



วารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal // ISSN 3027-7353 (Online)

Science and Technology

ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2567)

Volume 19 Number 1 (January - April 2024)



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีสารสนเทศ สู่นักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย เพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้าน หรือชุมชน แก่นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ได้เสนองานผลงานวิจัยสู่สาธารณะ
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีสารสนเทศ รวมไปถึงประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน

เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

กำหนดออกเผยแพร่

ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

คณะที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมบัติ คชสิทธิ์

รศ.ดร.อรสา จรุงธรรม

ผศ.ดร.ภัสกรดี กัลยาณมิตร

บรรณาธิการ

ผศ.ดร.บุญยง นิลแสง

รองบรรณาธิการ

ผศ.กุลชาติ พันธะกุล

คณะผู้จัดทำวารสารและเผยแพร่

ผศ.ดร.วีระวัฒน์ อุ่นแสนหา

อ.ดร.มนฤดี ช่างฉำ

นางวารุณี จันทพิง

น.ส.ปริยา ยอดจันทร์

นายชูศักดิ์ ชันธชาติ

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 2. รศ.ดร.ธีระชัย ธนาคันต์ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 3. รศ.ดร.สุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 4. รศ.ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 5. รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพชร | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |
| 6. รศ.ดร.ดวงใจ บุญกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี |
| 7. รศ.ดร.เจษฎา มิ่งฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2909 3036

E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th

Website: <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

ข้อความและบทความในวารสารนี้
เป็นความคิดเห็นของผู้นิพนธ์โดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหา
และข้อคิดเห็นอื่นๆ แต่อย่างใด

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal

Science and Technology

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่นักวิจัยและผู้สนใจทั่วไป และเพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน ซึ่งได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์อ้างอิงดัชนีวารสารไทย (TCI) โดยถูกจัดให้เป็น วารสารกลุ่มที่ 1 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน) ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม) ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม) สำหรับนักวิจัยที่มีความประสงค์จะส่งต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ สามารถส่งบทความวิจัยดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการได้โดยตรง ทั้งนี้บทความวิจัยที่เสนอขอตีพิมพ์จะต้องไม่เคยหรือได้อยู่ในระหว่างขอเสนอลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวจะต้องได้รับการอ่านและประเมินคุณภาพพร้อมได้รับความเห็นชอบให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ที่มาจากหลากหลายสถาบัน ของวารสารวิจัยและพัฒนาฯ จำนวน 3 ท่านก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อผู้นิพนธ์ และผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-blinded Review) บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรหรือมีการอ้างอิงอย่างถูกต้องชัดเจน โดยเนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ เป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์บทความวิจัยเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ปัจจุบันวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน 2567) ฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 12 เรื่อง เผยแพร่ผ่าน 2 ช่องทาง ได้แก่ เว็บไซต์ <http://rd.vru.ac.th> และเว็บไซต์ <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

ระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ	1
พิมรินทร์ ศิริรินทร์ เสกสรรค์ ศิริวิสัย อรุมา พรีโมต	
การจำแนกขนาดแก้วมังกรสายพันธุ์ชาวเวียดนามด้วยภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน	15
สันติภาพ สัตย์ธรรมรังษี อรุมา พรีโมต	
การเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานสที่สกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้าน	31
มานะ ขาวเมฆ ปรานอม ขาวเมฆ	
การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับกล้องวงจรปิดด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมการณศึกษาพื้นที่เกษตรสวนมังคุด จังหวัดนครศรีธรรมราช	47
อรุณรักษ์ ตันพานิช คชาวุธ ชุมขวัญ ศุภกร แก้วละเอียด อรสา มั่งสกุล	
การพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนโดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย	63
ภัชราภรณ์ พิมพา ญัฐพร เท็นเจริญเลิศ นิติเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน	
การดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกและเมล็ดมะขาม	77
เอี่ยมพร รัตนสิงห์ โชคชัย แจ่มอำพร อภิชาติ จินแพทย	
การพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่งสำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ	93
ชัยวิชิต ไพรินทราภา	
การใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินทรายจัดเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในตำบลทับพริกอำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว	109
รัตชล อ่างมณี	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ	125
อารี น้อยสำราญ ศจีมาศ นันตสุคนธ์	
ถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านไม้โก่งกาที่ใช้ในการย่างไก่	139
วราพร พิงพรม สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ อภิรดี ศรีโอภาส กุณฑลีย์ บังคะดานรา	
สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์	
การศึกษาสมรรถนะเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สำหรับเกษตรกรฐานรากในครัวเรือน	151
ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล อาทิตย์ คำต่าย	
การผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปยาผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	167
ธนากร เมียงอารมณ์ ธิติมา เกตุแก้ว	

ระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT

โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ

พิมรินทร์ คีรินทร์^{1*} เสกสรรค์ ศิวาลัย² อรอุมา พรำโมต³

Received : March 4, 2023

Revised : October 19, 2023

Accepted : November 14, 2023

บทคัดย่อ

ระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพการทำงานของระบบใช้แหล่งพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กจ่ายไฟฟ้าไปยังบอร์ด NB-IoT เพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ จำนวน 6 ค่า ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ น้ำ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความขุ่นใส และระดับน้ำ การจัดเก็บข้อมูลส่งค่าผ่านระบบ AIS Magellan แสดงผลคุณภาพน้ำผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันและสามารถเรียกดูผลย้อนหลัง อีกทั้งยังแจ้งผลการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำประจำวันผ่านทาง LINE Notify ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบใช้วิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างการตรวจวัดค่าระหว่างระบบที่พัฒนากับผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ค่าทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

ผลจากการวิจัยพบว่า ระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพสามารถตรวจวัดและแสดงผลได้ ประเมินประสิทธิภาพของระบบเมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และจากการทดสอบใช้งานจริงพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นแนวทางการประเมินเบื้องต้นได้ ซึ่งมีความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบมีค่าเท่ากับ 4.46 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ เลี้ยงปลาในกระชัง อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
อีเมล: k.song@psru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
อีเมล: sakesan@psru.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
อีเมล: onbee@psru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: k.song@psru.ac.th

SYSTEM FOR MONITORING QUALITY OF FISH FARMING IN CAGES USING PHYSICAL INDICATORS WITH NB-IOT TECHNOLOGY

Phimmarin Keerin^{1*} Sakesan Sivilai² On-Uma Pramote³

Abstract

The purpose of this research was to develop a water quality monitoring system for fish cage farming using NB-IoT technology using physical indicators. This system uses power from a small solar panel to supply electricity to the NB-IoT board to measure values from 6 water quality sensors: Temperature, pH, Conductivity (EC), Dissolved Oxygen (DO), Turbidity and Water Level. This data collection results on the AIS Magellan system to display water quality results in a web application and can view past water quality results. It also notifies the results of daily water quality notifications to Line Notify. Evaluation of the system performance is done by comparing the measurement differences between the developed system and the expert using the one-way ANOVA test and studying the user satisfaction of the system.

The result of the research shows that the developed system can measure and report results. The performance evaluation result showed that the comparison between this system and the expert was not statistically significant at the .05 level and the practical test showed that the developed system could be used as a preliminary evaluation guideline. The satisfaction of the users of the system was equal to 4.46, which was at a high level.

Keywords: Water quality, Fish cage farming, IoT

¹ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, e-mail: k.song@psru.ac.th

² Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, e-mail: sakesan@psru.ac.th

³ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, e-mail: onbee@psru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: k.song@psru.ac.th

บทนำ

การตรวจวัดคุณภาพน้ำเป็นการติดตามและตรวจสอบคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญต่อการเฝ้าระวังสำหรับเกษตรกรเลี้ยงปลาในกระชัง การเลี้ยงปลาในลักษณะพื้นที่ปิดหรือเลี้ยงในกระชัง เป็นอาชีพที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสำคัญ ๆ ทั่วประเทศ เพราะมีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนริมน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับวิถีชีวิตในพื้นที่ลุ่มน้ำและสภาพเศรษฐกิจแบบเกษตรกรรมในครัวเรือน ในปี พ.ศ. 2563 ประมงจังหวัดพิษณุโลกให้ข้อมูลว่าเกษตรกรที่ประกอบอาชีพทางด้านการประมงภายในจังหวัดพิษณุโลก มีการเลี้ยงปลาอยู่ในบ่อดินและกระชังในแม่น้ำ ซึ่งการเลี้ยงเชิงพาณิชย์จะเน้นเลี้ยงภายในกระชังเป็นหลัก โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงที่ขึ้นทะเบียนทั้งจังหวัด มีอยู่ประมาณ 8,000 กว่าราย (สำนักงานประมงจังหวัดพิษณุโลก, 2564) โดยการเลี้ยงปลาในกระชังส่วนใหญ่ของเกษตรกรได้รับการส่งเสริมให้มีการเลี้ยงแบบพัฒนา คือการเลี้ยงในกระชังแบบหนาแน่นด้วยอาหารสำเร็จรูป เพื่อความสะดวกทางด้านอาหารที่ใช้เลี้ยงได้รับผลตอบแทนที่ดี ใช้ระยะเวลาการเลี้ยงสั้น

การเลี้ยงปลาในกระชังเป็นรูปแบบการเลี้ยงปลาที่ให้ผลผลิตสูงและลงทุนต่ำกว่าการเลี้ยงรูปแบบอื่น ซึ่งทำเลในการเลี้ยงมีหลายประเภท เช่น หนอง บึง ลำคลอง และแม่น้ำ การเลือกทำเลที่เหมาะสมมีส่วนช่วยให้เกิดผลสำเร็จในการเลี้ยงสูง สิ่งสำคัญที่ใช้ในการเลือกทำเล ได้แก่ การถ่ายเทของกระแสน้ำ ลักษณะของพื้น ท้องน้ำและความลึก คุณภาพของน้ำ และความห่างไกลจากสิ่งรบกวน ด้วยเหตุนี้ทำให้ตามลุ่มแม่น้ำสำคัญของประเทศไทย กลายเป็นทำเลที่ได้รับความนิยมต่อการเลี้ยงปลาในกระชังสูงขึ้น การเลี้ยงปลาในแม่น้ำทำให้ทรัพยากรน้ำเป็นสิ่งสำคัญและอาจเกิดปัญหาจากน้ำในแม่น้ำได้ดังนี้ แม่น้ำที่ไหลผ่านชุมชนอาจมีน้ำเสียถูกระบายลงมา หากแม่น้ำไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรม น้ำอาจได้รับการปนเปื้อนจากสารเคมีที่มาจากการฉีดพ่น ยาฆ่าแมลง ซึ่งทั้งสองอย่างส่งผลให้คุณภาพของน้ำอยู่ในระดับเสื่อมโทรม ระดับความลึกของแม่น้ำส่งผลกับการเลี้ยงในแง่การถ่ายเทน้ำเหมือนเป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ระดับน้ำในแม่น้ำแบ่งได้ 2 แบบ คือ กรณีน้ำขึ้นสูงหรือช่วงฤดูฝนปริมาณน้ำมาก ปลาอาจหลุดออกจากกระชัง หรือมีปลาในแม่น้ำเข้าไปในกระชังแล้วสร้างความเสียหายต่อปลาที่เลี้ยงอยู่ กรณีน้ำลดในช่วงฤดูร้อน อาจทำให้ปลาตายเพราะขาดน้ำ (นฤมล นาคมี และคณะ, 2560) ซึ่งปัจจุบันผู้เลี้ยงปลาต้องอาศัยข้อมูลระดับน้ำจากหน่วยงานภาครัฐ ที่วัดระดับน้ำจากจุดที่กำหนดไม่ใช่บริเวณเลี้ยงปลาโดยตรง การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลส่งผลต่อการตายของปลา ได้แก่ ฤดูร้อนเป็นฤดูฝน ปลาตายจากการขาดออกซิเจน (ปลาน็อกน้ำ) ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิที่เย็นลง ดังนั้นปัจจัยของน้ำที่ส่งผลต่อปลา คือ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดต่าง ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ความขุ่นใส และระดับน้ำ โดยในปัจจุบันผู้เลี้ยงปลาใช้วิธีการสังเกตอาศัยประสบการณ์ของตนเองและข้อมูลจากกลุ่มผู้เลี้ยงด้วยกัน ทั้งนี้การจะทราบคุณภาพน้ำต้องเก็บตัวอย่างและส่งตรวจที่ห้องแล็บซึ่งใช้เวลาพอสมควรกว่าจะทราบผล ทำให้ไม่ทันต่อเหตุการณ์จริงเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายแก้ไขไม่ทัน เพื่อการคงผลผลิตในการเลี้ยงปลา จำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพน้ำ

(Mamun et al., 2019) โดยการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำใช้วิธีการส่งคนออกไปเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการซึ่งต้องใช้เวลาและกำลังคน จึงทำให้การเก็บข้อมูลทั้งระยะเวลานานในการกลับไปเก็บตัวอย่างน้ำยังจุดเดิม ซึ่งคุณภาพน้ำอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายสูง

ในปัจจุบันอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) (Thongleam et al., 2014) ได้นำมาใช้ในสภาพแวดล้อมอันประกอบด้วยสรรพสิ่งที่สามารถสื่อสารและเชื่อมต่อกันได้ผ่านช่องทางการสื่อสารทั้งแบบใช้สายและไร้สาย โดยใช้หลักการเซนเซอร์ขนาดเล็ก ในการรับรู้บริบทของสิ่งแวดล้อมได้ และมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบและทำงานร่วมกันได้ เทคโนโลยีเซนเซอร์มีความก้าวหน้ามากขึ้น มีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเซนเซอร์มาตรวจวัดคุณภาพน้ำและสามารถตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของสิ่งแวดล้อม เช่น การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยใช้ IoT เพื่อติดตามคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน (พรwana รัตนชูโชค, 2562) และระบบติดตามและประเมินคุณภาพน้ำบนพื้นฐาน IoT (จันทนา ปัญญาวราภรณ์ และคณะ, 2564) โดยมีความสามารถในการเก็บข้อมูลร่วมเซนเซอร์แต่ละตัวทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายและสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อสื่อสารและส่งข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทำงานได้ด้วยตัวเอง

ดังนั้น คณะวิจัยมีแนวคิดประยุกต์เทคโนโลยี NB-IoT มาใช้เพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง โดยเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นตามดัชนีวัดทางกายภาพ หากค่าเบื้องต้นเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงถึงคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะส่งเข้าไปในระบบคลาวด์เพื่อบันทึกลงในฐานข้อมูล เพื่อนำมาสร้างระบบสารสนเทศแสดงผลการวัดคุณภาพน้ำในชุมชนให้กับเกษตรกรและประชาชนในพื้นที่ได้ทราบถึงคุณภาพน้ำในชุมชน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับติดตามและตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลา
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบผลการวัดคุณภาพน้ำที่ได้จากระบบกับผลการวัดคุณภาพน้ำที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตของการวิจัย

1.1 พัฒนาระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังที่มีสภาพแวดล้อมทางกายภาพเขตจังหวัดพิษณุโลก (พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก และเดชา นาวานุเคราะห์, 2556) ซึ่งกระชังเลี้ยงที่มีอยู่ในพื้นที่

ประเภทของสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลานิล ปลาตะบิม โดยกระชังที่ทดลองอยู่ลำน้ำน่าน บริเวณในการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ในกระชังส่วนหน้า

1.2 ตรวจสอบคุณภาพน้ำตามดัชนีทางกายภาพ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความขุ่นใส ค่าการนำไฟฟ้า และระดับน้ำ

1.3 ระบบติดตามคุณภาพน้ำและรายละเอียดทั้งปัจจุบันและย้อนหลังเป็นกราฟผ่านทางเว็บไซต์ รวมทั้งแจ้งเตือนผ่านระบบ LINE notify

1.4 ประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบผลการวัดคุณภาพระบบติดตามคุณภาพน้ำกับผู้เชี่ยวชาญ

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างต้นแบบอุปกรณ์ติดตามและตรวจสอบคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง จังหวัดพิษณุโลก โดยสำรวจพื้นที่เลี้ยงปลาในกระชังในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำน่าน โดยเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในประเด็นคุณภาพน้ำ รูปแบบการเลี้ยง และปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้ระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาโดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพด้วยเทคโนโลยี IoT ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งมีขั้นตอน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) ศึกษาข้อมูลและสำรวจพื้นที่

- ศึกษามาตรฐานคุณภาพน้ำตามประกาศของกรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและข้อมูลการเลี้ยงปลาในกระชังจากสำนักงานประมงจังหวัดพิษณุโลก

- ศึกษาคุณลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคุณภาพน้ำโดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดค่าดัชนีทางกายภาพ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าความนำไฟฟ้า (EC) ออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ค่าความขุ่นใส (Turbidity) และ ระดับน้ำ (Water level)

- สำรวจพื้นที่การเลี้ยงปลาในกระชังและรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในกระชังในแม่น้ำน่าน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลกเป็นพื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบในการศึกษาวิจัย โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา มีลักษณะพื้นที่เลี้ยงมากกว่า 1,000 ตร.ม. กระชังปลาขนาด 3 x 3 ม.วางเรียงสองแถวต่อเนื่องเป็นแนวยาวตามแนวชายฝั่ง ชนิดปลาที่เลี้ยงมากกว่าร้อยละ 90 เป็นสายพันธุ์ปลาตะบิม โดยให้อาหารชนิดเม็ด วันละ 3-4 ครั้ง



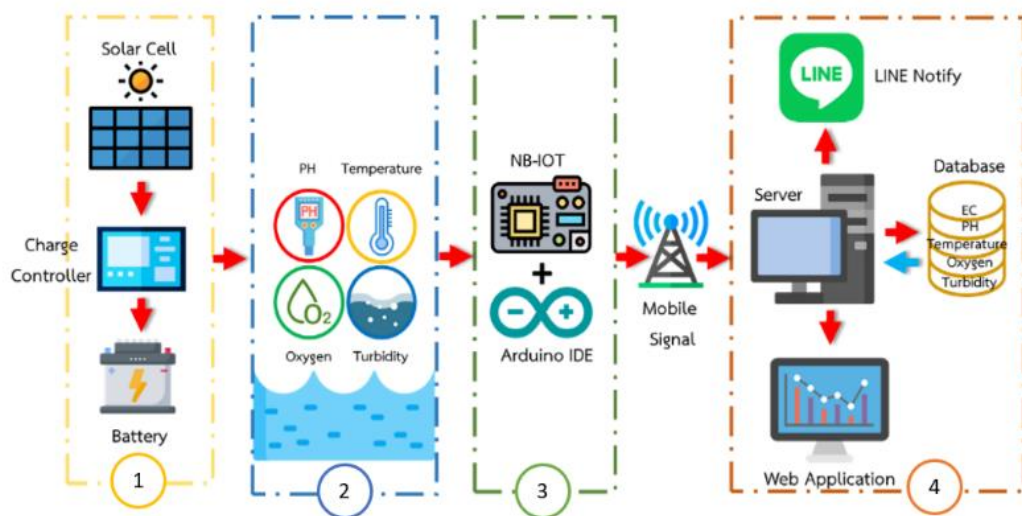
ภาพที่ 1 สำรวจพื้นที่กระชังปลาในลุ่มแม่น้ำ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง	
ค่าอุณหภูมิน้ำ (Temperature)	23 - 32 °C
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	6.5 - 8.5
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	ไม่ต่ำกว่า 5.0 mg/L
ค่าความนำไฟฟ้า (EC)	132.6 – 170.1 ms/cm
ค่าความขุ่นใส (Turbidity)	40 - 80 cm
ค่าความสูงของน้ำ (Water Level)	-

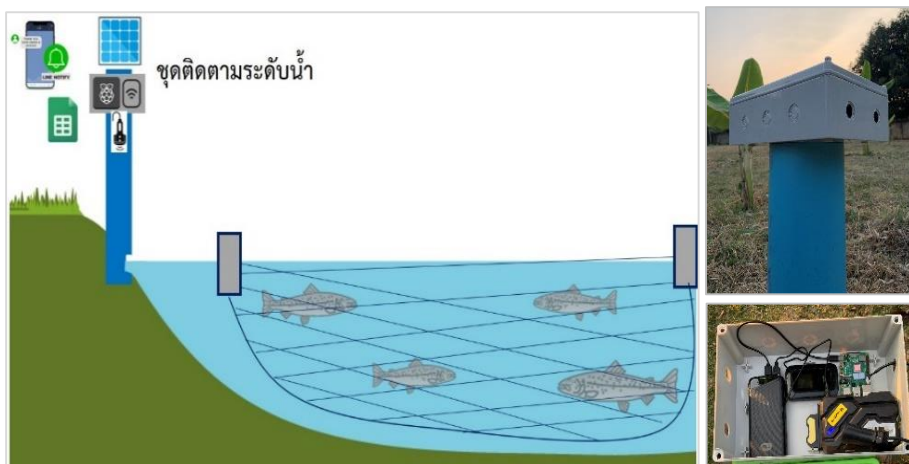
2) ออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์

- ออกแบบระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ



ภาพที่ 2 ออกแบบระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังโดยดัชนีชี้วัดทางกายภาพ

