดยตรง เช่น การจัดการคำสั่งซื้อ การชำระเงิน และการออกเอกสารรายงาน สิ่งเหล่านี้ช่วยลดความล่าช้าในการตอบสนองต่อคำสั่งซื้อและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ กระบวนการพัฒนาระบบได้รับข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้จัดการโรงงานน้ำดื่มและกลุ่มลูกค้า ทำให้ระบบที่พัฒนาออกมาสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเดิมได้อย่างตรงจุด เช่น การลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลและการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูล ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จึงสะท้อนถึงความเหมาะสมของกระบวนการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ ที่เน้นการตอบสนองความต้องการและบริบทของผู้ใช้งานในชุมชนโดยเฉพาะ ส่งผลให้ระบบใหม่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้รับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานในระดับสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาาระบบสารสนเทศสำหรับการจำหน่ายน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์" ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณผู้จัดการโรงงานน้ำดื่มบ้านเพชรไพรวัลย์ คณะกรรมการหมู่บ้านเพชรไพรวัลย์ และกลุ่มลูกค้าที่ได้ให้ข้อมูลและความคิดเห็นที่สำคัญต่อการพัฒนาระบบ รวมถึงให้ความร่วมมือในการทดลองใช้งานระบบ ผู้เขียนหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยหรือโครงการอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ทวีศักดิ์ คงตก และอนุทิตา เล็กเพชร. (2561, กรกฎาคม-ธันวาคม). ระบบบริหารงานโรงงานน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงงานเพชรน้ำทิพย์. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 12(2), 1-8.
- พิรภพ จันทร์แสนตอ. (2554, ตุลาคม). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการน้ำดื่มชุมชน กรณีศึกษา ชุมชนบ้าน บุญเกิด ตำบลพระบาท อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 4(2), 1-13.
- สมนึก เหง้าสุวรรณ. (2557). ระบบจัดการโรงงานน้ำดื่มยูดริงค์. ปรินูญานินพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สภาพพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. (ม.ป.ป.). เป้าหมายที่ 6 สร้างหลักประกันเรื่องน้ำและการสุขาภิบาล ให้มีการจัดการอย่างยั่งยืนและมีสภาพพร้อมใช้ สำหรับทุกคน. [Online]. Available : <https://sdgs.nesdc.go.th/เกี่ยวกับ-sdgs/เป้าหมายที่-6-สร้างหลักป/> [10 มกราคม, 2567].
- เอื้อมพร หลินเจริญ. (2554). ระเบียบวิธีวิจัยทางสังคมศาสตร์. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรม, ศูนย์. (2565). ตลาดน้ำดื่มบรรจุขวดในประเทศไทย ปี 2564. [Online]. Available: <https://fic.nfi.or.th/market-intelligence-detail.php?smid=360> [10 มกราคม, 2567].
- โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2566). การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น.

คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์ ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ปีละ 2 ฉบับ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารจะต้องผ่านการตรวจพิจารณาจาก กองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน/บทความ โดยใช้การ Peer-review เป็นแบบ double blinded หากมีความเห็นว่าจะต้องมีการปรับ แก้ไขทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเพื่อแก้ไขและขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาไม่ลงพิมพ์เมื่อไม่ผ่านการพิจารณา (ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจพิจารณาบทความจะไม่อยู่ในสังกัดเดียวกับผู้แต่ง) สำหรับการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ จำนวน 4,500 บาท/เรื่อง ทางวารสารจะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมในขั้นตอน Peer Review ผู้ที่มีความประสงค์จะส่งบทความเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำ ดังต่อไปนี้

การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์ตามรูปแบบและคำแนะนำในการเขียนบทความของวารสารนี้เท่านั้น
2. ต้นฉบับที่ส่งมาให้พิจารณาตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน และจะต้องไม่ส่งตีพิมพ์ซ้ำซ้อนในวารสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน
3. การตีพิมพ์บทความลงในวารสาร จะเรียงตามลำดับก่อนหลังตามวันที่ได้รับเรื่อง
4. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตีพิมพ์บทความทุกเรื่องรวมทั้งการปรับปรุงบทความบางส่วนตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้อ่านบทความ
5. กรณีเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กองบรรณาธิการจะคัดเลือกบทความที่นักศึกษาส่งซึ่งอาจไม่ได้ตีพิมพ์ทุกบทความ
6. บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร ถือเป็นผลงานทางวิชาการหรืองานวิจัยของคณะผู้เขียนไม่ใช่ความคิดเห็นของกองบรรณาธิการ ผู้เขียนและคณะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน
7. บทความที่ได้ผ่านการพิจารณาแล้ว ทางกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับเอกสารพร้อมไฟล์ข้อมูลมาที่ http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/ และสามารถสอบถามรายละเอียดได้ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนา อาคาร 1 ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0 5572 1879, 0 5572 2500 ต่อ 1760 หรือนายทวิช ปิ่นวิเศษ โทรศัพท์ 08 4593 9223