- ออกแบบระบบติดตามระดับน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง

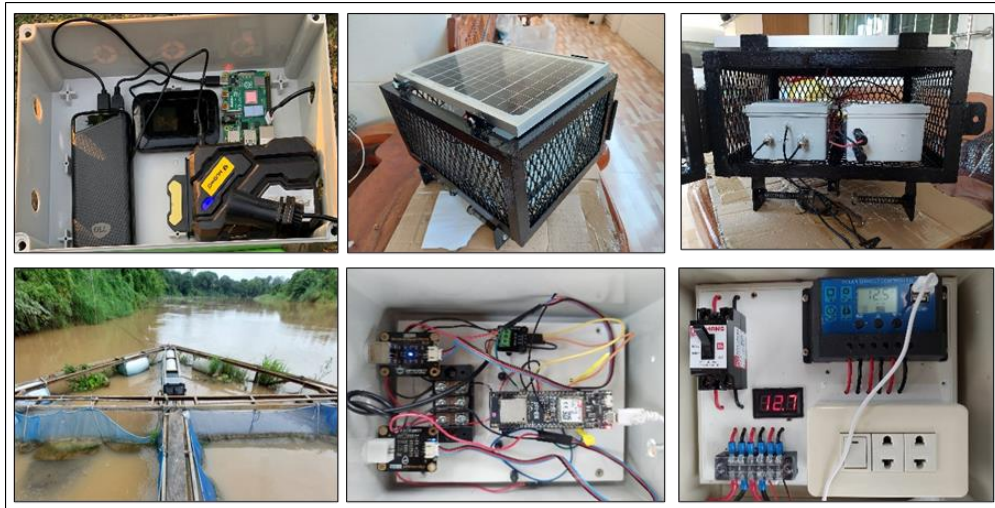


ภาพที่ 3 การออกแบบการพัฒนา ระบบติดตามระดับน้ำ

จากภาพที่ 2-3 งานวิจัยนี้ได้แบ่งอุปกรณ์ต้นแบบ 2 ชิ้น ได้แก่ ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ และ ระบบติดตามระดับน้ำ โดยรายละเอียดของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ มีองค์ประกอบของระบบออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) ส่วนของโซล่าเซลล์สำหรับผลิตพลังงาน ขนาด 20 โวลต์ แล้วส่งผ่าน Charge controller เพื่อจัดเก็บในแบตเตอรี่ (2) ส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ (3) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ DEVIO NB-DECKIT I ในการเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่าย AIS magellan ในการรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ และ (4) ส่วนระบบแสดงผลคุณภาพน้ำในลักษณะเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งประกอบด้วยฐานข้อมูล Google sheets สำหรับเก็บข้อมูลเขียนโปรแกรมด้วยภาษา PHP และระบบแจ้งเตือนข้อมูลคุณภาพน้ำแบบอัตโนมัติผ่าน LINE notify ในส่วนของระบบติดตามระดับน้ำ มีองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ (1) ส่วนฮาร์ดแวร์ที่มี ท่อ PVC อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าโซล่าเซลล์ พัดลมดูดความร้อน ตัวปล่อยสัญญาณอินเทอร์เน็ทแบบพกพา และบอร์ด Raspberry Pi ร่วมกับเซนเซอร์ Ultrasonic ใช้วัดระดับความสูงของน้ำ (2) ส่วนซอฟต์แวร์ที่ใช้แจ้งรับข้อมูลจากเซนเซอร์และแสดงผลไปยังแอปพลิเคชันที่กำหนด

3) พัฒนาด้านแบบสำหรับระบบติดตามคุณภาพน้ำ

- พัฒนาด้านแบบสำหรับเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง จากภาพที่ 2 คณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบติดตามคุณภาพน้ำ โดยนำเทคโนโลยี Narrow Band Internet of Thing (NB-IoT) ที่รองรับการสื่อสารระยะไกลของอุปกรณ์ IoT มาใช้งานร่วมกับ DEVIO NB-DECKIT I เพื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำ โดยการวัดเก็บข้อมูลส่งค่าผ่านระบบ AIS magellan และใช้บริการคลาวด์ AIS magellan เพื่อส่งผลไปแสดงที่เว็บได้ โดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ขนาดเล็ก



ภาพที่ 4 ต้นแบบอุปกรณ์สำหรับติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง

- พัฒนาด้านแบบเครื่องติดตามระดับน้ำ (Water level) โดยใช้บอร์ด Raspberry Pi ร่วมกับเซนเซอร์ Ultrasonic ในการรับข้อมูลระยะทางระหว่างน้ำกับตัวเซนเซอร์ โดยอุปกรณ์การวัดจะถูกตั้งอยู่ด้านบนของท่อ PVC สูง 3 เมตร กว้าง 5 นิ้ว และเจาะรูให้น้ำเข้าตรงด้านล่างของท่อ เซนเซอร์ Ultrasonic จะส่งข้อมูลด้วยระบบเครือข่ายที่ได้จากตัวปล่อยสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบพกพาไปเก็บที่ฐานข้อมูล Google sheets และแจ้งผลผ่านระบบ Line notify เพื่อให้ทำงานได้ต่อเนื่องได้ติดตั้งเครื่องสำรองไฟให้บอร์ดและเซนเซอร์ รวมทั้งใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อระบายความร้อนของบอร์ดโดยเชื่อมต่อกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ทำงานได้ต่อเนื่อง

4) ประเมินประสิทธิภาพ

ประเมินประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำกับผู้เชี่ยวชาญด้วยเครื่องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สถานที่ วัน เวลา เดียวกันในระหว่างการตรวจสอบ และได้นำข้อมูลไปทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) เพื่อหานัยสำคัญในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการวัดคุณภาพน้ำจากเซนเซอร์ในระบบกับผลจากผู้เชี่ยวชาญ

หลังจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบ จึงได้นำอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นไปทดสอบการใช้งานในสถานที่จริง ใช้ระยะเวลาในการทดสอบประมาณ 3 เดือน ช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2565 ในพื้นที่ตำบลจอมทอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จึงทำการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบ และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จากกลุ่มผู้เลี้ยงปลาในกระชัง จำนวน 30 ท่าน โดยใช้แบบสอบถามเพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อระบบ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพของการทำงานระบบ ด้านประสิทธิภาพการแสดงผลข้อมูล ด้านความง่ายต่อการใช้งาน และด้านการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ โดยคณะผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) แบบลิเคิร์ต (Likert scale) ซึ่งใช้เกณฑ์ 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง

น้อย และน้อยที่สุด ในส่วนของการแปลความหมายของคะแนน ใช้สถิติการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เกณฑ์ความหมายค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การพัฒนาระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ มีผลการวิจัยดังนี้

1) ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์เซนเซอร์ในระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดค่าคุณภาพน้ำและค่าที่ตรวจวัดได้จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ครั้ง ซึ่งมีค่าดัชนีวัดจำนวน 6 ค่า ซึ่งควบคุมปัจจัยด้านวัน เวลาและสถานที่แบบเดียวกัน เมื่อนำค่าคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 แหล่งมาวิเคราะห์ โดยใช้ทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) เพื่อหาค่านัยสำคัญในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญและเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลการวัดคุณภาพน้ำที่ได้จากระบบกับผู้เชี่ยวชาญและความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ของเซนเซอร์

Sensor	ผลเปรียบเทียบ	Sig
อุณหภูมิของน้ำ (Temperature)	Lab: 27.35 Sensor: 28.22	.118
ความเป็นกรดต่าง (pH)	Lab: 7.62 Sensor: 7.90	.115
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	Lab: 6.61 Sensor: 6.17	.891
ความนำไฟฟ้า (EC)	Lab: 168.20 Sensor: 172.90	.542
ความขุ่นใส (Turbidity)	Lab: 53.10 Sensor: 53.71	.099
ระดับน้ำ (Water Level)	Lab: 91.94 Sensor: 91.74	.987

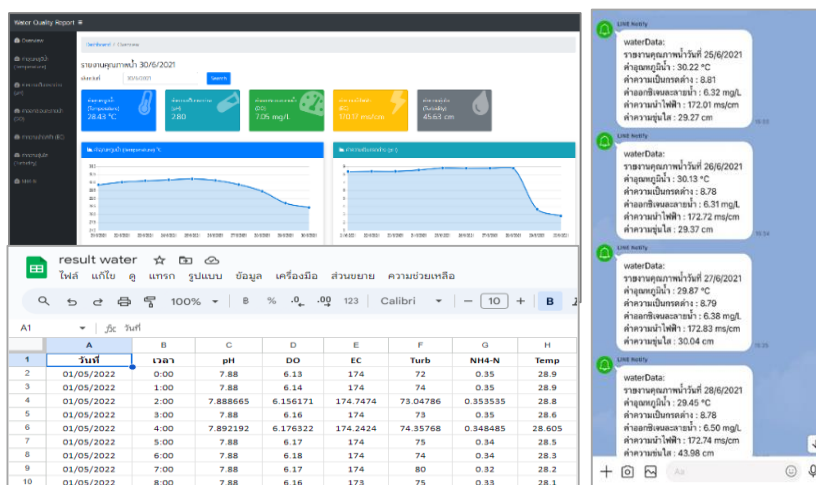
พบว่า การตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำระหว่างผู้เชี่ยวชาญและเซนเซอร์ในระบบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ในระบบการตรวจวัดคุณภาพที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้เทียบเท่ากับผู้เชี่ยวชาญ

2) ผลการพัฒนาระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT

ผลการพัฒนาระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT สามารถส่งข้อมูลคุณภาพน้ำจากเซนเซอร์ในระบบได้ ในทุก ๆ 1 ชั่วโมง รวมทั้ง วัน เวลา เพื่อจัดเก็บในฐานข้อมูลที่กำหนดไว้ได้ โดยผ่าน AIS magellan แล้วรายงานผลภาพผ่านเว็บแอปพลิเคชันและแจ้งเตือนผ่าน LINE notify ซึ่งในการติดตั้งการใช้งานระบบได้นำระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ในส่วนอุปกรณ์ติดตามระดับน้ำติดตั้งที่ตลิ่งแม่น้ำเพื่อตรวจสอบความสูงจากตลิ่งกับระดับน้ำ เพราะความสูงของตลิ่งกับกระชังปลามีความสูงค่อนข้างมาก ในช่วงน้ำล้น เมื่อได้ค่าวัดระยะระหว่างตลิ่งและระดับน้ำจากเซนเซอร์ ค่าจะถูกจัดเก็บไว้ที่ Google sheets และรายงานผลทาง LINE notify เช่นกัน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง



ภาพที่ 6 รายงานผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน, Google sheets และแจ้งเตือนผ่าน LINE notify

จากภาพที่ 6 เป็นการแสดงผลรายงานหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ในส่วนรายงานผลติดตามคุณภาพน้ำรายวันตามเวลาจริงจากฐานข้อมูล Google sheets และสามารถดูผลย้อนหลังได้จากกราฟที่ปรากฏในหน้าจอ หรือสามารถเลือกช่วงเวลาที่ต้องการได้ และเพื่อให้เกิดความสะดวกในการดูข้อมูลคุณภาพน้ำ เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาสามารถเข้ากลุ่มเพื่อรับข้อมูลการแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือได้ทันทีผ่านแอปพลิเคชันไลน์ (LINE) ซึ่งแจ้งเตือนได้ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

3) ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ จำนวน 30 คน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ (1) ด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบ (2) ด้านประสิทธิภาพของระบบ (3) ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ และ (4) ด้านความปลอดภัยของข้อมูลของระบบ ซึ่งผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

ลำดับ	ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1	ด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบ	4.53	0.62	มากที่สุด
2	ด้านประสิทธิภาพของระบบ	4.46	0.63	มาก
3	ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.56	0.63	มากที่สุด
4	ด้านความปลอดภัยของข้อมูลของระบบ	4.32	0.70	มาก
เฉลี่ยรวม		4.46	0.65	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบมีค่าเท่ากับ 4.56 ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.63 ความพึงพอใจด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้รับจากระบบ เท่ากับ 4.46 อยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.62 ความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพของระบบ เท่ากับ 4.46 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 และความพึงพอใจด้านความปลอดภัยของข้อมูลของระบบ เท่ากับ 4.32 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.70 จึงสรุปได้ว่าผู้ใช้งานระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ มีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก 4.46 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.65

สรุป

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับติดตามและตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชังด้วยเทคโนโลยี NB-IoT โดยใช้ดัชนีวัดทางกายภาพ และมีเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทั้งหมด 6 ค่าได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าความนำไฟฟ้า (EC) ออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และค่าความขุ่นใส (Turbidity) และระดับน้ำ (Water level) โดยก่อนนำไปใช้งานได้มีการทดสอบเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ จากการทดสอบพบว่า ผลจากเซนเซอร์ในระบบและผู้เชี่ยวชาญ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ในระบบการตรวจวัดคุณภาพที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้เทียบเท่ากับผู้เชี่ยวชาญ เมื่อติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบระบบสามารถตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำและส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติได้ตามระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้และสามารถรายงานข้อมูลตามเวลาจริงหรือย้อนหลังได้ผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันได้ พร้อมทั้งแจ้งผลการตรวจวัดผ่านระบบ LINE notify ไปยังกลุ่มผู้ใช้งานได้ ทำให้สามารถหาแนวทางป้องกัน กรณีที่อาจเกิดผลกระทบต่อปลาในกระชัง เช่น อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงกะทันหัน ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงมากจากการเปิด-ปิดน้ำจากเขื่อน ทำให้เกษตรกรสามารถงดให้อาหารปลาเพื่อลดการตายของปลาที่ขึ้นมากินอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชิตชัย แก้วตาและคณะ, 2561), (สาธิต บ้านใหม่ และคณะ, 2565) และงานวิจัยของ (พรวนา รัตนชูโชค, 2562) ที่ได้นำเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ในการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำและรายงานผลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อีกทั้งผลการนำเทคโนโลยี NB-IoT มาใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จิรเดช ศรีพรงาม, 2563) ซึ่งได้นำระบบ NB-IoT มาประยุกต์ใช้งานในการส่งสัญญาณผ่านระบบ AIS magellan และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mamun et al., 2019; Thongleam, 2014) ในการติดตามคุณภาพน้ำตามตัวชี้วัดทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อการใช้สิ่งแวดล้อมมาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันเหตุที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งหลังจากการติดตั้งระบบติดตามคุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการใช้งานระบบติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาในกระชัง หากอยู่ในช่วงฤดูฝนหรือปริมาณน้ำขึ้นสูงจะส่งต่อการอ่านค่าของเซนเซอร์ไม่ต่อเนื่อง จำเป็นต้องปิด-เปิดเครื่องใหม่และทำความสะอาดเซนเซอร์บ่อยครั้งกว่าช่วงเวลาปกติ และหากสภาพอากาศปิด เช่น ฝนตกติดต่อกันหลายวัน ส่งผลทำให้ระบบโซลาร์เซลล์ไม่สามารถเก็บพลังงานได้เพียงพอต่อการใช้งานของระบบได้ รวมทั้งการเลือกใช้เซนเซอร์ตรวจวัดระยะให้มีช่วงวัดได้มากขึ้น เพราะความสูงของตลิ่งแม่น้ำมีความสูงค่อนข้างมากในช่วงฤดูร้อน หรือเพิ่มเซนเซอร์วัดความเร็วของกระแสน้ำ เพื่อช่วยทำนายความสูงของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ จังหวัดพิษณุโลกที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. สุขสมาน สังโยคะ ที่สนับสนุนในการทำผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ จากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม และ ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำปรึกษา เสนอแนวคิด คำแนะนำจนสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2553). **คู่มือการเลี้ยงปลาในกระชังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม**. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.
- ชัดชัย แก้วตา, ชัชวาล ชันติเคนชาติ, และยุทธศักดิ์ ทองแสน. (2561). การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำผ่าน ระบบเครือข่ายระยะไกลแบบอัตโนมัติ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**, 30(3), 73-89.
- จิรเดช ศรีพรงาม, สุธีรา พึ่งสวัสดิ์, ณัฐพร นันทจิระพงศ์, และศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล. (2563). แพลตฟอร์มการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือภายในโดยใช้เทคโนโลยี Narrowband-Internet of Thing (NB-IoT). **ว.วิทย์. เทคโนโลยี. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ**, 6(1), 27-37.
- จันทนา ปัญญารารณณ์, อีระพัฒน์ หายเคราะห์, ณัฐพล นิจชิน, และสวัญ กิจพาณิชยเจริญ. (2564). ระบบติดตามและประเมิน คุณภาพน้ำบนพื้นฐาน IoT. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: เทปสตรี I-TECH**, 16(2), 87-96.
- นฤมล นาคมี, อาริระ ภัคมาตร์, พิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวัต, เดชา งานนิกุลสิน, อนุภาพ ทิพย์นพคุณ, และสุขสมาน สังโยคะ. (2560). ผลกระทบจากการเลี้ยงปลาในกระชังต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก. **Life Sciences and Environment Journal**, 12(2), 18-31.
- พรwana รัตนชูโชค. (2562). การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยใช้ IoT เพื่อติดตามคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน. **วารสารศรีประทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 11, 78-92.
- พันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก และเดชา นาวานุเคราะห์. (2556). คุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่เลี้ยงปลากระชังในแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก. **แก่นเกษตร**, 41(4), 445-456.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2545). **การวิจัยเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์นพินิตา
- สาธิต บ้านใหม่, อุบลรัตน์ ศิริสุขโกศา, และ ไพศาล สิมาลาเตา. (2565). การพัฒนาต้นแบบระบบแจ้งเตือนระดับน้ำในแหล่งน้ำบน แผนที่ภูมิศาสตร์ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, วันที่ 7 – 8 กรกฎาคม 2565 รูปแบบออนไลน์. 841-851.

สำนักงานประมงจังหวัดพิษณุโลก. (2564). การขึ้นทะเบียนผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผู้ประกอบการด้านการ
ประมง. สืบค้นจาก <https://www4.fisheries.go.th/fpo-phitsanulok>

Thongleam, T., Cheunta, W., Dinsakul, H., & Charernpun, B. (2014). **Automatic Water
Quality Measurement and Processing for Krachang-Taptim Fish**. ECTI-CARD
Processings 2014, 21-23 May 2014 at Rajamangala University of Technology Lanna
Chiang Mai, 1-4.

Mamun, K. A., F. R. Islam, R. Haque, M. G. M. Khan, A. N. Prasad, H. Haqva, R. R. Mudliar., & F.
S. Mani. (2019). Smart Water Quality Monitoring System Design and KPIs Analysis:
Case Sites of Fiji Surface Water. **Sustainability**, 11(24), 7110.

**การจำแนกขนาดแก้วมังกรสายพันธุ์ชาวเวียดนามด้วยภาพถ่าย
โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน**

สันติภาพ สัตย์ธรรมรังษี¹ อรอุมา พราโมต^{2*}

Received : March 31, 2023

Revised : October 17, 2023

Accepted : November 17, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างโมเดลจำแนกขนาดแก้วมังกรสายพันธุ์ชาวเวียดนามจากภาพถ่ายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลที่พัฒนา วิธีการประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1) การได้มาซึ่งภาพ 2) การเตรียมข้อมูลภาพ ซึ่งใช้การประมวลผลภาพ การตัดรูปภาพ การเสริมภาพ 3) การสร้างโมเดลจำแนกขนาดแก้วมังกร และ 4) การวัดประสิทธิภาพของโมเดล ชุดข้อมูลสำหรับสร้างโมเดลได้จากกล้องดิจิทัลมิลเลอร์เลสโดยใช้แก้วมังกรสายพันธุ์ชาวเวียดนาม แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ขนาด 1 (คลาส 1) ขนาด 2 (คลาส 2) ขนาด 3 (คลาส 3) ขนาด 4 (คลาส 4) และขนาด 5 (คลาส 5) โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวน 400 ภาพ รวมทั้งสิ้น 2000 ภาพ ใช้เป็นข้อมูลสำหรับฝึกสอนโมเดล ร้อยละ 80 ได้ภาพ 1600 ภาพ ใช้เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบโมเดล ร้อยละ 20 ได้เป็น 400 ภาพ ภาพที่นำเข้ามา มีขนาดความกว้างและความสูง 256 พิกเซล ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเป็นโมเดลจำแนก โดยมีการเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันจำแนกขนาดมะม่วง และโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันจำแนกขนาดแอปเปิ้ล โดยข้อมูลชุดทดสอบให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 96 ค่าความระลึก ร้อยละ 99 ค่าความถูกต้องร้อยละ 96 และค่าเอฟ-1 สกอร์ร้อยละ 97

คำสำคัญ: การจำแนกภาพ การประมวลผลภาพ แก้วมังกร โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

อีเมล: santiphap.s@psru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

อีเมล: onbee@psru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: onbee@psru.ac.th

CLASSIFICATION OF VIETNAMESE WHITE DRAGON FRUIT SIZE USING IMAGE PROCESSING AND CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Santiphap Sattammgasri¹ On-Uma Pramote^{2*}

Abstract

The objectives of this research were twofold: 1) to create a model for classifying the size of Vietnamese white dragon fruit from photographs using a convolutional neural network, and 2) to evaluate the effectiveness of the developed model. The method comprises four main components: 1) image acquisition, 2) image data preparation, which involves image processing, cropping, and enhancement, 3) dragon fruit size classification modeling, and 4) measuring model performance. The dataset for modeling, obtained from mirrorless digital cameras capturing Vietnamese white dragon fruit, is divided into five groups: 000 (Class 1), 00 (Class 2), 0 (Class 3), 1 (Class 4), and 2 (Class 5). Each of these groups contains 400 images, resulting in a total of 2000 images. Among these, 80 percent, or 1600 images were used for model training while the remaining 20 percent, or 400 images were allocated for model testing. The images have a width and height of 256 pixels, and a convolutional neural network is employed as the classification model. This research was compared with mango size classification models and apple size classification models, evaluating model performance in terms of precision at 96 percent, recall at 99 percent, accuracy at 96 percent, and an F1-score of 97 percent, respectively.