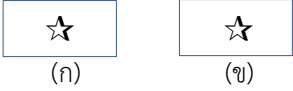
รูปแบบการพิมพ์บทความ

1. ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ ตั้งค่ากระดาษเป็น B5 (JIS) โดยจำนวนหน้าของเนื้อหาและเอกสารอ้างอิง รวมทั้งสิ้นไม่เกิน 10 หน้า ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK และแต่ละหน้าไม่เกิน 30 บรรทัด

2. ข้อปฏิบัติการพิมพ์แต่ละหัวข้อ/ส่วนประกอบ มีดังนี้

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
1	ชื่อบทความ	ระบุชื่อบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 พอยท์ ตัวหนา ว่างกึ่งกลางหน้ากระดาษ
2	ชื่อผู้เขียนบทความ	ระบุชื่อผู้วิจัย, ผู้ร่วมวิจัย (ถ้ามี), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา ว่างกึ่งกลางหน้ากระดาษ
3	สังกัดผู้เขียนบทความ	ระบุวุฒิการศึกษา ชื่อสถาบันการศึกษา ตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงานที่สังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 12 พอยท์ ว่างที่เชิงอรรถท้ายหน้า
4	บทคัดย่อ (Abstract)	บทคัดย่อมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เนื้อความของบทคัดย่อไม่เกิน 10 บรรทัดและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 300 คำ เป็นการเขียนข้อสรุปหลักของผลการวิจัยทั้งหมดแบบสรุป กระชับ และได้ใจความ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
5	คำสำคัญ (Keywords)	ระบุคำสำคัญ 2-5 คำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ว่างท้ายบทคัดย่อ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
6	เนื้อหา (Content)	ทุกหัวข้อ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา วางไว้ชิดขอบซ้าย ส่วนรายละเอียด ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ประกอบด้วย <ol style="list-style-type: none">บทนำ (Introduction) เขียนแสดงที่มาและความสำคัญของปัญหา แนวคิดและทฤษฎี วัตถุประสงค์ ไม่ควรคัดลอกข้อความ เนื้อหาของเอกสารอื่นมาอ้างอิงทั้งข้อความ และไม่ควรรีใช้เอกสารอ้างอิงที่เก่าเกิน 10 ปีวิธีดำเนินการวิจัย (Objectives) อธิบายเกี่ยวกับประชากร และกลุ่มตัวอย่างหรือแหล่งข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเขียนให้กระชับและชัดเจน

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย						
	เนื้อหา (Content) (ต่อ)	<p>3. ผลการวิจัย (Conclusion) รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ควรมีตารางและภาพประกอบได้ ใช้คำที่เข้าใจง่าย และชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน ภาพเป็นไฟล์ .JPEG</p> <p>4. อภิปรายผล (Discussion) วิเคราะห์ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหลักวิชาการ อาจมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคตและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์</p> <p>5. บทสรุป สรุปประเด็นที่พบและประเด็นการศึกษาและหากเป็นบทความวิชาการจะมี 3 หัวข้อ คือ บทนำ เนื้อหา และการอ้างอิงแหล่งสารสนเทศ และสรุป</p>						
7	กิตติกรรมประกาศ	ควรมีเพื่อแสดงคำขอบคุณ สำหรับแหล่งทุนสนับสนุนหรือผู้ช่วยเหลืองานวิจัยและเตรียมเอกสาร						
8	รูปภาพ ตาราง และสมการ (ถ้ามี)	<p>รูปภาพ</p> <p>คำอธิบายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพและอยู่กึ่งกลางคอลัมน์หรือกึ่งหน้ากระดาษ หากรูปภาพแบ่งเป็น 2 ส่วน ให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วน โดยใช้ตัวอักษรในการวงเล็บเรียงลำดับ เช่น (ก) (ข) หรือ (A) (B)</p> <p>ตัวอย่างรูปภาพ</p> <div style="text-align: center;"> ภาพที่ 1</div> <div style="text-align: center;"> ภาพที่ 2</div> <p>ตาราง</p> <p>ตารางที่แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ตารางแบบเส้นคู่เปิด-ปิดตาราง ดังตัวอย่าง</p> <p>ตารางที่ 1</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><tbody><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></tbody></table>	A	B	C	1	2	3
A	B	C						
1	2	3						