Keywords: Image classification, Image processing, Dragon fruit, Convolutional neural network

¹ Student of Computer Science Program Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, e-mail: santiphap.s@psru.ac.th

² Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, e-mail: onbee@psru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: onbee@psru.ac.th

บทนำ

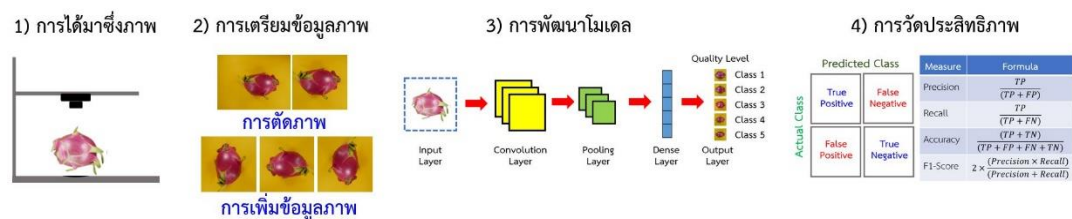
แก้วมังกรสายพันธุ์ขาวเวียดนามถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยนานกว่ากึ่งศตวรรษ และปลูกเป็นการค้าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย แก้วมังกรเป็นพืชที่ทนแล้งทนต่อโรคและแมลงเป็นผลไม้ที่ค่อนข้างปลอดสารพิษ ลักษณะของแก้วมังกร รูปร่างกลมรี เปลือกมีสีแดง อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นิยมนำมาทานสด ทานรวมกับผลไม้อื่น หรือนำไปปรุงอาหาร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) การปลูกแก้วมังกรเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรในพื้นที่ ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เมื่อผลแก้วมังกรสุกจนสามารถขายได้ เกษตรกรจะต้องตรวจสอบขนาดก่อนนำแก้วมังกรออกสู่ตลาด โดยแบ่งขนาดของแก้วมังกรออกเป็น 6 ขนาด ตามเกณฑ์กลาง (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2566) แต่ขนาดที่ 6 พบได้น้อยเกษตรกรไม่นิยมนำมาขาย คุณลักษณะที่ใช้ในการพิจารณาประกอบไปด้วยรูปร่าง น้ำหนัก และขนาด เกษตรกรจะใช้วิธีชั่งน้ำหนักผลแก้วมังกรทีละ 1 ลูก เพื่อไม่ให้ผลซ้ำ และต้องจำเกณฑ์ของขนาดเองเพื่อแยกผลแก้วมังกรซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการคัดแยกได้ ดังนั้นเกษตรกรผู้ซึ่งจะเป็นคนเดิมที่ทำหน้าที่นี้เพื่อให้เกิดความชำนาญ ปัจจุบันการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ด้านการเรียนรู้ของเครื่องมาช่วยงานด้านการเกษตรเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น เห็นได้จากการทำวิจัยในหลายลักษณะ ได้แก่ การทำนายผลสุก คุณภาพ และอายุของกล้วย (Aherwadi et al., 2022) การคัดความสดของผลไม้ (Fu et al., 2022) การคัดแยกรูปทรงของผลองุ่น (Momeny et al., 2020) การจำแนกคุณภาพมะม่วงโชคอนันต์ (นพรุจ พัฒนสาร และณัฐภูมิ ศรีวิบูลย์, 2563) และการจำแนกสีของผลมะเขือเทศ (โยชิตา คำบุญมี และคณะ, 2561) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้การเรียนรู้ของเครื่องมาคัดแยกขนาดได้แก่ การคัดแยกสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่ว (ทศพร แก้ววิจิตร และคณะ, 2562) การคัดขนาดมะเขือเทศ (de Luna et al., 2019) การคัดขนาดเนื้อมะพร้าวแห้ง (Poojitha et al., 2020) และการคัดขนาดพริก (Hendrawan et al., 2021) ซึ่งในแก้วมังกรก็มีงานวิจัยเช่นกัน ได้แก่ การคัดแยกความสุกของแก้วมังกรด้วยสี (Khisanudin & Murinto, 2020) การคัดแยกแก้วมังกรตามสายพันธุ์ (Yusamran & Hiransakolwong, 2022) จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่ายังไม่มีงานวิจัยในการคัดแยกขนาดของแก้วมังกรพันธุ์ขาวเวียดนามในไทย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการจำแนกขนาดแก้วมังกรสายพันธุ์ขาวเวียดนามด้วยภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน เพื่อช่วยเกษตรกรคัดขนาดแก้วมังกร ทั้ง 5 กลุ่ม ตามเกณฑ์ขนาดของแก้วมังกรพันธุ์ขาวเวียดนามในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยจำแนกขนาดมะม่วง ที่ใช้ภาพจำนวน 234 ภาพ แบ่ง 4 คลาส แต่ละคลาสภาพไม่เท่ากัน และงานวิจัยจำแนกขนาดของแอปเปิ้ล ที่ใช้ภาพจำนวน 36000 ภาพ มี 3 คลาส แต่ละคลาสเท่ากัน โดยงานวิจัยทั้งคู่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันในการคัดแยกและทำการปรับขนาดภาพข้อมูลนำเข้าจากสีเหลี่ยมผืนผ้าเป็นสีเหลี่ยมจัตุรัสโดยวิธีปรับขนาดภาพ ซึ่งงานจำแนกขนาดแอปเปิ้ลมีการเพิ่มข้อมูลภาพด้วยการปรับเป็นสี่ระดับเทา หมุนภาพ และเพิ่มลดความสว่างให้ภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างโมเดลจำแนกขนาดแก้วมังกรสายพันธุ์ชาวเวียดนามจากภาพถ่ายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลที่พัฒนา

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินการ 4 ส่วน ดังนี้ การได้มาซึ่งภาพ การเตรียมข้อมูลภาพ การพัฒนาโมเดล และการวัดประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 ภาพรวมของระบบการจำแนกขนาดแก้วมังกร

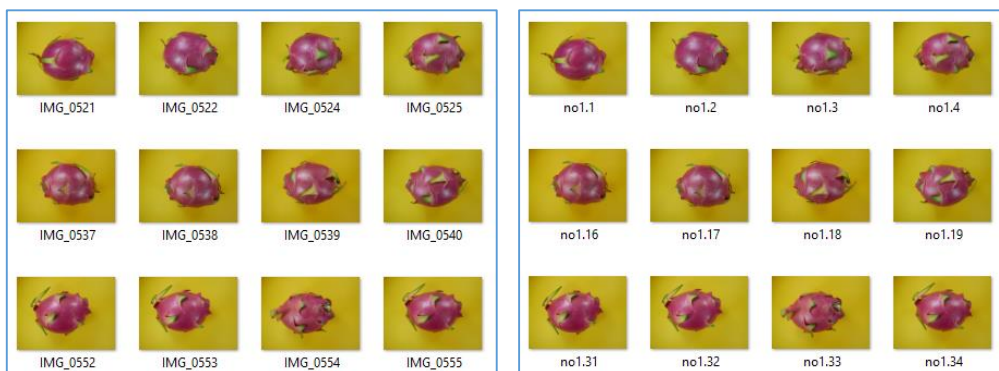
1. การได้มาซึ่งภาพ (Image acquisition) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง อุปกรณ์ถ่ายภาพ ซึ่งประกอบด้วย 1) ฐานถ่าย พื้นเป็นเหล็กขนาดความกว้างและความยาว 60 เซนติเมตร เพื่อใช้วางผลแก้วมังกร มีเสาเหล็กสูง 60 เซนติเมตรตั้งอยู่ด้านข้าง โดยเสาเหล็กมีแกนขนานกับพื้นยาว 40 เซนติเมตร เพื่อใช้ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ ซึ่งสามารถปรับความสูงของแกนสำหรับกำหนดระยะห่างระหว่างกล้องถ่ายภาพกับแก้วมังกรได้ และสามารถสไลด์เลื่อนตัวยึดกล้องถ่ายภาพไปตามแกน เพื่อให้สามารถถ่ายภาพตรงกึ่งกลางวัตถุได้ 2) กล้องถ่ายภาพ ใช้กล้องดิจิทัลมิลเลอร์เลสยี่ห้อพานาโซนิค ดีเอ็มซี จีเอกซ์ 85 (Panasonic DMC-GX85) กับเลนส์ระยะ 12-32 มิลลิเมตร ในการกำหนดรายละเอียดของกล้องถ่ายภาพมีดังนี้ ตั้งค่าโหมดโฟกัสแบบกำหนดเอง รูรับแสงมีค่าเท่ากับ f/5 ค่าไอเอสโอเท่ากับ 1600 ค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/400 วินาที 3) แท็บเล็ต (Tablet) ใช้ช่วยในการกดชัตเตอร์แทนที่การกดจากตัวกล้องโดยตรง เพื่อป้องกันไม่ให้กล้องขยับส่งผลให้ระยะโฟกัสเปลี่ยนไป ส่วนที่สอง สภาพแวดล้อมในการถ่าย ไฟที่ใช้ในการถ่ายเป็นไฟแอลอีดี (LED) สีขาว (Cool white) จำนวน 4 ดวง ระดับอุณหภูมิ 5000-6500K วาง 4 ด้านส่องจากบนลงล่างเป็นมุมเฉียง เพื่อลดการเกิดเงาและให้ได้ภาพที่ชัด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฐานถ่าย กล้องและแท็บเล็ตที่ใช้

2. การเตรียมข้อมูลภาพ (Data preparation) การเตรียมข้อมูลภาพ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเตรียมข้อมูล และการประมวลผลภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การเตรียมข้อมูล (Pre-processing) ภาพถ่ายของแก้วมังกรจะถูกเก็บลงโฟลเดอร์ 5 โฟลเดอร์ ตามขนาดของแก้วมังกร ไฟล์ที่ได้เป็นไฟล์นามสกุลเจพีจี (JPG) มีชื่อไม่ซ้ำกันเพื่อให้การนำไปประมวลผลทำได้สะดวกรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงเสนอขั้นตอนนี้เพื่อช่วยในการทำงานโดยใช้ภาษาไพธอนร่วมกับไลบรารีอินเทอร์เฟซระบบปฏิบัติการ (OS) และไลบรารีด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (OpenCV) ในการแปลงชื่อไฟล์ดังแสดงในภาพที่ 3



(ก) ก่อนทำ Pre-processing

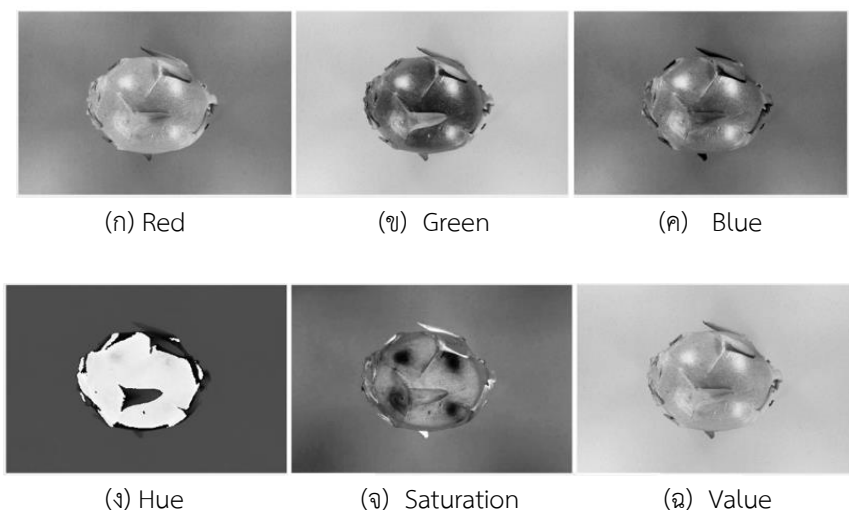
(ข) หลังทำ Pre-processing

ภาพที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลในขั้นตอนการทำ Pre-processing

2.2 การประมวลผลภาพ (Image processing) ภาพที่ได้จากกล้องมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ขนาดความกว้าง 4592 พิกเซล ความสูง 3448 พิกเซล ความละเอียดภาพ 96 ดิพีไอ (dpi) และมีขนาดความลึกสี (Bit depth) เท่ากับ 24 บิต เพื่อให้การจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน มีความเร็วและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องเตรียมภาพให้มีจำนวนพิกเซลของความกว้างและความสูงเท่ากัน โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ ประกอบ 3 ขั้นตอนดังนี้ การตรวจหาวัตถุ การตัดภาพ และการเพิ่มจำนวนภาพ

2.2.1 การตรวจหาวัตถุ (Object detection) การตรวจหาวัตถุในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการแบ่งส่วน (Thresholding) ด้วยฮิสโตแกรม (Histogram) ซึ่งพิจารณาฮิสโตแกรมจากโมเดลสีเอชเอสวี (HSV Color space) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) แก้วมังกรมีสีชมพูและเขียวดูวางบนพื้นหลังสีเหลืองเพื่อการแบ่งสีได้อย่างชัดเจน ระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง ในการทดลองได้พิจารณาทั้งโมเดลสีอาร์จีบี (RGB Color space) และโมเดลสีเอชเอสวี ซึ่งเป็น 2 โมเดลสีที่นิยมใช้ ดังแสดงในภาพที่ 4



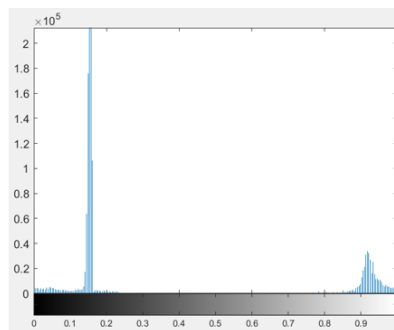
ภาพที่ 4 เปรียบเทียบภาพในแต่ละช่องสีของโมเดลสี RGB และ HSV

จากช่องสีทั้ง 2 โมเดล ช่อง Hue ให้ค่าความแตกต่างระหว่างวัตถุ (แก้วมังกร) กับพื้นหลังได้ดีกว่า Red Green Blue Saturation และ Value โดยมีข้อมูลแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ สีขาว (เปลือกสีชมพูของผลแก้วมังกร) สีดำ (สีชมพูบนเหลืองของผลแก้วมังกร) และสีเทา (พื้นหลังสีเหลือง)

2) นำภาพช่อง Hue หาค่าฮิสโตแกรม ข้อมูลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 – 1.0 โดย 0.0 แสดงเป็นสีดำและ 1.0 แสดงเป็นสีขาวดังภาพที่ 5 (ก) ส่งผลให้ได้ฮิสโตแกรมมีลักษณะเป็นภูเขา 2 ลูก ดังภาพที่ 5 (ข)

0.1369	0.1311	0.1136	0.1045	0.0863
0.1380	0.1292	0.1169	0.1024	0.0885
0.1360	0.1287	0.1124	0.0992	0.0822
0.1339	0.1246	0.1082	0.0922	0.0736
0.1276	0.1184	0.1007	0.0843	0.0604
0.1207	0.1096	0.0891	0.0693	0.0427
0.1111	0.0985	0.0756	0.0504	0.0197
0.0963	0.0809	0.0562	0.0292	0.9977
0.0826	0.0625	0.0321	0.9977	0.9701
0.0673	0.0468	0.0065	0.9722	0.9524

(ก) ข้อมูลช่อง Hue



(ข) ฮิสโตแกรมของ Hue

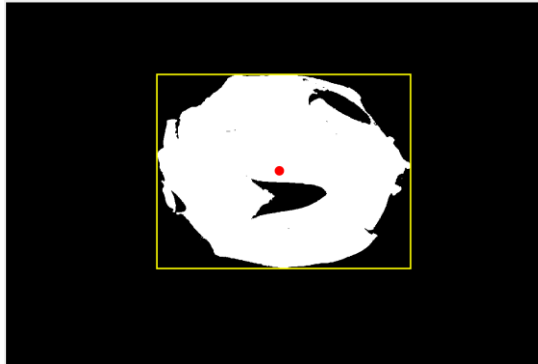
ภาพที่ 5 รายละเอียดข้อมูล Hue ของภาพแก้วมังกร

จากฮิสโตแกรมผู้วิจัยได้ทดลองเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจำนวน 30 ภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าแบ่งส่วน โดยได้ผลดังนี้ ใช้ค่าพิคเซลซึ่งอยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.08 และมากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 โดย ค่าพิคเซลที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.08 จะเข้าใกล้สีดำซึ่งเป็นขอบของผล แก้วมังกร และค่าพิคเซลที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 จะเข้าใกล้สีขาวซึ่งเป็นผลของแก้วมังกร แสดงในภาพที่ 6



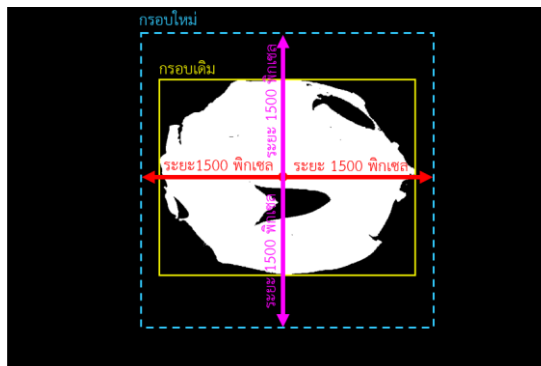
ภาพที่ 6 ผลลัพธ์ที่ได้หลังใช้เทคนิคการแบ่งส่วน

2.2.2 การตัดภาพ (Cropping) ในขั้นตอนนี้ ภาพจะถูกแปลงข้อมูลจากภาพสีเป็นภาพขาวดำ (Binary image) ซึ่งพิคเซลจะมีค่าได้ 1 ค่า คือ 0 (สีดำ) หรือ 1 (สีขาว) เพื่อนำไปใช้หากรอบล้อมรอบพื้นที่ของแก้วมังกร ด้วยซอฟต์แวร์แมทแล็บ ชุดคำสั่ง regionprops ในการหาพื้นที่ (Area) ขอบกล่อง (Bounding box) และจุดศูนย์กลางของวัตถุ (Centroid) โดยใช้ Area สำหรับตรวจสอบว่าเป็นผลแก้วมังกร เพราะพื้นที่จะมีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งบางครั้งอาจมีพื้นที่เล็กๆ เกิดจากสัญญาณผิดปกติในภาพ (Noise) ส่วน Bounding Box ทำให้ได้ข้อมูลความกว้างและความสูงของผลแก้วมังกร และ Centroid ทำให้ได้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวัตถุ ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลลัพธ์ของการหาพื้นที่ ขอบกล่อง และจุดศูนย์กลางของวัตถุ

ในการหาขอบกล่องจะใช้ขนาดของแก้วมังกรคลาส 1 ซึ่งเป็นขนาดใหญ่ที่สุดจะมีความกว้างและความสูงมากกว่าแก้วมังกร 4 คลาสที่เหลือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสุ่มเลือกภาพแก้วมังกร คลาส 1 จำนวน 30 ภาพมาทำการพิจารณาหาขนาดของขอบกล่อง โดยเก็บข้อมูลความกว้างและความสูงทั้ง 30 ภาพ และเลือกค่าที่มากที่สุดซึ่งได้ค่าความกว้าง 2977 พิกเซล ดังนั้นในงานวิจัยจึงใช้ค่าความกว้างและความสูงสำหรับการตัดภาพแก้วมังกรที่ 3000 พิกเซล จากนั้นใช้ Centroid เป็นจุดอ้างอิงและขยายออกในด้านละ 1500 พิกเซล ทั้ง บน ล่าง ซ้าย และขวา ดังภาพที่ 8 และตัดภาพ (Cropping) ตามขนาดพิกเซลใหม่ ทำให้ได้ภาพที่มีความกว้างและความสูงเท่ากัน



ภาพที่ 8 กรอบใหม่ที่ใช้ตัดภาพแก้วมังกร

2.2.3 การเพิ่มจำนวนภาพ (Image augmentation) งานวิจัยนี้ทำการเพิ่มจำนวนรูปภาพสำหรับข้อมูลฝึกสอนด้วยการนำภาพมาหมุน (Rotation) โดยเปลี่ยนองศาในการหมุนจำนวน 3 แบบ ได้แก่ 90 180 และ 270 องศา ส่งผลให้ได้ภาพเพิ่มขึ้น 3 ภาพ ต่อ ภาพเดิม 1 ภาพ ในแต่ละคลาส มีจำนวนภาพ 100 ภาพ หลังจากเพิ่มจำนวนภาพด้วยการหมุนจะได้ภาพรวมทั้งสิ้น 400 ภาพ ดังแสดงในภาพที่ 9