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
		การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความควรระบุเป็นภาพที่ และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1 และตารางที่ 1 สมการ การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์ เว้นบรรทัดบนและล่างอย่างละ 1 บรรทัดและมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1) (2) ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดด้านขวาของคอลัมน์ ดังตัวอย่าง $A + B = C \qquad (1)$
9	การอ้างอิงในเนื้อหา	ลงรายการ (ชื่อผู้แต่ง, ปี) ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)
10	เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในเนื้อหาทุกรายการต้องนำไปใส่ไว้ในเอกสารอ้างอิงท้ายบทความในรูปแบบการลงรายการบรรณานุกรมที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)

รูปแบบการอ้างอิงในเนื้อหาและบรรณานุกรม

หนังสือ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือ

อ้างอิง	ภาษาไทย	(ชื่อ, ปี)
	ภาษาอังกฤษ	(นามสกุล, ตัวอักษรแรกของชื่อ., ปี)
บรรณานุกรม	ภาษาไทย	ชื่อ/นามสกุล./(ปีที่พิมพ์)/ชื่อเรื่อง./(ครั้งที่พิมพ์)/ สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.
	ภาษาอังกฤษ	นามสกุล,/อักษรย่อชื่อแรก ชื่อกลาง (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อเรื่อง/ครั้งที่พิมพ์./สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์ หรือโรงพิมพ์.

1. ผู้แต่งคนเดียว

(สมพงษ์, 2548)

สมพงษ์ ชูมาก. (2548). กฎหมายระหว่างประเทศแผนกคดีเมือง. (พิมพ์ครั้งที่ 3).

กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

(สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา, 2531)

กัลยานิวัฒนา, สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้า. (2531). **เจ้านายเล็กๆ ยุวกษัตริย์**.
(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์.

(Wilson, 2007)

Wilson, K. (2007). **Smart choice**. (2 nd ed). London : Oxford University Press.

2. ผู้แต่งมากกว่า 3 คน

(อวยพร และคนอื่นๆ, 2548)

อวยพร พานิช และคนอื่นๆ. (2548). **ภาษาและหลักการเขียนเพื่อการสื่อสาร**.

กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(Crouhy, et al., 2006)

Crouhy, M., et al. (2006). **The essentials of risk management**. New York :
McGraw-Hill.

3. ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2546)

สุโขทัยธรรมมาธิราช, มหาวิทยาลัย. (2546). **เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาการ
วิจัยการบริหารการศึกษา**. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

(สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2541)

การศึกษาแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ. (2541). **การปฏิรูปการเรียนรู้ตามแนวคิด**

5 ทฤษฎี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไอดีเอสแควร์,

(Ministry, 2002)

Education, Ministry of. (2002). **Chiangmai : Nop Bueri Si Nakon Ping**.
Bangkok : Ministry of Education.

4. วิทยานิพนธ์

(เขวงศักดิ์, 2543)

เขวงศักดิ์ เขียวเขิน. (2543). **การดำเนินงานการประกันคุณภาพการศึกษาของ
สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร**.

(โอภามา, 2550)

โอภามา จำแกะ. (2550). **การจัดการตลาดทางเลือกเกษตรอินทรีย์ : กรณีศึกษา
สหกรณ์การเกษตรยั่งยืนแม่ทาจำกัด ตำบลแม่ทา กิ่งอำเภอแม่อน
จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์พัฒนาชุมชนมหาบัณฑิต
คณะสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**.

(Almeida, 1990)

Almeida, D.M. (1990). **Father's participation in family work : Consequences for fathers' stress and father child relation.** Master's thesis, University of Victoria.

5. รายงานการประชุม

(นิทัศน์, 2540)

นิทัศน์ ภัทรโยธิน. (2540). **ตลาดซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า ในการประชุม นักบัญชีทั่วประเทศ ครั้งที่ 15 วิสัยทัศน์นักบัญชีไทย.** วันที่ 27-28 มิถุนายน พ.ศ. 2540 (หน้า 19-35). กรุงเทพฯ : สมาคมนักบัญชีและผู้สอบบัญชีรับอนุญาตแห่งประเทศไทย.

(Paitoon, 1995)

Paitoon Sinlarat. (1995). Success and failure of facility in Thai university. In Somwang Pitiyanuwat, et al. (Eds), **Preparing teachers for All the World's Children: An Era of Transformation Proceedings of International Conference, Bangkok 1992.** (pp. 217-233). Bangkok : UNICEF.

วารสาร

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสาร การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ/ปีที่พิมพ์)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล/(ปี/เดือน/วัน)/ชื่อบทความ/**ชื่อวารสาร**,/ปีที่(ฉบับที่)/หน้า (มัลลวีร์, นิตย และวิลาวัลย์, 2549)

มัลลวีร์ อุดลวัฒน์ศิริ, นิตย บุษงามงคล และวิลาวัลย์ จตุรอำรง. (2549, กรกฎาคม-ธันวาคม). การศึกษาและพัฒนาพฤติกรรมทางจริยธรรมของเยาวชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารศึกษาศาสตร์**, 29(3-4), 83-92.