(ก) ภาพต้นฉบับ

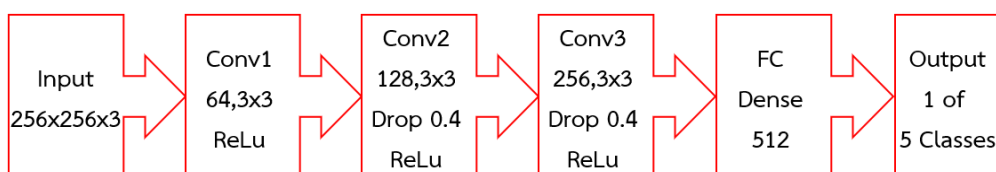
(ข) หมุน 90

(ค) หมุน 180

(ง) หมุน 270

ภาพที่ 9 แก้วมังกรหลังทำการเพิ่มจำนวนภาพ

3. การพัฒนาโมเดล (Machine learning model generation) งานวิจัยนี้พัฒนาโมเดลเพื่อใช้เป็นระบบจำแนกขนาดแก้วมังกรด้วยเทคนิค โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนฝึกสอนโมเดล ใช้ข้อมูลร้อยละ 80 จากภาพทั้งหมด 2) ส่วนทดสอบโมเดล ใช้ข้อมูลร้อยละ 20 ซึ่งใช้ภาพทั้งหมด 2000 ภาพ จากคลาส 5 คลาส แต่ละคลาสมีภาพ 400 ภาพ ใช้เป็นข้อมูลฝึกสอนร้อยละ 80 ได้ 1600 ภาพ และข้อมูลทดสอบร้อยละ 20 ได้ 400 ภาพ โดยมีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันตามภาพที่ 10 และกำหนดค่าของพารามิเตอร์ดังนี้ ใช้ epochs เท่ากับ 30 และ batch size เท่ากับ 16 และเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ใช้จำแนกขนาดมะม่วง (Zheng & Huang, 2021) และอัลกอริทึมที่ใช้จำแนกขนาดของแอปเปิ้ล (Li et al., 2021) ด้วย



ภาพที่ 10 โครงสร้างและพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

4. การวัดประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ใช้ตารางคอนฟิวชัน เมทริกซ์ (Confusion matrix) ช่วยในการประเมินผลการจำแนกของโมเดลด้วยหลักการวัดสัดส่วนของผลที่โมเดลจำแนกกับผลที่เป็นอยู่จริง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ 1) True Positive (TP) หมายถึง โมเดลจำแนกผลได้ตรงกับผลที่เป็นอยู่จริง โดยผลลัพธ์เป็นไปในทางบวก (ถูก/จริง) ทั้งคู่ 2) True Negative (TN) หมายถึง โมเดลจำแนกผลได้ตรงกับผลที่เป็นอยู่จริง โดยผลลัพธ์เป็นไปในทางลบ (ผิด/เท็จ) ทั้งคู่ 3) False Positive (FP) หมายถึง โมเดลจำแนกผลได้ไม่ตรงกับผลที่เป็นอยู่จริง โดยโมเดลจำแนกไปทางบวกแต่ผลจริงเป็นทางลบ และ 4) False Negative (FN) หมายถึง โมเดล

จำแนกผลได้ไม่ตรงกับผลที่เป็นอยู่จริง โดยโมเดลจำแนกไปทางลบแต่ผลจริงเป็นทางบวก โดยค่าทั้ง 4 แบบ ที่ได้สามารถนำไปใช้ต่อในสมการที่แสดงในภาพที่ 11

Predicted Class		Measure	Formula
Actual Class	True Positive	Precision	$\frac{TP}{(TP + FP)}$
	False Negative	Recall	$\frac{TP}{(TP + FN)}$
	False Positive	Accuracy	$\frac{(TP + TN)}{(TP + FP + FN + TN)}$
	True Negative	F1-Score	$2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)}$

ภาพที่ 11 คอนฟิวชันเมทริกซ์ และค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของโมเดล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การปรับขนาดภาพให้เหมาะสมเพื่อกำหนดภาพที่นำเข้าโมเดลให้มีขนาดความกว้างและความสูงเท่ากันเพื่อการประมวลผลที่เหมาะสมกับวิธีการคอนโวลูชันของโมเดล โดยในการทดลองนี้ จะเปรียบเทียบ 2 วิธี คือ 1) วิธีการปรับขนาดด้วยการตัดภาพด้วยเทคนิควัดกึ่งกลางภาพ (Center crop) จะใช้จุดกึ่งกลางของขนาดความกว้างและความสูงของภาพเป็นจุดเริ่มต้น และขยายออกทั้ง 4 ด้าน (บน ล่าง ซ้าย ขวา) ซึ่งกำหนดขนาดพิกเซลออกไปด้านละ 1500 พิกเซล 2) วิธีการตัดภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะตัดภาพก่อนแล้วนำมาปรับขนาดภาพ โดยภาพผลลัพธ์มีขนาดความกว้างและความสูง 256 พิกเซล



(ก) แก้วมังกรที่ไม่ได้ตัด



(ข) ตัดด้วยวิธีวัดกึ่งกลางภาพ



(ค) ตัดด้วยวิธีการที่นำเสนอ

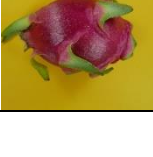
ภาพที่ 12 การปรับขนาดภาพด้วยชุดคำสั่งของซอฟต์แวร์กับวิธีการที่นำเสนอ

การตัดภาพแบบใช้ด้วยวิธีวัดกึ่งกลางภาพและตัดด้วยวิธีประมวลผลภาพ จากภาพถ่าย 100 ภาพในแต่ละคลาส รวมเป็น 500 ภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

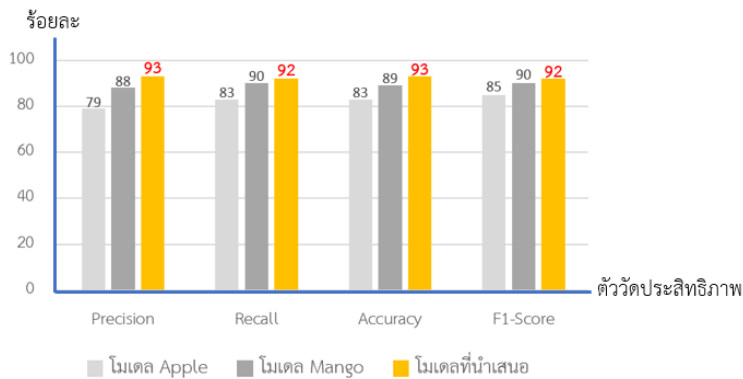
ตารางที่ 1 ตารางผลลัพธ์การตัดภาพทั้ง 5 คลาส

คลาสแก้วมังกร	จำนวนภาพแต่ละคลาส	ตัดด้วยวิธีวัดกึ่งกลางภาพ		ตัดด้วยวิธีการที่นำเสนอ	
		ผลอยู่กลางภาพ	ผลไม่อยู่กลางภาพ	ผลอยู่กลางภาพ	ผลไม่อยู่กลางภาพ
คลาส 1	100	68	32	100	0
คลาส 2	100	90	10	100	0
คลาส 3	100	92	8	100	0
คลาส 4	100	94	6	100	0
คลาส 5	100	94	6	100	0

ตารางที่ 2 ตารางตัวอย่างผลลัพธ์การตัดภาพ ทั้ง 2 วิธี

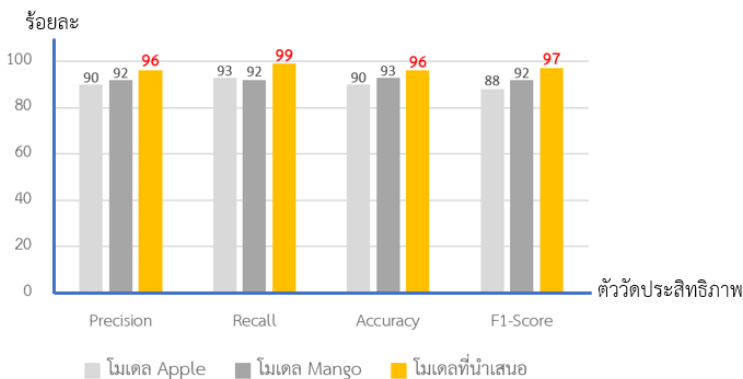
คลาสแก้วมังกร	ภาพแก้วมังกรที่ไม่ได้ตัด	ตัดด้วยวิธีวัดกึ่งกลางภาพ	ตัดด้วยวิธีการที่นำเสนอ
คลาส 1			
คลาส 2			
คลาส 3			
คลาส 4			
คลาส 5			

2. การวัดประสิทธิภาพโมเดลการจำแนกขนาดแก้วมังกรพันธุ์ชาวเวียดนาม โดยเปรียบเทียบกับโมเดลที่ใช้คัดผลไม้อื่นอีก 2 โมเดล ได้ผลตามภาพที่ 13-14



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้การปรับขนาดภาพด้วยวิธีการวัดกึ่งกลางภาพ

จากภาพที่ 13 โมเดลที่นำเสนอโดยใช้ภาพนำเข้าเป็นภาพที่ตัดด้วยวิธีวัดกึ่งกลางภาพ ให้ค่าประสิทธิภาพมากกว่าโมเดลมะม่วง และ โมเดลแอปเปิ้ล ทั้ง 4 ค่า โดย ความแม่นยำมีค่าร้อยละ 93 ความระลึกมีค่าร้อยละ 92 ความถูกต้องมีค่าร้อยละ 93 และ เอฟ-1 สกอร์มีค่าร้อยละ 92



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้การปรับขนาดภาพด้วยวิธีการที่นำเสนอ

จากภาพที่ 14 โมเดลที่นำเสนอโดยใช้ภาพนำเข้าเป็นภาพที่ได้จากการปรับขนาดด้วยวิธีการตัดภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้ค่าประสิทธิภาพมากกว่าโมเดลมะม่วงและโมเดลแอปเปิ้ล ทั้ง 4 ค่า โดย ความแม่นยำมีค่าร้อยละ 96 ความระลึกมีค่าร้อยละ 99 ความถูกต้องมีค่าร้อยละ 96 และ เอฟ-1 สกอร์มีค่าร้อยละ 97

สรุป

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีการจำแนกขนาดแก้วมังกรสายพันธุ์ชาวเวียดนามด้วยภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน สามารถจำแนกขนาดแก้วมังกรได้ โดยให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 96 ค่าความระลึกร้อยละ 99 ค่าความถูกต้องร้อยละ 96 และค่า เอฟ-1 สกอร์ ร้อยละ 97 โดยงานวิจัยนี้ได้มีการเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ใช้จำแนกขนาดมะม่วงและโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ใช้จำแนกขนาดแอปเปิ้ล โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าทั้ง 2 งานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งงานวิจัยจำแนกขนาดแอปเปิ้ลใช้ขนาดตารางที่สกัดคุณลักษณะใหญ่ทำให้ได้ข้อมูลคุณลักษณะน้อยกว่า ส่วนงานวิจัยจำแนกมะม่วงใช้ตารางสกัดคุณลักษณะเล็กแต่ข้อมูลในการฝึกสอนน้อยและกำหนดค่าในการเรียนรู้มากจนโมเดลคุ้นชินกับข้อมูลฝึก ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำกับข้อมูลทดสอบ ในส่วนการใช้การปรับขนาดภาพ พบว่า 1) ทุกวิธีที่ใช้ในการปรับขนาดภาพเมื่อใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันของงานวิจัยนี้จะให้ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก ค่าความถูกต้อง และค่าเอฟ-1 สกอร์ สูงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ใช้ัดขนาดมะม่วงและขนาดแอปเปิ้ล 2) เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถใช้ตัดภาพโดยที่ผลแก้วมังกรอยู่กลางภาพได้มากกว่าวิธีการตัดภาพจากกึ่งกลางภาพ

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปศึกษาต่อยอดได้ในด้านอุปกรณ์รับภาพเช่น กล้องมือถือ กล้องเว็บแคม (Webcam) เพื่อนำไปพัฒนารวมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเป็นเครื่องคัดขนาดแก้วมังกรสำหรับเกษตรกรในประกอบอาชีพนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2566). **แก้วมังกร**. สืบค้นจาก

https://esc.doe.go.th/wp-content/uploads/2016/03/Dragon_fruit.pdf

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) (2566). **มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง แก้วมังกร (มกษ.25-2558)**. สืบค้นจาก https://e-book.acfs.go.th/Book_view/202

ทศพร แก้ววิจิตร, ธีรวัช บุญยโสภณ, ทวีชัย ทับทิม, และอรรคพล พลอยแสงพันธ์. (2562). **การคัดแยกสีและขนาดเมล็ดตากาแฟด้วยการประมวลผลภาพ**. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 4 (น. 1-8). สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

- นพรุจ พัฒนสาร, และณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์. (2563). การประมวลผลภาพสำหรับการจำแนกคุณภาพมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ โดยการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก. **วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 10(1), 24–29.
- โยชิคา คำบุญมี, สุขสวัสดิ์ ญัฏฐวุฒิสิทธิ์, และปราณี มณีรัตน์. (2561). การจำแนกภาพถ่ายระบบอาร์จีบีด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของโครงข่ายประสาทเทียม. **วารสาร Mahidol R2R e-Journal**, 5(2), 1-9.
- Aherwadi, N., Mittal, U., Singla, J., Jhanjhi, N. Z., Yassine, A., & Hossain, M. S. (2022). Prediction of Fruit Maturity, Quality, and Its Life Using Deep Learning Algorithms. **Electronics**, 11(24), 4100.
- de Luna, R., Dadios, E., Bandala, A., & Vicerra, R. (2019). Size Classification of Tomato Fruit Using Thresholding, Machine Learning, and Deep Learning Techniques. **AGRIVITA Journal of Agricultural Science**, 41(3), 586-596.
- Fu, Y., Nguyen, M., & Yan, W. Q. (2022). Grading Methods for Fruit Freshness Based on Deep Learning. **SN Computer Science**, 3(4), 264.
- Hendrawan, Y., Rohmatulloh, B., Prakoso, I., Liana, V., Fauzy, M. R., Damayanti, R., ... Sandra. (2021). **Classification of large green chilli maturity using deep learning**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 924(1), 012009.
- Khisanudin, I. S., & Murinto. (2020). **Dragon Fruit Maturity Detection Based-HSV Space Color Using Naive Bayes Classifier Method**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 771(1), 012022.
- Li, Y., Feng, X., Liu, Y., & Han, X. (2021). Apple quality identification and classification by image processing based on convolutional neural networks. **Scientific reports**, 11(1), 16618.
- Momeny, M., Jahanbakhshi, A., Jafarnejad, K., & Zhang, Y.-D. (2020). Accurate classification of cherry fruit using deep CNN based on hybrid pooling approach. **Postharvest Biology and Technology**, 166, 111204.
- Poojitha, K. S., Teena, R., Prabha, V. U., Janani, S. R., & Kalaikumaran T. (2020). Automated Copra Grading System Using AI. **International Journal of Research in Engineering, Science and Management**. 3(4), 230-234.
- Yusamran, N., & Hiransakolwong, N. (2022). DIPDEEP: Classification for Thai dragon fruit. **Engineering and Applied Science Research**, 49(4), 521–530.

Zheng, B., & Huang, T. (2021). Mango grading system based on optimized convolutional neural network. **Mathematical Problems in Engineering**, 2021, 1–11.

การเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคติเนสและเอนไซม์ไคโตซานที่สกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้าน

มานะ ขาวเมฆ^{1*} ปราณอม ขาวเมฆ²

Received : May 31, 2023

Revised : October 18, 2023

Accepted : November 20, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคติเนสและเอนไซม์ไคโตซานที่สกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ พบว่า ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคติเนสที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง มีค่าร้อยละของโมเลกุลขนาดใหญ่ (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₈ รวมเท่ากับ 93.74 ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 6 สายพันธุ์คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วย *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923 และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วย *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.390/0.390 และ 0.390/0.390 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สำหรับไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง มีค่าร้อยละของโมเลกุลขนาดใหญ่ (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ เท่ากับ 94.09 ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 6 สายพันธุ์คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วย *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923 และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วย *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 0.195/0.195, 0.195/0.195, 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.390/0.390 และ 0.390/0.390 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์ไคโตซานที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง จะมีความสามารถในการยับยั้งและฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์ไคติเนสที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง

คำสำคัญ: ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ต้นอ่อนกระถินบ้าน ฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย เอนไซม์ไคติเนส เอนไซม์ไคโตซาน

¹ รองศาสตราจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: mana@vru.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต อีเมล: pranom.k@rsu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: mana@vru.ac.th

A COMPARISON OF THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF CHITOLIGOSACCHARIDES PRODUCED BY CHITINASE AND CHITOSANASE EXTRACT FROM SEEDLINGS OF LEUCAENA LEUCOCEPHALA (LAM.) DE WIT

Mana Khaomek^{1*} Pranorm Khaomek²

Abstract

This research aimed to compare the antibacterial activity of chitooligosaccharides (COS) produced by chitinase and chitosanase extracted from two-week-old seedlings of *Leucaena leucocephala* de Wit. It was observed that COS obtained from chitinase through the hydrolysis of 1 percent weight per volume of colloidal chitin for 0.5 hours contained a percentage of larger molecules such as (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇, and (GlcNAc)₈, which made up 93.74% of the total. This COS exhibited the strongest inhibition against six bacterial strains, including gram-positive bacteria such as *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, and *S. aureus* ATCC 25923, as well as gram-negative bacteria like *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853, and *V. parahaemolyticus* ATCC 17802. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were both measured at 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.390/0.390, and 0.390/0.390 µg/mL, respectively. For chitosanase, COS obtained from the hydrolysis of one percent weight per volume of chitosan for 0.5 hours contained a percentage of total larger molecules such as (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇, and (GlcN)₈, accounting for 94.09% of the total. This COS exhibited the strongest inhibition against six bacterial strains, including gram-positive bacteria such as *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, and *S. aureus* ATCC 25923, as well as gram-negative bacteria like *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853, and *V. parahaemolyticus* ATCC 17802. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were both measured at 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.195/0.195, 0.390/0.390, 0.390/0.390, and 0.390/0.390 µg/mL, respectively. Therefore, it can be concluded that COS obtained by digesting one percent chitosan by mass per volume with chitosanase for 0.5 hours exhibited better antibacterial activity than COS obtained by digesting one percent colloidal chitin by mass per volume with chitinase enzyme for 0.5 hours.

Keywords: Chitooligosaccharides, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit Seedlings
Antibacterial activity, Chitinase, Chitosanase

¹ Associate Professor of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: mana@vru.ac.th

² Assistant Professor of Chemistry, Faculty of Science, Rangsit University, e-mail: pranorm.k@rsu.ac.th

* Corresponding author, e-mail: mana@vru.ac.th

บทนำ

เอนไซม์ไคตินเนสเป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิกของไคตินได้ผลผลิตเป็นเอนอะซิติลกลูโคซามีน (GlcNAc) และไคตินโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีความยาวของโมเลกุลขนาด 2-10 โมเลกุล สำหรับเอนไซม์ไคโตซานเนสเป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิกของไคโตซาน ได้ผลผลิตเป็นกลูโคซามีน (GlcN) และไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีความยาวขนาด 2-10 โมเลกุล เอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสพบในสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น พืช เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อยีสต์ มีความสำคัญโดยประยุกต์ใช้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพและอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ใช้ควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และแมลงที่เป็นอันตรายต่อพืช (Chernin et al., 1997)

ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของมอนอแซคคาไรด์ตั้งแต่ 2-10 โมเลกุล ต่อด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิกของเอนอะซิติลกลูโคซามีนกับเอนอะซิติลกลูโคซามีน และกลูโคซามีน กับกลูโคซามีนตามลำดับ ซึ่งเป็นสายน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยไคตินและไคโตซานด้วยเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสหรือ ปฏิกิริยาเคมีจากกรด ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์สามารถใช้ด้านโรคต่าง ๆ เช่น ไซซ็อกแซบ ลดคอเลสเตอรอลและไขมันในเส้นเลือด การปล่อยตัวยาสำคัญ (Coelho et al., 2010) และยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย (Baureithel et al., 1994; Shibuya et al., 1993) ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ละลายน้ำและดูดซึม ดีกว่าไคตินและไคโตซาน จึงทำให้ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์มีมูลค่ามากกว่าไคตินและไคโตซาน ดังนั้น จึงมีการเปลี่ยนไคตินและไคโตซานพอลิเมอร์ให้เป็นไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนส โดยพืชที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงจะเปลี่ยนไคตินและไคโตซานเป็นไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ดี เช่น ก้ามปูและกระถินบ้าน (มานะ ขาวเมฆ, 2562ข)

ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานจากพืชสามารถยับยั้งเชื้อราและต้านอนุมูลอิสระได้ดี เช่น งานวิจัยของมานะ ขาวเมฆ (2565) ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยเอนไซม์ไคโตซานเนสที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ พบว่าไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละรวมโมเลกุลขนาดใหญ่ของ (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ เท่ากับ 94.99 จะยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดทั้ง 8 สายพันธุ์คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วย *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วย *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Vibrio parahaemolyticus* โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 0.39/0.39, 0.78/0.78, 0.39/0.39, 0.39/0.39, 0.39/0.78, 0.39/0.39, 0.78/1.56/ และ 0.78/0.78 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และงานวิจัยของมานะ ขาวเมฆ (2563) ศึกษาการย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคตินเนสที่สกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้านที่มีอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการย่อย 0.5 ชั่วโมง จะมีไคโตโอลิโกแซคคาไรด์โมเลกุลขนาดใหญ่ของไคโตเพนโตส ((GlcNAc)₅) ไคโตเฮกโซส ((GlcNAc)₆) ไคโตเฮปโตส ((GlcNAc)₇) และไคโตออกโตส ((GlcNAc)₈) มากกว่าโมเลกุลขนาดเล็กของเอนอะซิติลกลูโคซามีน ((GlcNAc)₁) ไคโตไบโอส ((GlcNAc)₂) ไคโตไตรโอส ((GlcNAc)₃) และไคโตเตโตรส ((GlcNAc)₄) โดยมีไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ของเอนอะซิติลกลูโคซามีน ไคโตไบโอส ไคโตไตรโอส ไคโตเตโตรส ไคโตเพนโตส ไคโตเฮกโซส ไคโตเฮปโตส และไคโตออกโตส ร้อยละ 1.14, 1.55, 2.33, 8.07, 10.23, 23.16, 25.49 และ 28.03 ตามลำดับ สามารถยับยั้งเชื้อราจำนวน 4 สายพันธุ์ คือ *Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Magnaporthe oryzae* และ

Setosphaeria oryzae ที่ความเข้มข้นของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ 5-10 ไมโครกรัม และจากงานวิจัยของมานะ ขาวเมฆ (2562ก) ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคโตซานจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคโตซานที่สกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้านที่มีอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการย่อย 0.5 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) โดยมีค่า EC_{50} ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์เท่ากับ 1.15 ± 0.1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่า EC_{50} ของสารมาตรฐาน BHT ที่มีค่าเท่ากับ 1.34 ± 0.1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากงานวิจัยของมานะ ขาวเมฆ และวรางคณา เทศทอง (2564) ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคติเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ พบว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคติเนสในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคติเนสที่สกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้านที่มีอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการย่อย 0.5 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) โดยมีค่า EC_{50} ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์เท่ากับ 1.21 ± 0.1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่า EC_{50} ของสารมาตรฐาน BHT ที่มีค่าเท่ากับ 1.34 ± 0.1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากงานวิจัยของ Yamada et al. (1993) พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ 6-8 โมเลกุล ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก 1-4 โมเลกุล โดยใช้โคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 100-500 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจนำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์โคติเนสและเอนไซม์โคโตซานที่ผลิตจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูง ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราและต้านอนุมูลอิสระได้ดีมาใช้ทดสอบเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคติเนสและเอนไซม์โคโตซานจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สกัดเอนไซม์โคติเนส โดยใช้ต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ หนัก 10 กรัม บดให้ละเอียดแล้วเติมโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์พีเอช 4.5 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่มีฟีนิลเมธิลซัลโฟนิลฟลูออไรด์หนัก 0.017 กรัม และพอลิไวนิลพอลิไพร์โรลิโดน 0.50 กรัม นำของผสมไปปั่นเหวี่ยงที่ 25,000 g เป็นเวลา 30 นาที จะได้สารละลายใสข้างบนเป็นสารสกัดเอนไซม์โคติเนส (Boller et al., 1983)

2. หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์โคติเนส โดยนำสารสกัดเอนไซม์โคติเนสปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมกับคอลลอยด์โคติเนสในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (Berger et al., 1958) ในสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ปริมาตร 800 ไมโครลิตร นำของผสมไปปั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำของผสมไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 g เป็นเวลา 10 นาที ตูดสารละลายใสด้านบน 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลายโซเดียมเตรสโบเรตเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำของผสมไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 3 นาที เติมสารละลายพาราไดเมธิลอะมิโนเบนซัลดีไฮด์ปริมาตร 3 มิลลิลิตร บ่มของผสมในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 585 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีน (Boller et al., 1983)

3. หาปริมาณโปรตีนของเอนไซม์โคติเนส โดยปิเปตสารสกัดเอนไซม์โคติเนสปริมาตร 10 ไมโครลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ปริมาตร 490 ไมโครลิตร แล้วเติม

สารละลายผสมคอปเปอร์ซัลเฟต 2.5 มิลลิลิตร เขย่าของผสมแล้วตั้งไว้ 10 นาที เติมสารละลายโพลินเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าของผสมและตั้งไว้ 30 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำผลที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานของโปรตีนโบวีนซีรัมอัลบูมิน (Lowry et al., 1951)

4. สกัดเอนไซม์โคโตซานเนส โดยนำต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ หนัก 10 กรัม มาบดให้ละเอียดและเติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่เติมฟีนิลเมธิลซัลโฟนิลฟลูออไรด์หนัก 0.017 กรัม และพอลิไวนิลพอลิไพโรลิโดนหนัก 0.50 กรัม นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 25,000 g เป็นเวลา 30 นาที จะได้สารละลายใสข้างบนเป็นสารสกัดเอนไซม์โคโตซานเนส (Pillai et al., 2009)

5. หาค่ากิจกรรมของเอนไซม์โคโตซานเนส โดยปิเปตสารสกัดเอนไซม์โคโตซานเนสปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายโคโตซาน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำของผสมไปต้มในน้ำเดือด 3 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 g เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตสารละลายใส 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย Schales' Reagent ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของกลูโคซามีน (Tolaimate et al., 2003)

6. หาปริมาณโปรตีนเอนไซม์โคโตซานเนส โดยปิเปตสารสกัดเอนไซม์โคโตซานเนสปริมาตร 10 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ให้เป็น 500 ไมโครลิตร เติมสารละลายผสมของคอปเปอร์ซัลเฟตปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที เติมสารละลายโพลินเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของโปรตีนมาตรฐานโบวีนซีรัมอัลบูมิน (Bovine Serum Albumin; BSA) (Lowry et al., 1951)

7. หาปริมาณร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคตินในรูปคอลลอยด์ (Koga et al., 1998)

7.1 นำสารมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2-6 หน่วย เข้มข้น 50, 100 และ 150 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์ด้วย HPLC โดยใช้สารเคลื่อนที่เป็น น้ำ : เมทานอล = 60 : 40 อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที คอลัมน์ Shodex Asahipak NH2P-50 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำพื้นที่พีคและค่าความเข้มข้นสารมาตรฐานสร้างกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

7.2 นำสารโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้การย่อยของโคตินจากพืชทั้ง 4 ชนิดมาวิเคราะห์ด้วย HPLC และหาปริมาณร้อยละโดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเอนอะซิติลกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

8. หาปริมาณร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซาน (Koga et al., 1998)

8.1 ปิเปตสารมาตรฐานของกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2-8 หน่วย ที่เข้มข้น 50, 100 และ 150 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้สารเคลื่อนที่ (Mobile phase) เป็น น้ำและเมทานอลในอัตราส่วน 60 : 40 โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที ใช้คอลัมน์ Shodex Asahipak NH2P-50 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำค่าพื้นที่ใต้กราฟและค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาสร้างกราฟมาตรฐาน

8.2 ปิเปตโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้การย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซาน มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC หาปริมาณร้อยละโดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

9. ทดสอบฤทธิ์ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียจำนวน 6 สายพันธุ์ คือ แกรมบวก ประกอบด้วย *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923 และ แกรมลบประกอบด้วย *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 ด้วยวิธีดิสก์ดีฟิวนซ์ของ Cockerill และคณะ (Cockerill et al., 2012a)

9.1 เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหารนิวเทรียนอาการ์ (Nutrient agar) (ยกเว้น *V. parahaemolyticus* ใช้อาหารนิวเทรียนอาการ์ผสมโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำโคโลนีเดี่ยวของเชื้อแบคทีเรียใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อมูลเลอร์ฮินตันบรอต (Mueller Hinton broth; MHB) (ยกเว้น *V. parahaemolyticus* ใช้ทริปติกซอยบรอต (Tryptic soy broth; TSB) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เจือจางเชื้อแบคทีเรียให้ได้ความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland ใช้ไม้พันสำลีที่ปราศจากเชื้อ ขูดเชื้อแบคทีเรียแล้วเกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อมูลเลอร์ฮินตันอาการ์ (Mueller Hinton Agar; MHA) (ยกเว้น *V. parahaemolyticus* ใช้ทริปติกซอยอาการ์ (Tryptic Soy Agar)) ทิ้งไว้ 5 นาที นำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาละลายด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl Sulfoxide; DMSO) ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และหยดโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ใส่บนแผ่นดิสก์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร รอให้แห้งประมาณ 15 นาที ใช้ไดเมทิลซัลฟอกไซด์เป็นตัวควบคุมผลลบ (Negative control) และตัวควบคุมผลบวก (Positive control) กับเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *S. aureus* ใช้ยาปฏิชีวนะแวนมัยซิน (Vancomycin) ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อดิสก์ และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *V. parahaemolyticus* ใช้ยาปฏิชีวนะเซฟตาซิดิม (Ceftazidime) ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อดิสก์ นำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ไม่มีการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Inhibition Zone) โดยวัดหน่วยเป็นมิลลิเมตร

9.2 การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimum Inhibitory Concentration: MIC) ด้วยวิธี Broth Dilution Technique (Cockerill et al., 2012b)

นำโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่มีอายุประมาณ 24 ชั่วโมงที่สามารถยับยั้งได้จากข้อ 9.1 มาใช้ทดสอบ โดยเลี้ยงในอาหารเหลวมูลเลอร์ฮินตันบรอต (สำหรับ *V. parahaemolyticus* ใช้ทริปติกซอยบรอต) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เจือจางเชื้อแบคทีเรียให้ได้ความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland ทำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อย 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 0.195, 0.39, 0.78, 1.56, 3.125, 6.25, 12.5, 25 และ 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตรแล้วเติมเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยชุดควบคุมผลบวกประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 1 มิลลิลิตร ชุดควบคุมผลลบประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ละลายด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (MIC) โดยสังเกตหลอดสุดท้ายที่ไม่มีการเจริญของเชื้อแบคทีเรียหรืออาหารเลี้ยงเชื้อในหลอดไม่ขุ่น อ่านความเข้มข้นของสารทดสอบของหลอดนี้เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

9.3 การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (Minimum Bactericidal Concentration: MBC) นำหลอดที่ไม่มี ความขุ่นจากข้อ 9.2 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เกลี่ย (Spread plate) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ความเข้มข้นต่ำสุดของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (MBC)

10. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าสถิติความแปรปรวน (ANOVA) หาค่า F-test เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการหาค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ไคตินเนส

เอนไซม์ไคตินเนสที่สกัดจากต้นกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ด้วยโซเดียมอะซิเตดบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 มีค่ากิจกรรมเท่ากับ 19.262 ยูนิต/มิลลิลิตร ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.891 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเมื่อนำค่ากิจกรรมและปริมาณโปรตีนมาคำนวณค่ากิจกรรมจำเพาะมีค่าเท่ากับ 21.616 ยูนิต/มิลลิกรัม

2. ผลการหาค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์

เอนไซม์ไคโตซานเนสที่สกัดจากต้นกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ด้วยโซเดียมอะซิเตดบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 3.5 มีค่ากิจกรรมเท่ากับ 20.006 ยูนิต/มิลลิลิตร ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.897 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเมื่อนำค่ากิจกรรมและปริมาณโปรตีนมาคำนวณค่ากิจกรรมจำเพาะมีค่าเท่ากับ 22.310 ยูนิต/มิลลิกรัม

เมื่อเปรียบเทียบค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ มีค่าใกล้เคียงกันคือ 21.616 และ 22.310 ยูนิต/มิลลิกรัม ตามลำดับ แต่จะค่ากิจกรรมจำเพาะสูงกว่าเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสจากแหล่งอื่นๆ เช่น เอนไซม์ไคตินเนสจากเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* sp. KCTC0377BP มีค่ากิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 1.958 ยูนิต/มิลลิกรัม (Senol et al., 2014) และเอนไซม์ไคโตซานเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงกว่าเอนไซม์ไคโตซานเนสจากเชื้อรา *Paenibacillus fukunensis* ที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 0.861 ยูนิต/มิลลิกรัม (Fukuda et al., 2007) ดังนั้น เอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสจากพืชมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงกว่าเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสจากเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา เนื่องจากเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสจากพืชส่วนใหญ่จะเป็นชนิดภายในที่สลายพันธะแบบสุ่มจึงสามารถจับกับโครงสร้างไคตินและไคโตซานได้ดีกว่าเอนไซม์ไคตินเนสและเอนไซม์ไคโตซานเนสจากเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

3. ผลการหาปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์

ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคตินเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง มาหาปริมาณด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูงและนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของเอนอะซิติลกลูโคซามีนและไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2 – 8 โมเลกุล พบว่า ปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการบ่มในระยะเวลา 0.5 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงมี (GlcNAc)₁, (GlcNAc)₂, (GlcNAc)₃, (GlcNAc)₄, (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₈ ร้อยละ 1.27-26.01, 1.43-23.38, 2.28-20.17, 3.08-10.13, 3.12-18.23, 4.43-21.36, 5.12-25.14 และ 7.64-27.21 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 โดยปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₈ เมื่อใช้เวลาในการบ่มน้อย (0.5 ชั่วโมง) จะมีปริมาณมาก คือ 18.23, 23.16, 25.14 และ 27.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จะลดลงเมื่อใช้เวลาในการบ่มมากขึ้น ในขณะที่โมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcNAc)₁, (GlcNAc)₂, (GlcNAc)₃ และ (GlcNAc)₄ เพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₈ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง รวมกันจะได้เท่ากับ 93.74

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moon et al. (2017) สกัดเอนไซม์ไคตินเนสจากเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* PRNK-1 แล้วนำมาย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์ด้วยเวลา 0.5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้เวลาในการบ่มสั้นมีปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcNAc)₈, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₆ มีมากกว่าปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดเล็กของ (GlcNAc)₄, (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆ และ (GlcNAc)₇

ตารางที่ 1 ปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์แต่ละชนิดที่ได้จากการบ่มไคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคติเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่มต่างกัน

เวลาที่ใช้บ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์							
	(GlcNAc) ₁	(GlcNAc) ₂	(GlcNAc) ₃	(GlcNAc) ₄	(GlcNAc) ₅	(GlcNAc) ₆	(GlcNAc) ₇	(GlcNAc) ₈
0.5	1.27	1.43	2.28	3.08	18.23	23.16	25.14	27.21
1	11.96	10.24	8.08	6.10	11.06	14.24	18.14	20.18
2	21.09	20.09	16.01	6.99	5.11	8.71	10.37	11.63
4	26.01	23.38	20.17	10.13	3.12	4.43	5.12	7.64

4. ผลการหาปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยไคโตซาน

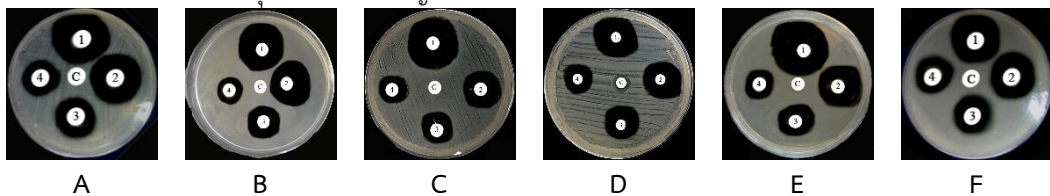
ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคโตซาน 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคโตซานเนส จากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูงและเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกลูโคซามีนและไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2 – 8 โมเลกุล พบว่า ปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการบ่มในช่วงเวลา 0.5 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงมี (GlcN)₁, (GlcN)₂, (GlcN)₃, (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ ร้อยละ 1.09-25.12, 1.24-22.06, 1.46-21.12, 2.12-9.39, 3.62-18.61, 4.56-21.61, 5.69-25.81 และ 8.44-28.06 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 โดยปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ เมื่อใช้เวลาในการบ่มน้อย (0.5 ชั่วโมง) จะมีปริมาณมาก คือ 18.61, 21.61, 25.81 และ 28.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จะลดลงเมื่อใช้เวลาในการบ่มมากขึ้น ในขณะที่โมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcN)₁, (GlcN)₂, (GlcN)₃ และ (GlcN)₄ เพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง รวมกันจะได้เท่ากับ 94.09 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yan et al. (2007) สกัดเอนไซม์ไคโตซานเนสจากเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* CUY8 แล้วนำมาย่อยไคโตซานด้วยเวลา 0.5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้เวลาในการบ่มสั้นจะมีปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ มาก

ตารางที่ 2 ปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์แต่ละชนิดที่ได้จากการบ่มไคโตซาน 1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเอนไซม์ไคโตซานเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่มต่างกัน

เวลาที่ใช้บ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์							
	(GlcN) ₁	(GlcN) ₂	(GlcN) ₃	(GlcN) ₄	(GlcN) ₅	(GlcN) ₆	(GlcN) ₇	(GlcN) ₈
0.5	1.09	1.24	1.46	2.12	18.61	21.61	25.81	28.06
1	11.09	9.94	8.42	5.81	11.76	14.43	18.67	19.88
2	20.69	19.64	16.36	6.18	5.47	8.88	10.71	12.07
4	25.12	22.06	21.12	9.39	3.62	4.56	5.69	8.44

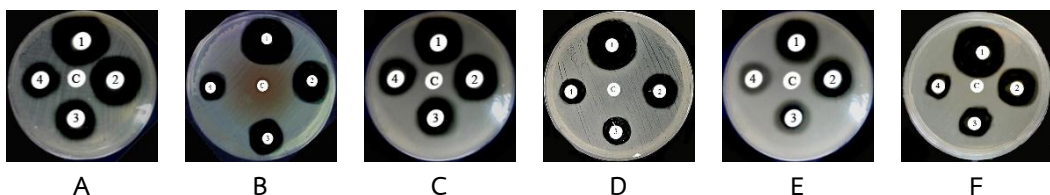
5. ผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์

เมื่อนำไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคตินเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมงมายับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเบื้องต้นด้วยวิธีเทคนิคดิสก์ดีฟิวชัน (Disc Diffusion Technique) โดยใช้ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 25 ไมโครลิตรต่อดิสก์ พบว่าไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาในการบ่ม 0.5 ชั่วโมง ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด โดยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes* และ *S. aureus* มีความกว้างของ Clear Zone เท่ากับ 30.86 ± 0.12 , 29.22 ± 0.15 , 30.84 ± 0.15 มิลลิเมตร และยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa* และ *V. parahaemolyticus* มีความกว้างเท่ากับ 28.92 ± 0.14 , 29.47 ± 0.12 , 29.41 ± 0.15 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 3 ตัวควบคุมผลลบและตัวควบคุมผลบวกไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้ง 6 สายพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 1 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่ได้จากการบ่ม 1 = บ่ม 0.5 ชั่วโมง 2 = บ่ม 1 ชั่วโมง 3 = บ่ม 2 ชั่วโมง และ 4 = บ่ม 4 ชั่วโมง A = *B. cereus*, B = *L. monocytogenes*, C = *S. aureus*, D = *E. coli*, E = *P. aeruginosa* และ F = *V. parahaemolyticus*

เมื่อนำไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์ไคโตซานเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมงมายับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเบื้องต้นด้วยวิธีเทคนิคดิสก์ดีฟิวชัน (Disc Diffusion Technique) โดยใช้ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 25 ไมโครลิตรต่อดิสก์ พบว่าไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาในการบ่ม 0.5 ชั่วโมง ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด โดยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes* และ *S. aureus* มีความกว้างของ Clear Zone เท่ากับ 31.16 ± 0.19 , 30.91 ± 0.19 , 31.88 ± 0.19 มิลลิเมตร และยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa* และ *V. parahaemolyticus* มีความกว้างเท่ากับ 29.02 ± 0.18 , 29.89 ± 0.12 , 29.93 ± 0.15 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2 และตารางที่ 4 ตัวควบคุมผลลบและตัวควบคุมผลบวกไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้ง 6 สายพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 2 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่ได้จากการบ่ม 1 = บ่ม 0.5 ชั่วโมง 2 = บ่ม 1 ชั่วโมง 3 = บ่ม 2 ชั่วโมง และ 4 = บ่ม 4 ชั่วโมง A = *B. cereus*, B = *L. monocytogenes*, C = *S. aureus*, D = *E. coli*, E = *P. aeruginosa* และ F = *V. parahaemolyticus*

ตารางที่ 3 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาบ่มไคตินในรูปคอลลอยด์ 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ด้วยเอนไซม์ไคติเนส

ชนิดเชื้อแบคทีเรีย	COS จาก การบ่ม (ชั่วโมง)	บริเวณยับยั้ง (mm)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ ยับยั้งการเจริญของ เชื้อแบคทีเรีย ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น ต่ำสุดที่สามารถ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ($\mu\text{g/ml}$)
แกรมบวก				
<i>B. cereus</i>	0.5	30.86 $\pm$ 0.12	0.195	0.195
ATCC 11778	1	19.43 $\pm$ 0.15	0.390	0.390
	2	12.79 $\pm$ 0.21	0.780	0.780
	4	9.48 $\pm$ 0.23	1.560	1.560
<i>L. monocytogenes</i>	0.5	29.22 $\pm$ 0.15	0.390	0.390
ATCC 15313	1	18.96 $\pm$ 0.15	0.780	0.780
	2	11.21 $\pm$ 0.23	1.560	1.560
	4	8.97 $\pm$ 0.12	3.120	3.120
<i>S. aureus</i>	0.5	30.84 $\pm$ 0.15	0.195	0.195
ATCC 25923	1	19.11 $\pm$ 0.19	0.390	0.390
	2	12.42 $\pm$ 0.21	0.780	0.780
	4	9.49 $\pm$ 0.23	1.560	1.560
แกรมลบ				
<i>E. coli</i>	0.5	28.92 $\pm$ 0.14	0.390	0.390
ATCC 25922	1	18.73 $\pm$ 0.12	0.780	0.780
	2	11.82 $\pm$ 0.15	1.560	1.560
	4	8.87 $\pm$ 0.23	3.120	3.120
<i>P. aeruginosa</i>	0.5	29.47 $\pm$ 0.12	0.390	0.390
ATCC 27853	1	18.97 $\pm$ 0.15	0.780	0.780
	2	11.67 $\pm$ 0.18	1.560	1.560
	4	9.10 $\pm$ 0.23	3.120	3.120
<i>V. parahaemolyticus</i>	0.5	29.41 $\pm$ 0.15	0.390	0.390
ATCC 17802	1	18.89 $\pm$ 0.12	0.780	0.780
	2	11.64 $\pm$ 0.18	1.560	1.560
	4	8.78 $\pm$ 0.21	3.120	3.120