(Bekerian, 1993)

Bekerian, D.A. (1993, June). In search of the typical eyewitness. **American Psychologist**, 48, 574-576.

หนังสือพิมพ์

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์ การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ//ปี)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล./(ปี,/เดือน/วัน). ชื่อบทความหรือพาดหัวข่าว./

ชื่อหนังสือพิมพ์./หน้า.

(สมศรี, 2550)

สมศรี หาญอนันตสุข. (2550, มิถุนายน 26). ภาครัฐธรรมนุญใหม่จะสร้าง
มิติใหม่ให้สังคมพุทธ. **มติชน**, หน้า 7.

(Krishman, 2007)

Krishman, E. (2007, June 26). Rebuilding self-esteem

Bangkok post, p.1, 12.

จุลสาร

รูปแบบการอ้างอิงและบรรณานุกรมจุลสาร แผ่นพับ แผ่นปลิว

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต./(ปี)./ชื่อเรื่อง./[แผ่นพับ]/สถานที่พิมพ์:/
ผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต.

(การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2541)

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2541). **ท่องเที่ยวสงขลา**. [แผ่นพับ].

สงขลา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย.

(Research and Training Center on Independent Living, 1993)

Research and Training Center on Independent Living. (1993).

Guidelines for reporting and writing about

people with disabilities. [Brochure]. Lawrence :

Research and Training Center on Independent Living.

โสตทัศนวัสดุ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมโสตทัศนวัสดุ

อ้างอิง (ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./(ปี)./ชื่อเรื่อง./[ประเภทโสตทัศนวัสดุ]/สถานที่ผลิต:/
หน่วยงานหรือบริษัทที่ผลิต.

(ยุพดี, 2530)

ยุพดี พยัฆพันธ์ (ผู้บรรยาย). (2530). **ยาสมุนไพรรักษา**. [แถบบันทึกเสียง].

กรุงเทพฯ : องค์กรวิทยาศาสตร์การแพทย์.

ซีดีรอม

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมซีดี-รอม (CD-ROM)

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[CD-ROM]./Available:/แหล่งที่มา./[ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].
(อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร, 2543)

อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร. (2543). [CD-ROM]. Available :
ฐานข้อมูลไปคูให้เต็มดูล้าค่าความเป็นไทย. [2544, มิถุนายน 23].
(Social Science Index, 1999)

Social Science Index. (1999). [CD-ROM]. Available : UMI/Social
Science Index. [2005, June 26].

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

1. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[Online]. Available : แหล่งที่มา./
[ปี, เดือน/วันที่สืบค้น].

(อรรถศิษฐ์, 2542).

อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. [Online].
Available : [http://158.108.200.11/soil009hom-1/009421/
chap1.htm#era1](http://158.108.200.11/soil009hom-1/009421/chap1.htm#era1). [2550, กุมภาพันธ์ 20].

(Abell, 2002)

Abell, S.K. (2002). **Science teacher education : An international
perspeetive**. [Online]. Available : [http://ebook.Springerlink.
com/Search/Search Results.aspx?](http://ebook.Springerlink.com/Search/Search Results.aspx?) [2007, June 30].

2. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสารอิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./บทความ./ชื่อวารสาร [Online], /ปีที่./ฉบับที่).

Available:/แหล่งที่มา./[ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].

(Kenneth, 1998)

Kenneth, I. (1998). A Buddhist response to the nature of human
rights. **Journal of Buddhist Ethies** [Online], 2, (9).
Available : <http://www.cac.psu.edu/Jbe/twocont.html>.
[2006, August 12].

3. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์

- อ้างอิง** (ชื่อผู้แต่ง, วัน/เดือน/ปี)
- บรรณานุกรม** ชื่อผู้แต่ง./ (ปี./เดือน/วัน)./บทความหรือพาดหัวข่าว ใน ชื่อหนังสือพิมพ์ [Online]. Available : แหล่งที่มา [ปี, เดือน วันที่สืบค้น].
- (ชุม, (นามแฝง), 25 ตุลาคม 2542)
- ชุม. (นามแฝง). (2542, ตุลาคม 25). บุญของคนไทย ใน **ไทยรัฐ**. [Online]. Available : <http://www.thairath.co.th>. [2542, ตุลาคม 25].
- (ศธ. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2, 2550)
- ศธ. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2. (2550, มิถุนายน 23). ใน **ไทยรัฐ**. [Online]. Available : <http://www.thairath.co.th>. [2550, มิถุนายน 30].

4. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากเว็บไซต์เว็บ (www.)

- อ้างอิง** (ชื่อผู้แต่ง./ปี)
- บรรณานุกรม** ชื่อผู้แต่ง./ (ปี)./ชื่อเรื่องหรือหัวข้อเรื่อง./[Online]./Available:/แหล่งที่มา./ [ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].
- (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.)
- เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ศูนย์. (ม.ป.ป.).
- การจัดการศึกษาทางไกล**. [Online]. Available : <http://www.nectec.or.th/courseware/cai/0015.htm>. [2550, กรกฎาคม 1].
- (Ministry of Education, 2005)
- Education, Ministry of. (2005). **The Regional Seminar on Higher Education in Southeast Asian Countries**. [Online]. Available : <http://www.inter.mua.go.th/news/News%20January%202005.htm>. [2006, January 5].

การสัมภาษณ์

การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากการสัมภาษณ์

- อ้างอิง** (ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ปี/เดือน/วันที่สัมภาษณ์)
- บรรณานุกรม** ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ (ปี./เดือน/วันที่สัมภาษณ์)./ตำแหน่ง./สัมภาษณ์. (ดิลก, 2543)
- ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.
- (Page, 1991)
- Page, O. (1991, March 5). President, Austin Peay State University. Interview.

แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
2. ระดับการศึกษาสูงสุด.....ตำแหน่งทางวิชาการ.....
3. สถานะภาพของผู้ส่งบทความ อาจารย์ บุคคลทั่วไป
4. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

โทรศัพท์.....E-mail.....

5. ประเภทบทความ บทความวิจัย บทความวิชาการ
6. ชื่อบทความ
(ภาษาไทย).....
(ภาษาอังกฤษ).....

7. บทความฉบับนี้มีได้คัดลอกผลงาน มิได้ละเมิดลิขสิทธิ์ และไม่ขัดต่อกฎหมายใดๆ ซึ่งผู้เขียนบทความเขียนโดย
ใช้ความรู้ ความสามารถและการสังเคราะห์ของตนเอง
8. ผู้เขียนบทความยินยิตัดใช้ค่าเสียหายใดๆ ที่อาจมีผู้เรียกร้องหรือฟ้องร้องตามกฎหมายทุกประการ โดยไม่
เกี่ยวข้องกับกรพิจารณาตีพิมพ์บทความของกองบรรณาธิการหรือเจ้าของวารสาร
9. กรณียบทความที่มีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ผู้เขียนบทความทุกคนได้ลงชื่อยืนยันการเป็นผู้เขียนบทความ
โดยยอมรับและปฏิบัติตามเงื่อนไขของวารสารนี้ทุกประการ

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสาร รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
รวมทั้งไม่อยู่ระหว่างยื่นขอตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงใน สัปดาห์ : วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรในการนี้ข้าพเจ้าดำเนินการจัดพิมพ์ตามรูปแบบการเขียนบทความที่
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตาม
รายการตรวจสอบบทความ และข้าพเจ้าได้ส่งบทความในระบบ Online ที่
<http://research.kpru.ac.th/sendjournal/> เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้ส่งบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้ส่งบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้ส่งบทความ

- หมายเหตุ**
- 1.ถ้ามีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ขอให้ลงชื่อเป็นผู้ส่งบทความทุกคน
 - 2.บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือไม่ครบหรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ จะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/

แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร

“สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่ามีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

- เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ไม่ได้เป็นบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือการประชุมทางวิชาการอื่นๆ
- ไฟล์ที่ส่งได้จัดทำตามรูปแบบที่ระบุในคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ในรูปแบบของ

Word และใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK เท่านั้น

- รูปภาพประกอบเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .JPEG เท่านั้น

บทความวิชาการมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียน มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- เนื้อหา
- สรุป
- เอกสารอ้างอิง

บทความวิจัยมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- วิธีดำเนินการวิจัย
- ผลการวิจัย
- อภิปรายผล
- กิตติกรรมประกาศ
- เอกสารอ้างอิง

**แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
 ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี).....
2. สถานะภาพของผู้ส่งบทความ นักศึกษา
3. (สำหรับนักศึกษา) ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่.....เดือน.....พ.ศ.
4. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

 โทรศัพท์.....E-mail.....
5. ประเภทบทความ บทความวิจัย บทความวิชาการ
6. ชื่อบทความ
 (ภาษาไทย).....

 (ภาษาอังกฤษ).....