ตารางที่ 4 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาบ่มไคโตซาน 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ด้วยเอนไซม์ไคโตซานเนส

ชนิดเชื้อแบคทีเรีย	COS จาก การบ่ม (ชั่วโมง)	บริเวณยับยั้ง (mm)	ความเข้มข้น ต่ำสุดที่ยับยั้งการ เจริญของเชื้อ แบคทีเรีย ($\mu\text{g/ml}$)	ความเข้มข้น ต่ำสุดที่สามารถ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ($\mu\text{g/ml}$)
แกรมบวก				
<i>B. cereus</i> ATCC 11778	0.5	31.16 $\pm$ 0.19	0.195	0.195
	1	20.23 $\pm$ 0.15	0.390	0.390
	2	13.94 $\pm$ 0.23	0.780	0.780
	4	10.84 $\pm$ 0.21	1.560	1.560
<i>L. monocytogenes</i> ATCC 15313	0.5	30.91 $\pm$ 0.19	0.195	0.195
	1	19.92 $\pm$ 0.15	0.390	0.390
	2	12.26 $\pm$ 0.23	0.780	12.500
	4	9.76 $\pm$ 0.29	1.560	1.560
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	0.5	31.88 $\pm$ 0.19	0.195	0.1950
	1	19.43 $\pm$ 0.18	0.390	0.3900
	2	12.78 $\pm$ 0.24	0.780	0.780
	4	10.44 $\pm$ 0.12	1.560	1.560
แกรมลบ				
<i>E. coli</i> ATCC 25922	0.5	29.02 $\pm$ 0.18	0.390	0.390
	1	18.16 $\pm$ 0.14	0.780	0.780
	2	11.96 $\pm$ 0.12	1.560	1.560
	4	9.04 $\pm$ 0.19	3.120	3.120
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	0.5	29.89 $\pm$ 0.12	0.390	0.390
	1	18.99 $\pm$ 0.15	0.780	0.780
	2	11.84 $\pm$ 0.21	1.560	1.560
	4	9.76 $\pm$ 0.23	3.120	3.120
<i>V. parahaemolyticus</i> ATCC 17802	0.5	29.93 $\pm$ 0.15	0.390	0.390
	1	18.98 $\pm$ 0.15	0.780	0.780
	2	11.94 $\pm$ 0.23	1.560	1.560
	4	9.08 $\pm$ 0.12	3.120	3.120

6. ผลการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (MIC)

จากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำนวน 6 สายพันธุ์ คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923 และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 พบว่า ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากยอยโคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคติเนสที่ได้จากการใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (MIC) *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 เท่ากับ 0.195, 0.390, 0.195, 0.390, 0.390, และ 0.390 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 สำหรับไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากยอยโคติเนสเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคติเนสที่ได้จากการใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (MIC) *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 เท่ากับ 0.195, 0.195, 0.195, 0.390, 0.390, และ 0.390 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

7. ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (MBC)

จากการทดสอบฤทธิ์การฆ่าเชื้อแบคทีเรียจำนวน 6 สายพันธุ์ คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923 และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 พบว่า ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากยอยโคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่ได้จากการใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 เท่ากับ 0.195, 0.390, 0.195, 0.390, 0.390 และ 0.390 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ (ดังตารางที่ 3) สำหรับไคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากยอยโคติเนสเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่ได้จากการใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 เท่ากับ 0.195, 0.195, 0.195, 0.390, 0.390 และ 0.390 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4)

เมื่อเปรียบเทียบไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการยอยโคติเนสเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์โคติเนสที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง มีบริเวณยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและความสามารถในการยับยั้งและฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการยอยโคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์โคติเนสที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Rios & Recio (2005) และ Van Vuuren (2008) ที่แบ่งกลุ่มการออกฤทธิ์ของสารจากค่า MIC เป็น 3 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งค่า MIC น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 2. กลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งปานกลางค่า MIC อยู่ระหว่าง 1-2.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 3. กลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งอ่อนค่า MIC มากกว่า 2.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่าไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการยอยโคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคติเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ และไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการยอยโคติเนส

เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคโตซานสกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการบ่มทุกช่วงเวลาจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 มีฤทธิ์ยับยั้งดี โดยใช้เวลาในการบ่มน้อย 0.5 ชั่วโมงจะยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดคือ มีค่า MIC และ MBC น้อยที่สุด เนื่องจากโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาในการบ่มน้อยจะมีโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₈ จากโคตินในรูปคอลลอยด์มากเท่ากับ 93.74 เปอร์เซ็นต์ และโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ จากโคโตซานมากเท่ากับ 94.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsai et al. (2000) ศึกษาโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากย่อยโคโตซานจากเปลือกกุ้งโดยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ จะยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำนวน 4 สายพันธุ์คือ *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium* และ *S. aureus* ได้ดีด้วยความเข้มข้น 5-29 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากงานวิจัยของ Yamada et al. (1993) พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาดใหญ่ 6-8 หน่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีโดยใช้ความเข้มข้น 100-500 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร อีกทั้งจากงานวิจัยของ Ikigai et al. (1993) ศึกษาสารสกัดจากพืชในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ พบว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบสามารถต้านทานสารประกอบพอลิฟีนอลิกได้สูงกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์เชื้อแบคทีเรียแกรมลบมีสารลิโปลิแซคคาไรด์ช่วยปกป้องเซลล์แบคทีเรีย จึงสามารถป้องกันความเสียหายจากสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ รวมทั้งโครงสร้างของผนังเซลล์เชื้อแบคทีเรียแกรมลบซับซ้อนกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก

เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากแหล่งต่าง ๆ พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการการย่อยด้วยเอนไซม์โคตินเนสและเอนไซม์โคโตซานสที่ไดจากต้นอ่อนกระถินบ้านอายุ 2 สัปดาห์ที่ใช้เวลาในการย่อย 0.5 ชั่วโมง สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 6 สายพันธุ์ โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 0.195-0.39 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งดีกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น Benhabiles et al. (2012) ศึกษาการใช้โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซานด้วยเอนไซม์ปาเปนยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ 12 สายพันธุ์พบว่าค่า MIC เท่ากับ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร Laoluldilok et al. (2017) ศึกษาการใช้โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซานด้วยเอนไซม์ปาเปนยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 4 สายพันธุ์พบว่าค่า MIC อยู่ในช่วง 16-32 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร Tsai et al. (2000) ศึกษาการใช้โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซานเปลือกกุ้งด้วยเอนไซม์เซลลูเลสยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 10 สายพันธุ์ของ พบว่า มีค่า MIC อยู่ในช่วง 5-29 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดโมเลกุล 6-8 หน่วย สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบได้ดี เพราะโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดโมเลกุล 6-8 หน่วย สามารถผ่านชั้นผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียเข้าไปภายในเซลล์และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการแสดงออกของยีน (Gene Expression) (Tsai & Su, 1999)

สรุป

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคตินเนสจากต้นอ่อนกระถินบ้านที่มีอายุ 2 สัปดาห์ จะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ของ (GlcNAc)₅, (GlcNAc)₆, (GlcNAc)₇ และ (GlcNAc)₈ เท่ากับ 93.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าโมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcNAc)₁, (GlcNAc)₂, (GlcNAc)₃ และ (GlcNAc)₄ และโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคโตซานสกัดจากต้นอ่อนกระถินบ้านที่มีอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการย่อย 0.5 ชั่วโมง จะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ของ (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ เท่ากับ 94.09

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าโมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcN)₁, (GlcN)₂, (GlcN)₃ (GlcN)₄, เมื่อเปรียบเทียบโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซานเนสจะมีร้อยละของโมเลกุลขนาดใหญ่มากกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคตินเนสเล็กน้อยคือ 0.35

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซานเนสและเอนไซม์โคตินเนสสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 6 สายพันธุ์ แบ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก 3 สายพันธุ์คือ *B. cereus* ATCC 11778, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *S. aureus* ATCC 25923 เชื้อแบคทีเรียแกรมลบ 3 สายพันธุ์คือ *E. coli* ATCC 25922, *P. aeruginosa* ATCC 27853 และ *V. parahaemolyticus* ATCC 17802 โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) เท่ากัน ยกเว้นเชื้อแบคทีเรีย *L. monocytogenes* ที่ถูกยับยั้งด้วยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซานเนสเข้มข้นน้อยกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคตินเนส เนื่องจากโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซานเนสมีปริมาณมากกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคตินเนส เพราะโมเลกุลขนาดใหญ่ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จะมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียดีกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก โดยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์โคโตซานเนสที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง จะมีความสามารถในการยับยั้งและฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคตินในรูปคอลลอยด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์โคตินเนสที่ใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

1. นำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ไปใช้ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และต้านอนุมูลอิสระในอาหารบางชนิด
2. แยกโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ตามขนาดต่าง ๆ ให้บริสุทธิ์เพื่อเพิ่มมูลค่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เอกสารอ้างอิง

- มานะ ขาวเมฆ. (2562ก). การต้านอนุมูลอิสระของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยโคโตซานจากก้ามปูกระถินบ้าน ข้าว กข.6 และข้าวฟ่าง เเคู 630. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 14(3), 62-71.
- มานะ ขาวเมฆ. (2562ข). การตรวจหา คุณลักษณะ และการยับยั้งเชื้อราของโคโตซานจากพืชไทย. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 14(1), 1-10.
- มานะ ขาวเมฆ. (2563). ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคู 630 ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคตินเนส. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 15(2), 119-130.

- มานะ ขาวเมฆ. (2565).ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคโตซานสที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปู. **วารสารวิจัยและพัฒนา วลัยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 17(3), 17-31.
- มานะ ขาวเมฆ, และวรางคณา เทศทอง. (2564). ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์ไคติเนสจากกระถินบ้าน. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 2(2), 16-27.
- Baureithel, K., Felix, G. & Boller, T. (1994). Specific, High Affinity Binding of Chitin Fragments Tomato Cells and Membranes, Competitive Inhibition of Binding by Derivatives of Chitooligosaccharides and a Nod Factor of Rhizobium. **Journal of Biological Chemistry**, 269(27), 17931-8.
- Benhabiles, M. S., Salah, R., Lounici, H., Drouiche, N., Goosen, M. F. A. & Mameri, N. (2012). Antibacterial Activity of Chitin, Chitosan and its Oligomers Prepared from Shrimp Shell Waste. **Food Hydrocolloids**, 29, 48-56.
- Berger, L. R. & Reynold, D. M. (1958). The Chitinase System of a Strain of *Griseus*. **Biochimica et Biophysica Acta**, 29(3), 522-534.
- Boller, T., Gehri, A., Mauch, F. & Vogeli, U. (1983). Chitinase in Bean Leaves: Induction by Ethylene, Purification, Properties and Possible Function. **Planta**, 157, 22-31.
- Chemin, L. S., Fuente, L. D., Sobolev, L. V., Haran, S., Vorgias, C. E., Oppenheim, A. B. & Chet, I. (1997). Molecular Cloning, Structural Analysis and Expression in *Escherichia coli* of a Chitinase Gene from *Enterobacter agglomerans*. **Applied and Environmental Microbiology**, 63(3), 834-839.
- Cockerill, F. R., Hindler, J. A., Wikler, M. A., Patel, J. B., Alder, J. & Powell, M. (2012a). Clinical and Laboratory Standards Institute. **Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard-eleventh Edition**, CLSI document M02-A11. Vol.32 no.1. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, Pennsylvania USA.
- Cockerill, F. R., Hindler, J. A., Wikler, M. A., Patel, J. B., Alder, J. & Powell, M. (2012b). Clinical and Laboratory Standards Institute. **Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria that Grow Aerobically; Approved Standard-ninth Edition**. CLSI document M07-A9. Vol.32 no.2. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, Pennsylvania USA.
- Coelho, J. F., Ferreira, P. C., Alves, P., Cordeiro, R., Fonseca, A. C. & Gois, J. R. (2010). Drug Delivery System: Advanced Technologies Potentially Applicable in Personalized Treatments. **EPMA Journal**, 1(1), 164-209.
- Fukuda, T., Isogawa, D., Takagi, M., Kato-murai, M., Kimoto, H., Kusaoke, H., Ueda, M. & Suye, S.I. (2007). Yeast Cell-Surface Expression of Chitosanase from *Paenibacillus fukuinensis*. **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**, 71(11), 2845-2847.
- Ikigai, H., Nakae T., Hara, Y. & Shimamura, T. (1993). Bactericidal Catechins Damage the Lipid Bilayer. **Biochimica et Biophysica Acta**, 1147(1), 132-136.

- Koga, D., Yoshioka, T. & Arakane, Y. (1998). HPLC Analysis of Anomeric Formation and Cleavage Pattern by Chitinolytic Enzyme. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, 62(8), 1643-1646.
- Laokuldiloka, T., Potivasa, T., Kanhaa, N., Surawanga, S., Seesuriyachana, T., Wangtueaia, S., Phimolsiripola, Y., & Regensteina, J. M. (2017). Physicochemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Chitooligosaccharides Produced Using three Different Enzyme Treatments. **Food Bioscience**, 18, 28-33.
- Lowry, O. H., Rosebrougly N. J., Farr, A. L. & Randall, R. J. (1951). Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**, 193, 256-257.
- Moon, C., Seo, D. J., Song, Y. S., Hong, S. H., Choi, S. H. & Jung, W. J. (2017). Antifungal Activity and Patterns of N-acetyl-chitooligosaccharide Degradation via Chitinase Produced from *Serratia marcescens* PRNK-1. **Microbial Pathogenesis**, 113, 218–224.
- Pillai, C. K. S., Paul, W. & Sharma, C. P. (2009). Chitin and Chitosan Polymers: Chemistry, Solubility and Fiber Formation. **Progress in Polymer Science**, 4(2), 641-678.
- Rios, J. L. & Recio, M. C. (2005). Medicinal Plants and Antimicrobial Activity. **Journal of Ethnopharmacology**, 100(1), 80-84.
- Senol, M., Nadaroglu, H., Dikbas, N. & Kotan, R. (2014.) Purification of Chitinase enzymes from *Bacillus subtilis* Bacteria TV-125, Investigation of Kinetic Properties and Antifungal Activity against *Fusarium culmorum*. **Analytical of Clinical Microbiology and Antimicrobials**, 13(1), 3-41.
- Shibuya, N., Kaku, H., Kuchitsu, K. & Maliarik, M. J. (1993). Identification of a Novel High-Affinity Binding Site for N-acetylchitooligosaccharide Elicitor in the Plasma Membrane Fraction from Suspension-Cultured Rice Cells. **Federation of European Biochemical Societies**, 329, 75–78.
- Tolaimate, A., Desbrieres, J., Rhazi, M. & Alagui, A. (2003) . Contribution to the Preparation of Chitins and Chitosan with Controlled Physic-Chemical Properties. **Polymer**, 44(26), 7939- 7952.
- Tsai, G. J. & Su, W. H. (1999). Antibacterial Activity of Shrimp Chitosan against *Escherichia coli*. **Journal of Food Protection**, 62, 239-243.
- Tsai, G. J., Wu, Z. Y. & Su, W. H. (2000). Antibacterial Activity of a Chitooligosaccharide Mixture Prepared by Cellulase Digestion of Shrimp Chitosan and Its Application to Milk Preservation. **Journal of Food Protection**, 63(6), 747-752.
- Van Vuuren, S. F. (2008). Antimicrobial Activity of South African Medicinal Plants. **Journal of Ethno-pharmacology**, 119(3), 462-472.
- Yamada, A., Shibuya, N. & Kodama, O. (1993). Induction of Phytalexin Formation in Suspension-cultured Rice by N-Acetyl-chitooligodaccharides. **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**, 57(3), 405-409.
- Yan, W., Peigen, Z., Jianxing, Y., Xiaorong, P., Pingping, W., Weiqing, L. & Shendan, T. (2007). Antimicrobial Effect of Chitooligosaccharides Produced by Chitosanase from *Pseudomonas* CUY8. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, 16(1), 174-177.

การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับกล้องวงจรปิดด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหา เชิงนวัตกรรรม กรณีศึกษาพื้นที่เกษตรสวนมังคุด จังหวัดนครศรีธรรมราช

อรุณรักษ์ ตันพานิช^{1*} คทาวุธ ชุมขวัญ² ศุภกร แก้วละเอียด³ อรสา มั่งสกุล⁴

Received : April 2, 2023

Revised : October 19, 2023

Accepted : November 21, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความต้องการสำหรับการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับกล้องวงจรปิด ด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรรม โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 51 คน สำหรับสถิติที่ใช้ประกอบด้วยร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และดัชนีลำดับความสำคัญจำเป็น (PNI Modified) ผลการวิจัยพบว่าผลประเมินความต้องการสำหรับพัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตรพบว่ามีความต้องการด้านเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดภายในพื้นที่ สวนมังคุดอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = .064) ซึ่งกล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์ต้องบันทึกวิดีโอตลอดทั้งกลางวันและกลางคืนและพลังงานสำรองภายในเวลาแสงน้อยหรือเวลากลางคืน ผู้วิจัยได้พัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 12 โวลต์ 10 วัตต์ จัดเก็บพลังงานผ่านคอนโทรลชาร์จเจอร์ในแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมขนาด 12 โวลต์ กระแสไม่ต่ำกว่า 20 แอมแปร์-ชั่วโมง เพื่อให้กล้องวงจรปิดบันทึกเหตุการณ์ที่เป็นภาพเคลื่อนไหวและภาพนิ่งสำหรับสังเกตการณ์ในพื้นที่ทางการเกษตรที่ห่างไกลระบบส่งจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

คำสำคัญ: กล้องวงจรปิด เกษตร พลังงานแสงอาทิตย์ มังคุด

¹ อาจารย์ ดร. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อีเมล: aroonrak.t@rmutsv.ac.th

² อาจารย์ สาขาวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อีเมล: katawoot.ch@rmutsv.ac.th

³ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อีเมล: suppakorn.k@rmutsv.ac.th

⁴ ผู้ช่วยนักวิจัย อีเมล: orasa.ruts@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: aroonrak.t@rmutsv.ac.th

DESIGNING A SOLAR CELL POWER GENERATION SYSTEM FOR CCTV WITH TRIZ THEORY:
A CASE STUDY OF MANGOSTEEN ORCHARD FARMLAND IN
NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE

Aroonrak Tunpanit^{1*} Katawoot Chumkwun² Suppakorn Kaewlaied³ Orasa Mangsakul⁴

Abstract

The purpose of this research was to assess the need for necessity of designing a solar power generation system for CCTV cameras by employing innovative problem-solving theory. The target group consisted of 51 mangosteen farmers in Nakhon Si Thammarat Province. The statistical analysis included percentages, means, standard deviations, and the Priority Needs Index (PNI_{Modified}). The research results indicated a high demand for CCTV camera technology in mangosteen orchard areas ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.064). The solar-powered CCTV camera was required to continuously record video footage throughout the day and night, with backup power stored in a lithium battery with a capacity of at least 20 amp-hours for a minimum of 3 days. The researchers, then, developed a solar-powered CCTV camera system comprising a 10-watt, 12-volt solar panel that stores energy through a charge controller in a 12-volt lithium battery, with a current of not less than 20 amperes per hour, enabling the recording of moving and still images for observation in remote agricultural areas and the distribution of electricity through the local electricity authority.