7. บทความฉบับนี้ไม่ได้คัดลอกผลงาน มิได้ละเมิดลิขสิทธิ์ และไม่ขัดต่อกฎหมายใดๆ ซึ่งผู้เขียนบทความเขียนโดย
 ใช้ความรู้ ความสามารถและการสังเคราะห์ของตนเอง
8. ผู้เขียนบทความยินยิตใจค่าเสียหายใดๆ ที่อาจมีผู้เรียกร้องหรือฟ้องร้องตามกฎหมายทุกประการ โดยไม่
 เกี่ยวข้องกับการพิจารณาตีพิมพ์บทความของกองบรรณาธิการหรือเจ้าของวารสาร
9. กรณีบทความที่มีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ผู้เขียนบทความทุกคนได้ลงชื่อยืนยันการเป็นผู้เขียนบทความ
 โดยยอมรับและปฏิบัติตามเงื่อนไขของวารสารนี้ทุกประการ
 ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสาร รายงานสืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการ
 รวมทั้งไม่อยู่ระหว่างยื่นขอตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในสัปดาห์ : วารสาร
 มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรในการนี้ข้าพเจ้าดำเนินการจัดพิมพ์ตามรูปแบบการเขียนบทความที่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตาม
 รายการตรวจสอบบทความและ ข้าพเจ้าได้ส่งบทความในระบบ Online ที่
<https://so05.tci-thaijo.org/index.php/tgt/index> เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ความคิดเห็นของประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
“พิจารณาบทความแล้วเห็นสมควรเผยแพร่ได้”

ลงชื่อ.....
(.....)
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ (ถ้ามี)

ลงชื่อ.....
(.....)

ลงชื่อ.....
(.....)

ลงชื่อ.....
(.....)

ผู้เขียนบทความ

- หมายเหตุ**
1. ถ้ามีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ขอให้ลงชื่อเป็นผู้ส่งบทความทุกคน
 2. บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือมีไม่ครบหรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ จะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/tgt/index>

แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร

“สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่า มีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

- ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ไฟล์ที่ส่งจะต้องทำตามรูปแบบที่ตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ใน

รูปแบบของ Word และใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK เท่านั้น

- รูปภาพประกอบต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .JPEG เท่านั้น

บทความวิจัย มีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- สังกัดผู้เขียนบทความภาษาไทย
- บทคัดย่อ (Abstract) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ (Keywords) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Statement of the Problem)
- วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objectives)
- สมมุติฐานการวิจัย (ถ้ามี) (Research Hypothesis)
- วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)
- สรุปผลการวิจัย (Conclusion)
- อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)
- ข้อเสนอแนะ (Suggestions)
- เอกสารอ้างอิง (References)

บทความวิชาการ มีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- สังกัดผู้เขียนบทความภาษาไทย
- บทคัดย่อ (Abstract) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ (Keywords) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ (Introduction)
- เนื้อหา (Content)
- สรุป (Conclusions)
- เอกสารอ้างอิง (References)

แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
 ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี).....
2. กำหนดการที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่.....เดือน.....พ.ศ.
3. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก
เลขที่.....ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....
รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....
E-mail.....
4. ประเภทบทความ บทความวิจัย บทความวิชาการ
5. ชื่อบทความ
(ภาษาไทย).....
.....
(ภาษาอังกฤษ).....
.....
7. บทความฉบับนี้มีได้คัดลอกผลงาน มิได้ละเมิดลิขสิทธิ์ และไม่ขัดต่อกฎหมายใดๆ ซึ่งผู้เขียนบทความเขียนโดย
ใช้ความรู้ ความสามารถและการสังเคราะห์ของตนเอง
8. ผู้เขียนบทความยินยิตซ์ดใช้ค่าเสียหายใดๆ ที่อาจมีผู้เรียกร้องหรือฟ้องร้องตามกฎหมายทุกประการ โดยไม่
เกี่ยวข้องกับการพิจารณาตีพิมพ์บทความของกองบรรณาธิการหรือเจ้าของวารสาร
9. กรณีบทความที่มีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ผู้เขียนบทความทุกคนได้ลงชื่อยืนยันการเป็นผู้เขียนบทความ
โดยยอมรับและปฏิบัติตามเงื่อนไขของวารสารนี้ทุกประการ
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลง
ในสัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ถือเป็น
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการนี้ข้าพเจ้าดำเนินการจัดพิมพ์ตามรูปแบบการเขียน
บทความที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
ตามรายการตรวจสอบบทความเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ความคิดเห็นของประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
“พิจารณาบทความแล้วเห็นสมควรเผยแพร่ได้”

ลงชื่อ.....
(.....)

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

- หมายเหตุ
1. ถ้ามีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ขอให้ลงชื่อเป็นผู้เขียนบทความทุกคน
 2. บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือมีไม่ครบฝ่ายจัดการวารสารจะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/

แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร

“สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่ามีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

- เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ไม่ได้เป็นบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือการประชุมทางวิชาการอื่นๆ
- ไฟล์ที่ส่งได้จัดทำตามรูปแบบที่ระบุในคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ในรูปแบบของ

Word และใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK เท่านั้น

- รูปภาพประกอบเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .JPEG เท่านั้น

บทความวิชาการมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียน มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- เนื้อหา
- สรุป
- เอกสารอ้างอิง

บทความวิจัยมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- วิธีดำเนินการวิจัย
- ผลการวิจัย
- อภิปรายผล
- กิตติกรรมประกาศ
- เอกสารอ้างอิง

แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์บทความเพื่อเผยแพร่ในวารสาร

สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้อมูลผู้ส่งบทความ

ชื่อ นางสาว/นาง/นาย

เบอร์โทร..... e-mail

ที่อยู่จัดส่งใบเสร็จรับเงิน เลขที่.....ตำบล.....อำเภอ.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....

2. ค่าดำเนินการตรวจประเมินบทความ บทความละ 4,500 บาท

3. ค่าสมัครสมาชิกวารสาร ปีละ 1,000 บาท

มีความประสงค์สมัครสมาชิก ไม่มีความประสงค์สมัครสมาชิก

4. การชำระเงิน

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคารกรุงไทย สาขาซากังราว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-60979-9

ชื่อบัญชี สังกัด : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

แจ้งหลักฐานการชำระเงินทางระบบส่งบทความ

ลงชื่อผู้ส่งบทความ.....

(.....)

...../...../.....

หมายเหตุ : กรณีบทความไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยี ทางกองบรรณาธิการจะไม่คืนค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ของท่าน

จริยธรรมในการตีพิมพ์ในวารสาร “สักทอง” (Publication Ethics)

การเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานสร้างสรรค์ในปัจจุบันมีหลายลักษณะ ซึ่งประกอบด้วย หนังสือ ตำรา เอกสารประกอบการสอน งานแปล บทความวิชาการ บทความวิจัย งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ งานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ งานประดิษฐ์หรืองานสร้างสรรค์ วารสาร “สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี” มุ่งมั่นที่จะรักษามาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์ (Publication Ethics) อย่างเคร่งครัด ดังนี้

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการและกองบรรณาธิการ (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมทั้งพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพ และทันสมัยอยู่เสมอ
2. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้พิมพ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และจะต้องไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจ และนำไปเป็นผลงานของตนเอง
3. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องปฏิบัติตามขั้นตอนการพิจารณาคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัด
4. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหา กับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนตีพิมพ์
5. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่แก้ไขผลการประเมินบทความของผู้ทรงคุณวุฒิ
6. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความ ผู้พิมพ์ และสังกัดของผู้พิมพ์
7. หากบรรณาธิการและกองบรรณาธิการตรวจสอบพบว่าบทความที่ตรวจพิจารณา มีการคัดลอกผลงาน บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องแจ้งให้ผู้พิมพ์ทราบทันที และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น
8. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้พิมพ์ ให้แก่บุคคลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง
9. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการจะไม่รับบทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว

บทบาทและหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลัก โดยพิจารณาบทความด้วยหลักการและเหตุผลทางวิชาการ โดยปราศจากอคติ และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาในการตรวจประเมินตามกรอบเวลาที่กำหนด และไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง
3. ผู้ทรงคุณวุฒิควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญโดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้นๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาผลประโยชน์จากบทความที่ตรวจประเมินโดยเด็ดขาด
5. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่ตรวจพิจารณา มีการคัดลอกผลงานจากที่อื่นๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบทันที หรือปฏิเสธบทความนั้น โดยการประเมินให้ “ไม่ผ่าน”

บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. บทความของผู้นิพนธ์ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
2. ชื่อผู้นิพนธ์ที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการเรียบเรียงบทความนี้จริง
3. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมาเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความของตนเอง ถ้าวารสารทราบว่าบทความของผู้นิพนธ์มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น ทางวารสารจะไม่ยอมรับตีพิมพ์ และให้เอาผิดจากผู้นิพนธ์ทุกประการ
4. ผู้นิพนธ์ต้องไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จในบทความ
5. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความให้ตรงตามรูปแบบที่วารสารกำหนดไว้ในคำแนะนำของวารสารอย่างถูกต้อง รวมทั้งต้องไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จในบทความ
6. ผู้นิพนธ์ต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำบทความไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่นๆ หลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว



ประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
เรื่อง การเรียกเก็บและการเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความในวารสาร
คำสมัครสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร พ.ศ. ๒๕๖๒