Keywords: CCTV camera, Agriculture, Solar energy, Mangosteen

¹ Lecturer Dr. of Business Computer, Rattaphum Collage, Rajamangala University of Technology Srivijaya, e-mail: aroonrak.t@rmuts.ac.th

² Lecturer of Electrical Technology, Rattaphum Collage, Rajamangala University of Technology Srivijaya, e-mail: katawoot.ch@rmuts.ac.th

³ General Administration Officer, Rattaphum Collage, Rajamangala University of Technology Srivijaya, e-mail: suppakorn.k@rmuts.ac.th

⁴ Research assistant, e-mail: orasa.ruts@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: aroonrak.t@rmuts.ac.th

บทนำ

ปัจจุบัน มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเกษตรมากขึ้น ตั้งแต่ขั้นตอนการคัดเลือกหรือควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างผลผลิต ตลอดไปถึงกระบวนการเพิ่มคุณภาพของผลผลิต การรักษาระดับอุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และสารอาหาร โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยและสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติเป็นเครื่องมือในการควบคุม ส่งผลให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตามมาตรฐานการส่งออกหรือสามารถส่งจำหน่ายได้ทันตามความต้องการของผู้บริโภค หรือสามารถควบคุมช่วงเวลาในการเก็บผลผลิต และผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทำให้เกษตรกรมีรายได้มั่นคงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีมาช่วยในการป้องกันและแก้ปัญหาการลักขโมยผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาสูง โดยเฉพาะผลไม้ที่เป็นที่ชื่นชอบของทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ นั่นคือมังคุดหรือราชินีของผลไม้ที่ได้รับฉายาว่า Queen of Fruits (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดนครราชสีมา, 2562) มังคุดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวานอมเปรี้ยวที่กลมกล่อม คนส่วนมากติดใจในรสชาติและผลมีลักษณะสวยงาม ประเทศไทยมีชื่อเสียงในการส่งออกมังคุดไปยังต่างประเทศเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ทั้งในรูปผลสดและผลแช่แข็ง และมีแนวโน้มส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี จนสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก มังคุดจึงเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สร้างมูลค่าสูงเป็นที่ชื่นชอบของชาวไทยและชาวต่างชาติ ปัจจุบัน มังคุดมีมูลค่าการส่งออกปีละมากกว่า 1,500 ล้านบาท โดยจังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกมังคุด 5 อันดับแรกของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี นครราชสีมา ชุมพร ตรัง และระยอง โดยจังหวัดดังกล่าวมีศักยภาพด้านการส่งออกผลผลิตมังคุดจำนวนมาก

สำหรับการสำรวจเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดโดยศึกษาจากเกษตรกรภายในจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 51 คน บางพื้นที่สวนมังคุดมีขนาดใหญ่และอยู่ห่างไกล เจ้าของสวนไม่สามารถดูแลผลผลิตได้ทั่วถึงทั้งหมดจึงง่ายต่อการถูกลักขโมย แม้ว่าจะใช้การติดกล้องวงจรปิดแต่แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่ครอบคลุมในบางพื้นที่ (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดนครราชสีมา, 2562) ทำให้ให้ผลผลิตมังคุดในพื้นที่ล้นตาถูกขโมยได้ง่าย ส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรเป็นจำนวนมาก รวมทั้งเป็นปัญหาที่กระทบด้านการควบคุมความปลอดภัยของพื้นที่ทางการเกษตรด้วย ดังนั้นการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถบันทึกข้อมูลภาพและเสียงได้ตลอดเวลา คือกล้องวงจรปิดที่ทำหน้าที่ตรวจสอบติดตามความเคลื่อนไหวเพื่อเก็บเป็นหลักฐานด้านการรักษาความปลอดภัย (กองพัน อารักษ์, 2560) ที่ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลเพื่อลดความสูญเสียของผลผลิตและความปลอดภัยของเกษตรกร และอาจทำให้ผู้โจรกรรมเกิดความหวาดกลัว โดยกล้องวงจรปิดที่นำมาใช้ต้องมีระบบไฟฟ้าที่สามารถเชื่อมต่อระบบตลอดเวลาแบบเรียลไทม์ สามารถบันทึกเหตุการณ์ และดูภาพย้อนหลัง เพื่อใช้เป็นหลักฐานในการขโมยได้ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการใช้งาน หากมีฉาชีพลักขโมยหรือผู้ก่อเหตุรู้ว่ามีการรักษาความปลอดภัยด้วยกล้องวงจรปิดแล้วลงมือตัดระบบไฟฟ้า ทำให้กล้องวงจรปิดหยุดการทำงาน หรือระบบไฟฟ้าขัดข้องกล้องวงจรปิดจะไม่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น เกษตรกรจึงต้องเลือกแหล่งให้พลังงานที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่กล้องวงจรปิดทำงานตลอดเวลา โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงาน (วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และคณะ, 2561)

จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนากล้องวงจรปิดที่ใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งกล้องวงจรปิดสามารถทำงานได้ตลอดเวลา โดยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานสะอาดสามารถเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่โดยมีวงจรคอนโทรลชาร์จเจอร์ (Control charger) สำหรับควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่พร้อมทั้งควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังกล้องวงจรปิด ซึ่งช่วยลดปัญหาพื้นที่เกษตรขนาดใหญ่ส่งผลต่อต้นทุนการเดินสายไฟสำหรับ

จ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังกล่องวงจรปิด ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรถูกโจรกรรมและส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูกมังคุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินความต้องการกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร
2. เพื่อศึกษาและออกแบบกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตรด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม
3. เพื่อพัฒนากล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยโดยกำหนดกลุ่มประชากร ได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ในจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวนทั้งสิ้น 51 คน ซึ่งกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามตาราง Yamane (1967) ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 ซึ่งงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 การประเมินความต้องการจำเป็นจากเกษตรกรผู้ปลูกมังคุด

โดยแทนค่าในตารางกำหนดกลุ่มตัวอย่างได้จำนวนเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 51 คน ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์กลุ่มตัวอย่าง 1) เป็นเกษตรกรหรือเจ้าของสวนมังคุด ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช และ 2) ระยะเวลาที่ปลูกมังคุดมากกว่า 5 ปี

ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามสำหรับประเมินความต้องการจำเป็นกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตร โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านวัสดุที่ใช้ 2) ด้านเทคโนโลยี 3) ด้านวิธีการใช้งาน ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลจากการประเมินความต้องการจำเป็น โดยอาศัยแบบการเรียงลำดับความสำคัญของข้อมูล Modified Priority Needs Index : PNI_{Modified} ซึ่งปรับปรุงโดยนงลักษณ์ วิรัชชัย และสุวิมล ว่องวานิช (Vongvanit, 2007)

$$PNI_{Modified} = \frac{I - D}{D}$$

เมื่อ	PNI	หมายถึง
	I	หมายถึง ดัชนีลำดับความสำคัญต้องการจำเป็น
	D	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของสภาพที่ควรจะเป็น
		หมายถึง ค่าเฉลี่ยของสภาพที่เป็นอยู่

ทั้งนี้ข้อมูลจากข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกมังคุด จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยแบบสอบถามต้องผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence : IOC) ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.60 – 1.00 และตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของครอนบาคได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.988 สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยใช้ โปรแกรม SPSS วิเคราะห์หาค่าสถิติต่าง ๆ โดยการหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าลำดับความต้องการ (PNI_{Modified})

ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00	หมายถึง	ความต้องการจำเป็นในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49	หมายถึง	ความต้องการจำเป็นในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49	หมายถึง	ความต้องการจำเป็นในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49	หมายถึง	ความต้องการจำเป็นในระดับน้อย
คะแนน 1.00 - 1.49	หมายถึง	ความต้องการจำเป็นในระดับน้อยที่สุด

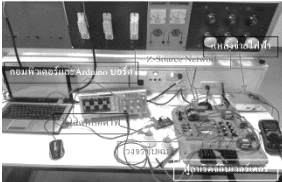
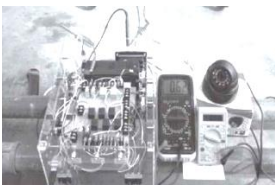
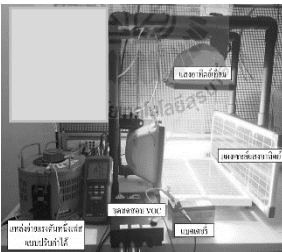
ส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาและออกแบบกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร ด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม

ผู้วิจัยศึกษางานวิจัย สิทธิบัตรและสิ่งประดิษฐ์เพื่อเปรียบเทียบด้านวัสดุ อุปกรณ์และแหล่งพลังงาน และใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (Theory of Inventive Problem Solving: TRIZ) ตามหลักการคิดค้น และออกแบบประดิษฐ์กรรมสำหรับแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่พบในทางอุตสาหกรรมให้มีฟังก์ชันการใช้งานสูงสุด

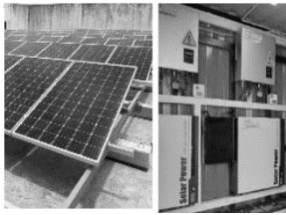
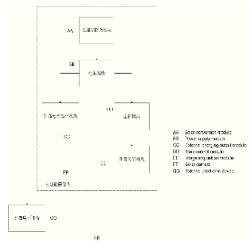
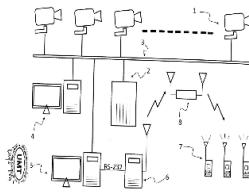
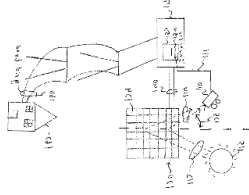
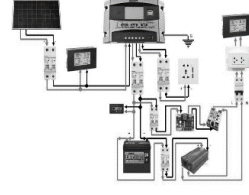
ตอนที่ 2.1 การศึกษากล่องวงจรปิดจากเอกสารและงานวิจัย

จากการศึกษากล่องวงจรปิดจากเอกสารและงานวิจัยเพื่อศึกษาเป็นแนวทางสำหรับศึกษาวัสดุที่ใช้ อีกทั้งเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบและพัฒนากล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยี วัสดุและการใช้งานกล่องวงจรปิด

ชื่ออุปกรณ์	เทคโนโลยี/การใช้งาน	ภาพประกอบ	ชื่อผู้ประพันธ์
อินเวอร์เตอร์อิมพีแดนซ์ แบบสองอินพุตสำหรับ พลังงานทดแทน	- อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว - บอร์ด Arduino - วงจรแปลงผันไฟฟ้า		บัญชา หิรัญสิงห์ เฉลิมชนม์ ตั้งวิชรัตน์ และโยชิตา เจริญศิริ (2565)
วงจรคอนเวอร์เตอร์เร โซแนนซ์แบบ สองทิศทางสำหรับกล่อง วงจรปิดพลังงาน แสงอาทิตย์	- วงจรดีซี ทูคอนเวอร์ เตอร์ - แบตเตอรี่ - กล่องวงจรปิด แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ - แผงโซลาร์เซลล์		วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ สุวัฒน์ กิจเจริญวัฒน์ และสายชล ชุตเจื้อจัน (2561)
กล่องควบคุมพลังงาน แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพสูงสำหรับ แปลงเกษตร	- โปรแกรม Power System Blocksets - อุปกรณ์จ่ายแรงดัน หนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ - ชุดทดสอบ VOC - แบตเตอรี่ - แผงเซลล์แสงอาทิตย์		กองพันธ์ อารีรักษ์ และปทุมพร วงศ์ใหญ่ (2560)
แนวทางการจัดการ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ตามปรัชญา ของเศรษฐกิจพอเพียง ในชุมชน จังหวัดสิงห์บุรี	- ระบบผลิตไฟฟ้าจาก แผงโซลาร์เซลล์ - แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต - คอนโทรลชาร์จเจอร์ - หลอดไฟ DC 12V		ณิชาภัทร วิสุทธิปารณีย์ (2560)

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยี วัสดุและการใช้งานกึ่งวงจรรปิด (ต่อ)

ชื่ออุปกรณ์	เทคโนโลยี/การใช้งาน	ภาพประกอบ	ชื่อผู้ประพันธ์
การทำงานของระบบ ผลิตไฟฟ้าเซลล์ แสงอาทิตย์ร่วมกับ แบตเตอรี่ไฮบริด	- แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด - แบตเตอรี่ลิเทียม โอออนฟอสเฟต 50kWh - แผงโซล่าเซลล์ 50kW - คอนโทรลชาร์จเจอร์		สมชาย เจริญจิตต์สวัสดิ์ และณัฐวงศ์ โพธิ์สุภานันท์ (2565)
Solar Camera	- โมดูลการชาร์จ - คอนโทรลชาร์จเจอร์ - แบตเตอรี่แบบเจล สำหรับเก็บพลังงาน - อุปกรณ์ควบคุมระบบ การชาร์จแบบ BMS		SHENZHEN BAINIAN LILE TECH CO. LTD (2021)
ระบบกึ่งวงจรรปิด และตรวจสอบใบหน้า	- ระบบกึ่งวงจรรปิด ตรวจจับใบหน้า - ระบบตรวจสอบ ประมวลผลภาพด้าน ความปลอดภัย		โรเบิร์ต บอช จีเอ็มบีเอช อนุสิทธิบัตร (2560)
Irradiance Based Solar Panel Power Point Tracking	- แผงโซล่าเซลล์ - คอนโทรลชาร์จเจอร์ สำหรับแปลงไฟ - ระบบแบตเตอรี่ลิเทียม โอออน		Worester Polytechnic Institute (2018)
ระบบสาธิตผลิต กระแสไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์สำหรับ ชุมชนฐานรากระดับ ครัวเรือน	- คอนโทรลชาร์จเจอร์ ระบบ MPPT - แผงโซล่าเซลล์ - อินเวอร์เตอร์เพียวไซ - แบตเตอรี่แบบแห้ง		ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล และกฤษฎณะ จันทสิทธิ์ (2564)

จากตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบเทคโนโลยี วัสดุและการใช้งานสำหรับกึ่งวงจรรปิด พบว่า อุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับอัดประจุและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยคอนโทรลชาร์จเจอร์ แผงโซล่าเซลล์ และแบตเตอรี่ทำหน้าที่สำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้กึ่งวงจรรปิดสามารถทำงานในช่วงเวลาขณะมีแสงแดด และสำรองไว้ในแบตเตอรี่เพื่อให้กึ่งวงจรรปิดทำงานอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาแสงน้อยหรือช่วงกลางคืน สามารถบันทึกภาพ-เสียงและบันทึกลงหน่วยความจำภายในกึ่งวงจรรปิดหรือเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เครื่องสำหรับเรียกดูข้อมูลภาพหรือบันทึกวิดีโอย้อนหลัง

ตอนที่ 2.2 การวิเคราะห์ความขัดแย้งของกล่องวงจรปิด

การวิเคราะห์แนวทางการพัฒนากล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร โดยพิจารณาความขัดแย้งของคุณสมบัติอุปกรณ์ หลักการคิดค้นและออกแบบประดิษฐ์กรรมสำหรับแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่พบในทางอุตสาหกรรมให้มีฟังก์ชันการใช้งานสูงสุด ลดฟังก์ชันที่เป็นโทษอีกทั้งทรัพยากรที่ต้องใช้ด้วยทฤษฎี TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) (Chachee , 2011) โดยกำหนดคุณสมบัติหรือตัวแปรหนึ่งแล้วส่งผลกระทบอีกคุณสมบัติหนึ่งในทางตรงกันข้าม ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่

2.1. ความขัดแย้งด้านการจัดการ

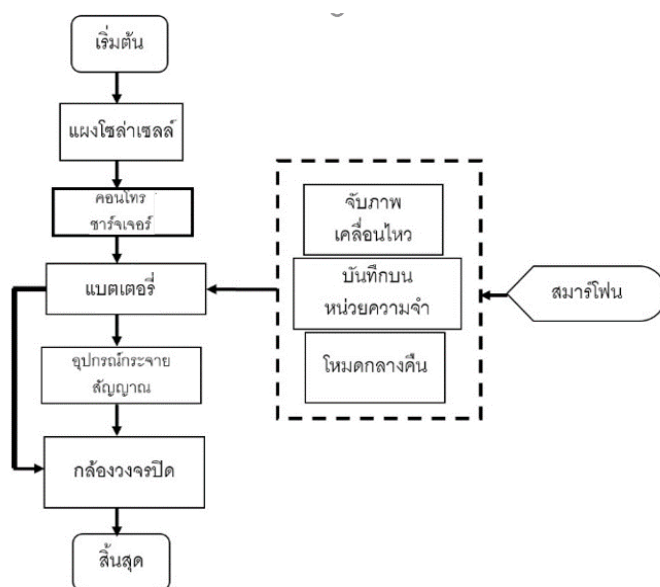
- พื้นที่เกษตรต้องบันทึกภาพตลอดเวลาแต่พลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอ
- กล่องบันทึกข้อมูลเหตุการณ์ตลอดเวลาแต่ไม่มีระบบแจ้งเตือนเมื่อมีสิ่งผิดปกติ

2.2 ความขัดแย้งด้านเทคนิค

- กล่องบันทึกภาพกลางแจ้งแต่ต้องทนต่อน้ำและความชื้น
- กล่องบันทึกเหตุการณ์ปัจจุบันแต่สามารถเปิดดูข้อมูลเหตุการณ์ย้อนหลังจากหน่วยความจำ

สำรองได้

ส่วนที่ 3 การพัฒนากล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุมกล่องวงจรปิด

ขั้นตอนการทำงานของกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีแหล่งให้พลังงานจากแสงอาทิตย์ผ่านอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ชาร์จเจอร์สำหรับควบคุมกล่องวงจรปิด สามารถทำงานตลอดเวลาและสามารถเปิดดูกล่องวงจรปิดผ่านแอปพลิเคชัน eye4 เพื่อดูภาพแบบเรียลไทม์หรือดูวิดีโอย้อนหลังจากหน่วยความจำที่บันทึก

ผู้วิจัยคำนวณและออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบออฟกริด (Off-Grid) ซึ่งใช้กับกล่องวงจรปิด 12 โวลต์ขนาด 1 วัตต์ โดยกล่องวงจรปิดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง จึงได้แทนค่าการคำนวณกำลังใช้งานของกล่องวงจรปิดและหาขนาดกระแสของแบตเตอรี่ ดังสมการต่อไปนี้

(1) การหาค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลด โดยแทนค่าในดังสมการต่อไปนี้

$$Wh = W \times h$$

Wh = หน่วยของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด

W = หน่วยของกำลังไฟฟ้าของโหลด

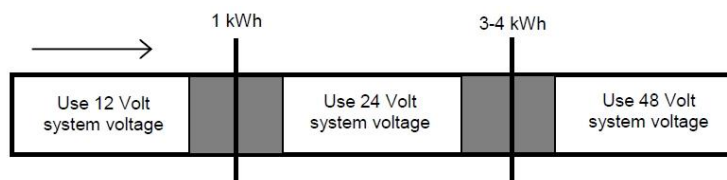
h = จำนวนชั่วโมงที่ใช้

แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned}\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าของกล่องวงจรปิด} &= 1W \times 24h \\ &= 24Wh\end{aligned}$$

(2) การหาขนาดความจุของแบตเตอรี่

การหาขนาดความจุของแบตเตอรี่โดยใช้เกณฑ์จากเลือกโหลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าแต่ละระบบ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้า

จากภาพที่ 2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของโหลดน้อยกว่า 1 kWh ใช้แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม กับอุปกรณ์ ควรเลือกใช้แรงดันระบบ 12 โวลต์ ซึ่งผู้วิจัยได้คำนวณการแปลงค่าพลังงานไฟฟ้าของกล่องวงจรปิด (Wh) ให้เป็นค่าขนาดความจุของแบตเตอรี่ แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ดังสมการ

$$P = V \times I$$

P = กำลังไฟฟ้า

V = แรงดันไฟฟ้า

I = กระแสไฟฟ้า

$$\text{แทนค่า หาขนาดความจุแบตเตอรี่ (Ah)} = 24Wh / 12V = 2Ah$$

โดยกำหนดสมมติฐานกรณีหากมีแสงอาทิตย์น้อยจะต้องมีไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เพื่อให้กล่องทำงานได้อย่างต่อเนื่องระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 3 วัน กล่องวงจรปิดยังมีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอสำหรับการใช้งาน โดยแทนค่าในสมการ

ขนาดความจุแบตเตอรี่ (Ah) = $2Ah \times 3\text{day} = 6Ah$ แทนค่า ค่าการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่หรือเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่แบตเตอรี่เก็บสำรองไว้ได้ ส่วนใหญ่เราจะประมาณการให้ จ่ายพลังงานที่ความลึก (Depth of Discharge : DoD) โดยกำหนดไม่เกินกว่า 80% เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยแทนค่าลงในสมการ

$$\text{ความจุแบตเตอรี่(Ah)} 6Ah / 0.8 = 7.5Ah \text{ ที่แรงดันไฟฟ้าระบบ 12 โวลต์ (V)}$$

(3) การคำนวณหาขนาดการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ (PV)

ซึ่งประเทศไทยมีแสงแดดปริมาณชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวันประมาณ 4-5 ชั่วโมง แล้วแต่ฤดูกาล (โซล่า โซลูชั่น, 2563) โดยผู้วิจัยแทนค่าพลังงานไฟฟ้าของกล่องวงจรปิด 24 Wh และใช้

แรงดันไฟฟ้าระบบ 12 โวลต์ (V) ได้แทนค่าปริมาณแสงแดดลดลงในสมการเพื่อคำนวณหาขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้า (PV) ดังสมการ

$$PV = \frac{\text{ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโหลด (Wh)} \times \frac{24\text{Wh}}{12\text{V}}}{\text{ชั่วโมงแสงแดด}}$$

$$PV = (24\text{Wh} \times 2) / 4\text{h}$$

$$PV = 12\text{W} \text{ หรือมากกว่าได้ เช่น } 20\text{W}$$

(4) การหาขนาดกระแสไฟฟ้าของคอนโทรลชาร์จเจอร์ระบบ 12 หรือ 24V แบบอัตโนมัติโดยแทนค่าลงในสมการ

$$A = W / V$$

A = ขนาดกระแสไฟฟ้าของโซล่าชาร์จเจอร์

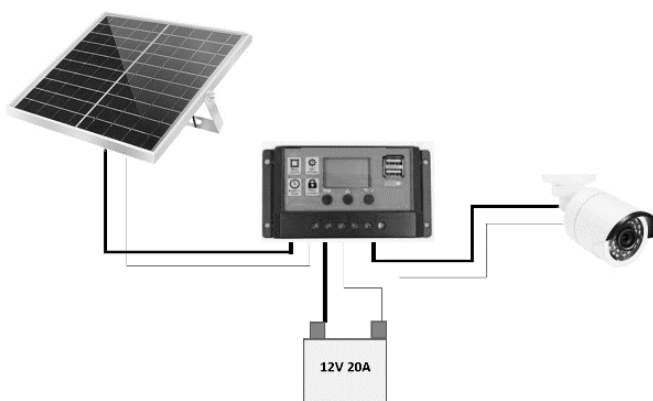
W = กำลังการผลิตไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์