ตามที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีการจัดทำวารสารเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการในสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และสักทอง: วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการดังกล่าวเป็นไปด้วยความเรียบร้อย อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๑ แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ ประกอบกับข้อ ๕.๒ และข้อ ๖ แห่งข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรว่าด้วยการจัดบริการวิชาการและจัดการรายได้ พ.ศ. ๒๕๕๙ และที่แก้ไขเพิ่มเติม และมติที่ประชุมคณะกรรมการบริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ ๒/๒๕๖๒ เมื่อวันที่ ๑๒ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๒ จึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เรื่อง การเรียกเก็บและการเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความในวารสาร คำสมัครสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร พ.ศ. ๒๕๖๒”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ ๒๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๒ เป็นต้นไป

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

“มหาวิทยาลัย” หมายความว่า มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“อธิการบดี” หมายความว่า อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“สถาบันวิจัยและพัฒนา” หมายความว่า สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ

กำแพงเพชร

“วารสาร” หมายความว่า วารสารของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้แก่ สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ หรือสักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

“บุคลากรภายใน” หมายความว่า ข้าราชการพลเรือน พนักงานมหาวิทยาลัย พนักงานราชการ ลูกจ้างชั่วคราว สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และนักศึกษาซึ่งกำลังศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“บุคคลภายนอก” หมายความว่า บุคคลอื่นใดที่ไม่ได้สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“ผู้ทรงคุณวุฒิ” หมายความว่า ผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาอื่นๆ ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร

“สมาชิก” หมายความว่า บุคลากรภายในหรือบุคคลภายนอกที่สมัครเป็นสมาชิกวารสาร

ข้อ ๔ มหาวิทยาลัยเรียกเก็บเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ คำสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสารจากบุคลากรภายในและบุคคลภายนอก ดังนี้

๔.๑ ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความในวารสาร บทความละ ๔,๕๐๐ บาท

๔.๒ ค่าสมัครสมาชิกวารสาร ปีละ ๑,๐๐๐ บาท

๔.๓ ค่าเล่มวารสาร เล่มละ ๕๐๐ บาท

ข้อ ๕ เงินค่าธรรมเนียมที่เรียกเก็บจากการตีพิมพ์บทความ ค่าสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร จากบุคลากรภายในและบุคคลภายนอก ในข้อ ๔ ให้ดำเนินการดังนี้

๕.๑ ใช้ใบเสร็จเบ็ดเตล็ดของมหาวิทยาลัยเป็นใบเสร็จรับเงินที่เรียกเก็บตามประกาศนี้

๕.๒ นำเงินฝากธนาคารกรุงไทย สาขาซากังราว ในชื่อบัญชี สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ของมหาวิทยาลัย

๕.๓ เมื่อสิ้นปีงบประมาณหากมีเงินเหลือให้สมทบเป็นเงินรายได้เงินฝากถอนคืนวารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ของสถาบันวิจัยและพัฒนา

ข้อ ๖ สถาบันวิจัยและพัฒนาเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ ค่าสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร ในข้อ ๔ ดังนี้

๖.๑ จัดสรรเป็นเงินรายได้ประเภทเงินฝากถอนคืนของมหาวิทยาลัย ร้อยละ ๑๐

๖.๒ จัดสรรเป็นเงินรายได้ประเภทเงินฝากถอนคืนของสถาบันวิจัยและพัฒนา ไม่เกินร้อยละ ๑๐

๖.๓ ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจบทความ คนละ ๑,๐๐๐ บาท ต่อ ๑ บทความ

๖.๔ ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจบทความคัดย่อและบรรณานุกรมภาษาอังกฤษ บทความละ

๓๐๐ บาท

๖.๕ ค่าใช้สอยในการประชุมกองบรรณาธิการ ไม่เกินครั้งละ ๑,๐๐๐ บาท

๖.๖ ค่าใช้สอยในการจัดส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่เกินบทความละ ๒๐๐ บาท

การเบิกจ่ายเพื่อจัดสรรเป็นเงินรายได้ในข้อ ๖.๑ และ ๖.๒ ให้เป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่การเงินเป็นผู้เบิกจ่าย

ข้อ ๗ ค่าใช้จ่ายอื่นที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในข้อ ๖ ให้เบิกจ่ายตามระเบียบกระทรวงการคลัง หรือระเบียบมหาวิทยาลัย

ข้อ ๘ ให้อธิการบดีเป็นผู้รักษาการตามประกาศนี้ ในกรณีที่เกิดปัญหาจากการปฏิบัติตามประกาศนี้ ให้อธิการบดีมีอำนาจตีความและวินิจฉัยชี้ขาด การวินิจฉัยชี้ขาดของอธิการบดีถือเป็นที่สุด

ประกาศ ณ วันที่ ๒๑ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๒



(รองศาสตราจารย์สุวิทย์ วงษ์บุญมาก)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



<https://research.kpru.ac.th/>