V = ระบบไฟฟ้าที่ใช้งาน

$$\text{แทนค่าลงในสมการ} = 10.38\text{W} / 12\text{V}$$

$$= 0.87\text{A} \text{ หรือมากกว่า เช่น } 5\text{A}$$

เมื่อทราบความจุของขนาดของแบตเตอรี่และการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อวันผู้วิจัยจึงได้ออกแบบวงจรการทำงานและรูปแบบของกล่องวงจรปิดเพื่อเป็นต้นแบบอุปกรณ์กล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3 วงจรการทำงานของกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์

โครงสร้างของกล่องวงจรปิด ประกอบด้วยวงจรคอนโทรลชาร์จเจอร์ กล่องวงจรปิดและแบตเตอรี่ ซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องอุปกรณ์ขนาดความกว้าง 16 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 20 แอมแปร์-ชั่วโมง เพื่อให้กล่องวงจรปิดทำงานตลอดเวลาเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ โดยมีแกนเหล็กสำหรับจับยึดแผงโซล่าเซลล์ทั้ง 2 สามารถปรับระดับได้ โดยกล่องวงจรปิดเพื่อให้อาจสามารถรับแสงแดดได้ตลอดทั้งวัน



ภาพที่ 4 ต้นแบบกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์จะมีแท่นรับสำหรับจับยึดหรือสวมลงในเสาในระดับความสูง 3.5 - 4 เมตร ซึ่งกล่องวงจรปิดจะจับยึดกล่องอุปกรณ์สามารถปรับระดับกล่องตั้งแต่ 300 – 330 องศา และแสดงภาพขยายที่ส่วนกว้าง (Panorama) ซึ่งกล่องวงจรปิดโดยแสดงผลผ่านจอโทรศัพท์สมาร์ทโฟนและบันทึกเหตุการณ์วีดีโอตลอดเวลาเพื่อความปลอดภัยของพื้นที่เกษตรสำหรับปลูกผลผลิตมั่งคุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ผลการประเมินความต้องการจำเป็นสำหรับพัฒนากล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตร

ผลประเมินความต้องการจำเป็นกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตรโดยแสดงผลข้อมูลทั่วไปและแบบประเมินความต้องการจำเป็น ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ	51	100
ชาย	32	62.75
หญิง	19	37.25
อายุ		
น้อยกว่า 30 ปี	4	7.84
31-45 ปี	11	21.57
46-60 ปี	26	50.98
มากกว่า 60 ปี	10	19.61

ตารางที่ 2 ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม (ต่อ)

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
ขนาดพื้นที่ (ไร่)		
น้อยกว่า 50 ไร่	7	13.73
51-100 ไร่	9	17.65
101 - 150 ไร่	22	43.14
151 - 200 ไร่	13	25.49
มากกว่า 200 ไร่		
ระยะประกอบอาชีพ (ปี)		
น้อยกว่า 5 ปี	3	5.88
6-10 ปี	7	13.73
11-15 ปี	15	29.41
16-20 ปี	17	33.33
มากกว่า 20 ปี	9	17.65

ผลการวิจัย พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 62.75 ส่วนมากมีอายุระหว่าง 46 - 60 ปี จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 50.98 มีขนาดพื้นที่เพาะปลูกมั่งคุด 101-150 ไร่ จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 43.14 และประกอบอาชีพเป็นเกษตรกรปลูกมั่งคุด 16-20 ปี จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 33.33

ตารางที่ 3 ผลประเมินความต้องการจำเป็นสำหรับพัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตร

ความต้องการ ด้านต่าง ๆ	สภาพที่เป็นอยู่				สภาพที่ควรจะเป็น				PNI	ลำดับ
	$\bar{X}$	S.D.	แปล ผล	ลำดับ	$\bar{X}$	S.D.	แปล ผล	ลำดับ		
ด้านวัสดุที่ใช้										
1. กล้องวงจรปิดมี มาตรฐานกันน้ำ	2.33	0.627	น้อย	6	4.10	0.703	มาก	8	0.76	6
2. มีแผงโซล่าเซลล์ สำหรับผลิตไฟฟ้า	2.42	0.728	น้อย	4	4.02	0.732	มาก	9	0.66	8
3. แบตเตอรี่เก็บ พลังงานไฟฟ้าได้ หลายครั้ง	2.31	0.756	น้อย	7	4.21	0.651	มาก	5	0.82	4
รวม	2.35	.068	น้อย	-	4.11	.041	มาก	-	0.74	-

ตารางที่ 3 ผลประเมินความต้องการจำเป็นสำหรับพัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตร (ต่อ)

ความต้องการ ด้านต่าง ๆ	สภาพที่เป็นอยู่				สภาพที่ควรจะเป็น				PNI	ลำดับ
	$\bar{X}$	S.D.	แปล ผล	ลำดับ	$\bar{X}$	S.D.	แปล ผล	ลำดับ		
ด้านเทคโนโลยี										
4. กล้องวงจรปิด บันทึกความ เคลื่อนไหวและมี ระบบอินฟราเรด	2.35	0.756	น้อย	5	4.52	0.644	มากที่สุด	1	0.71	7
5. สามารถดูวิดีโอ ย้อนหลังได้	2.44	0.848	น้อย	3	4.19	0.767	มาก	6	0.78	5
6. สามารถบันทึก วิดีโอ/ภาพนิ่งและ แจ้งเตือน	2.65	0.999	ปาน กลาง	1	4.50	0.674	มากที่สุด	2	0.84	3
รวม	2.48	.123	น้อย	-	4.40	.064	มาก	-	0.77	-
ด้านการใช้งาน										
7. บันทึกวิดีโอ ตลอดทั้งกลางวัน และกลางคืน	2.58	0.923	น้อย	2	4.35	0.782	มาก	3	1.67	1
8. มีแบตเตอรี่ สำรองพลังงานเมื่อ ไม่มีแสงอาทิตย์	2.04	0.796	น้อย	8	4.29	0.783	มาก	4	1.10	2
9. สามารถย้าย ตำแหน่งกล้องวงจร ปิด	1.63	0.644	น้อย	9	4.12	0.927	มาก	7	0.60	9
รวม	2.08	.140	น้อย	-	4.25	.084	มาก	-	1.04	-
รวมทั้งสิ้น	2.31	.038	น้อย	-	4.25	.021	มาก	-	0.82	-

จากตารางที่ 3 ผลประเมินความจำเป็นสำหรับพัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เกษตรเพื่อใช้เป็นแนวทางการสำหรับพัฒนา โดยภาพรวมสภาพที่เป็นอยู่ อยู่ในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.31$, S.D. = .038) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านเทคโนโลยีอยู่ในระดับน้อยที่สุด ($\bar{X} = 2.48$, S.D. = .123) รองลงมาคือด้านวัสดุที่ใช้อยู่ในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.35$, S.D. = .068) และด้านการใช้งานอยู่ในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.08$, S.D. = .140) ตามลำดับ สภาพที่ควรจะเป็น โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = .021) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ต้องการจำเป็นด้านเทคโนโลยีอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = .064) รองลงมาคือด้านการใช้งานอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = .084) และด้านวัสดุที่ใช้อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.11$, S.D. = .041) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าดัชนีลำดับความสำคัญของความต้องการจำเป็น (PNI) ที่มีค่ามากที่สุด คือ กล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์ต้องบันทึกวิดีโอตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน (PNI = 1.67) รองลงมาแบตเตอรี่สามารถสำรองพลังงานเพื่อให้สามารถใช้งานกล้องวงจรปิดได้มากกว่า 3 วัน

(PNI = 1.10) และสามารถสามารถบันทึกวิดีโอ ภาพนิ่งและแจ้งเตือนเมื่อมีสิ่งเคลื่อนไหวในพื้นที่ทางการเกษตร (PNI = 0.84) ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ผลการศึกษาและออกแบบกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร ด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม

ผลการวิเคราะห์ข้อจำกัดและความขัดแย้งกันของตัวแปรต่าง ๆ ทั้ง 2 ด้าน ผู้วิจัยจึงใช้เลือกทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมสำหรับพัฒนากล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์การประดิษฐ์ ด้วยโปรแกรม TRIZ เพื่อแก้ปัญหาในการประดิษฐ์ ดังตารางในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การแก้ไขความขัดแย้งโดยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (TRIZ)

ผลกระทบที่ไม่ต้องการ (ความขัดแย้ง)							
รูปแบบที่ต้องการเปลี่ยนแปลง	1. นำหนักของวัตถุเคลื่อนที่	**	5. พื้นที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่	::	37. ความซับซ้อนของการควบคุม	**	39. ผลิตผล
1. การแบ่งส่วน	วิธีการแก้ปัญหาที่เสนอ แทนที่การทำงานเป็นช่วง ๆ, เปลี่ยนสภาพของวัสดุและใช้วัสดุ ซ่อมแซมได้ที่มีความยืดหยุ่น						
**							
16. พลังงานที่ใช้กับวัตถุไม่เคลื่อนที่					16 37		
**							
40. วัสดุผสม							

จากตารางที่ 4 การแก้ไขความขัดแย้งโดยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (TRIZ) โดยกำหนดรูปแบบที่ต้องการเปลี่ยนแปลงข้อที่ 16 ด้านพลังงานที่ใช้กับวัตถุไม่เคลื่อนที่ โดยเลือกใช้แหล่งพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถกักเก็บพลังงานในแบตเตอรี่เพื่อให้พลังงานไฟฟ้าแก่กล่องวงจรปิด โดยกำหนดผลกระทบที่ไม่ต้องการ (ความขัดแย้ง) สำหรับแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรมข้อที่ 37 ด้านความซับซ้อนของการควบคุม สำหรับควบคุมกล่องวงจรปิดให้สามารถทำงานตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน สำหรับแก้ไขปัญหาดังแทนที่การทำงานเป็นช่วง ๆ ซึ่งสามารถเลือกใช้วัสดุที่สามารถซ่อมแซมหรือทดแทนได้วิธีการแก้ปัญหาที่เสนอแทนที่การทำงานเป็นช่วง ๆ เปลี่ยนสภาพของวัสดุและใช้วัสดุซ่อมแซมได้ที่มีความยืดหยุ่น

ส่วนที่ 3 ผลการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับกล้องวงจรปิดกล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบและติดตั้งกล้องวงจรปิดผู้วิจัยเลือกพื้นที่สูงเพื่อให้กล้องวงจรปิดบันทึกภาพในมุมกว้างและให้แผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสงตลอดวัน



ภาพที่ 5 มุมมองการบันทึกภาพจากกล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 5 แสดงต้นแบบกล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์โดยประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้ภายในกล่องกันน้ำ ซึ่งติดตั้งบนเสาขนาดความสูงขนาด 3.5 เมตร ภายในสวนมังคุด ซึ่งกล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะความกว้างของเลนส์ 125 องศา ระดับความคมชัดขนาด 2048 x 1152 พิกเซล (2K) ซึ่งโดยกำหนดทิศทางที่กล้องวงจรปิดหันทำมุม 315 องศา สำหรับบันทึกวิดีโอและวัตถุเคลื่อนไหวผ่านกล้องวงจรปิดในสามารถแสดงภาพผ่านแอปพลิเคชันสำหรับบันทึกข้อมูลบนหน่วยความจำหรือสามารถเลือกช่วงเวลาสำหรับบันทึกลงในโทรศัพท์มือถือ

ตารางที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้า (Wh)		No Charger	Charger + CCTV
เวลา (นาฬิกา)	9.00 น.	1.43	1.26
	11.00 น.	1.96	1.67
	13.00 น.	1.72	1.58
	15.00 น.	1.52	1.45
พลังงานไฟฟ้า (Wh/day)		13.26	11.92

ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละวันที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ โดยใช้วัตต์มัลติมิเตอร์ (Watt meters) กับแผงโซลาร์เซลล์โดยแบ่งเวลาที่ใช้ในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่จำนวน 4 ช่วงเวลา ซึ่งจะต้องหันแผงโซลาร์เซลล์ไปทางทิศตะวันตกเพื่อให้ได้รับแสงแดดตลอดวัน การวัดกระแสผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 20 วัตต์ 12 โวลต์ ซึ่งมีค่ารับกระแสสูงสุด 1.67 แอมแปร์-ชั่วโมงและการต่อแผงโซลาร์เซลล์ผ่านคอนโทรลเลอร์จอร์เจียสำหรับอัดกระแสพลังงานสู่แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 20 แอมแปร์-ชั่วโมง สำหรับช่วงเวลาที่มียค่าพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน 1.67 วัตต์ ณ เวลา 12.45 น. ซึ่งการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าจะมีค่าลดลงในช่วงเวลา 15.10 น. ซึ่งการกำหนดค่าแสดงผลภาพของกล้องวงจรปิดโดย

เลือกโหมดคลื่นไหลเพื่อการบันทึกภาพวิดีโออย่างต่อเนื่องและประหยัดพลังงานส่งผลให้การเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิดผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์โฟนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

อภิปรายผล

จากการประเมินความต้องการจำเป็นเพื่อออกแบบกล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความต้องการด้านเทคโนโลยีสำหรับป้องกันความปลอดภัยของผลผลิต โดยใช้กล้องวงจรปิดที่มีแหล่งกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ ที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ที่แนวไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง (สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, 2563) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยสำหรับเกษตรกรและมีผลผลิตมังคุดที่ได้รับผลตอบแทนอย่างคุ้มค่า จากการศึกษากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์จากงานวิจัยและสิทธิบัตร พบว่า ใช้แผงโซล่าเซลล์สำหรับจัดเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีความเหมาะสมสำหรับการเก็บพลังงานหลาย ๆ ครั้ง โดยใช้ควบคู่กับคอนโทรลชาร์จเจอร์สำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังช่วยถนอมแบตเตอรี่และกล้องวงจรปิดและมีหน่วยความจำสำหรับบันทึกวิดีโอสามารถเรียกดูผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์โฟนได้ สำหรับผลการพัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทางการเกษตร ผู้วิจัยเลือกใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 12 โวลต์ 10 วัตต์ ต่อกับแบตเตอรี่ลิเทียมขนาด 12 โวลต์ 20 แอมแปร์-ชั่วโมง ต่อกับคอนโทรลชาร์จเจอร์โดยเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิดด้วยสาย USB ที่ใช้พลังงาน 12 โวลต์ 1 แอมแปร์-ชั่วโมง เพื่อให้กล้องวงจรปิดสามารถทำงานได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน และควรมีพลังงานสำรองภายในแบตเตอรี่ในกรณีที่มีแสงน้อยหรือช่วงฝนตกชุก กล้องวงจรปิดยังคงแจ้งเตือนผ่านระบบแอปพลิเคชันบนสมาร์โฟนมาในพื้นที่ภายในสวนเกษตรกร

สรุป

จากการศึกษากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์จากงานวิจัยและสิทธิบัตร พบว่า การนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความเหมาะสมเนื่องจากสภาพอากาศร้อน-ชื้น ซึ่งมีระดับความเข้มข้นของแสงเพียงพอสำหรับการให้พลังงานสำหรับเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิดสามารถทำการควบคุมผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและแอปพลิเคชันของกล้องวงจรปิดสำหรับการควบคุมดูภาพแบบเรียลไทม์หรือบันทึกวิดีโอย้อนหลังได้แม้ในวันที่มีฝนตกหรือมีแสงอาทิตย์น้อย เพื่อเก็บเป็นหลักฐานสำหรับป้องกันความปลอดภัย ซึ่งสอดคล้องต่อการออกแบบระบบกล้องวงจรปิดที่คำนึงถึงขนาดกะทัดรัดสามารถทำการติดตั้งและเชื่อมต่อกับระบบปฏิบัติการบนมือถือก่อนนำไปติดตั้งบนพื้นที่สวนภายในมังคุด

ข้อเสนอแนะ

กล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์ผู้ใช้งานหมั่นเปิดแอปพลิเคชันและอัปเดตระบบของกล้องอย่างสม่ำเสมอและในงานวิจัยต่อไปจึงควรเพิ่มขนาดแผงโซล่าเซลล์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อสำรองพลังงานและใช้งานกล้องวงจรปิดได้อย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องกาพัฒนากล้องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์ ขอขอบคุณวิทยาลัยรัตภูมิ สำนักงานการจัดการนวัตกรรมการเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อีกทั้งผู้ร่วมตอบแบบประเมินความต้องการที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับพัฒนาอุปกรณ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กองพัน อารักษ์, และปทุมพร วงศ์ใหญ่. (2560). **กล่องควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงสำหรับแปลงเกษตรกรรม**. กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระรัตนราชสุทิดาฯ สยามบรมราชกุมารี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- โซล่า โซลูชั่น. (2563). **ศัพท์ทางเทคนิค ที่เกี่ยวข้องกับระบบโซล่าเซลล์ (ปรับปรุง ปี 2563) หัวข้อที่ 1**. สืบค้นจาก <https://www.solarhub.co.th/solar-solutions/486-technical-term-2020-ep1>
- ณิชภัทร วิสุทธิปราณี. (2560). **แนวทางการจัดการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในชุมชน จังหวัดสิงห์บุรี**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บัญชา หิรัญสิงห์, เฉลิมชนม์ ตั้งวิชรพันธ์, และโยษิตา เจริญศิริ. (2565). **การออกแบบอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายอิมพีแดนซ์แบบสองอินพุตสำหรับแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน**. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 17(2), 141-155.
- โรเบิร์ต บอช จีเอ็มบีเอช. (2560). **ระบบกล่องวงจรปิดและตรวจสอบใบหน้า**. อนุสิทธิบัตรประเทศไทย, อนุสิทธิบัตรเลขที่ 7921 (1203001494): มีนาคม 23, 2560.
- วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ, สุวัฒน์กิจเจริญวัฒน์, และสายชล ชุตเจื้อจัน. (2561). **วงจรคอนเวอร์โรรีโซแนนซ์แบบสองทิศทางด้วยการควบคุมแรงดันแบบปรับตัวที่ใช้เคลสำหรับกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์**. วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, 12(1), 64-76.
- ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล, และกฤษณะ จันทสิทธิ์. (2564). **ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน**. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 16(1), 87-102.
- สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์, และณัฐวงศ์ โพธิ์สุภานันท์. (2565). **การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่ไฮบริด**. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปี 2565, หน้า 81-87.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครศรีธรรมราช. (2562). **ฐานข้อมูลเกษตรรายสินค้า พ.ศ. 2562 จังหวัดนครศรีธรรมราช**. หน้า 65 นครศรีธรรมราช ประเทศไทย.
- สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. (2563). **คู่มือโซล่าเซลล์เพื่อการเกษตรฉบับ4ชาวบ้าน**. สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม.
- Chachee, V. (2011). **TRIZ: Theory of Inventive Problem Solving**. The Far Eastern University, 5(2).
- Shenzhen Bainian Lile Tech co.ltd. (2021). **Solar Camera**. International Patent Application Publication. Publish No. WO 2021/098009 A1: November 27, 2021.
- Yamane, T. (1967). **Elementary Sampling Theory**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Worester Polytechnic Institute. (2018). **Irradiance Based Solar Panel Power Point Tracking**. United State Patent Application Publication. Publish No.US 2018/0198285 A1: July 12, 2018.

การพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนโดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ ของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย

ภัชราภรณ์ พิมพา^{1*} อนุรักษ์ เห็นเจริญเลิศ² นิตเศษฐ หมดทองอ่อน³

Received : June 7, 2023

Revised : November 23, 2023

Accepted : November 28, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนโดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของระบบที่พัฒนาขึ้น สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ได้แก่ PHP JavaScript และสร้างฐานข้อมูลด้วย MySQL รวมถึงแสดงสารสนเทศผ่านทาง Google Map API จากนั้นทำการพัฒนาระบบเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้สามารถทำงานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ ระบบที่พัฒนาขึ้นจะทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานเบื้องต้น 4 ด้าน คือ 1) ด้านความต้องการของผู้ใช้ระบบ 2) ด้านหน้าที่ของระบบ 3) ด้านการใช้งานระบบ และ 4) ด้านความปลอดภัยของข้อมูลของระบบ เครื่องมือในการวิจัยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน จำนวน 5 คน และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ จากกลุ่มตัวอย่างที่เลือกแบบเจาะจง ได้แก่ ครูที่ทำหน้าที่ครูที่ปรึกษาจำนวน 4 คน และนักเรียนระดับ ปวช. ชั้นปีที่ 2 จำนวน 50 คน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.60 ส่วนความพึงพอใจในการใช้งานของระบบจากผู้ใช้งาน พบว่าระดับความพึงพอใจต่อระบบในทุก ๆ ด้าน อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 ตามลำดับ

คำสำคัญ: นักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระบบติดตามและวิเคราะห์ ระบุตำแหน่งที่ตั้งเรียลไทม์

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อีเมล: 1982dowwa@gmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อีเมล: Nuttaporn.Hen@stou.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อีเมล: Nithizethe.Mhu@stou.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: 1982dowwa@gmail.com

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME LOCATION-BASED TRACKING AND ANALYSIS SYSTEM FOR MONITORING CLASSROOM ATTENDANCE OF AT-RISK STUDENTS IN THE VOCATIONAL CERTIFICATE PROGRAM AT SUKHOThai VOCATIONAL COLLEGE

Patcharaporn Pimpa^{1*} Nuttaporn Hencharoenlert² Nithizethe Mhuadthongon³

Abstract

This research paper aimed to 1) develop a tracking and analysis system for monitoring the attendance of the at-risk students' group in the vocational certificate program at Sukhothai Vocational College using real-time location determination, 2) evaluate the effectiveness of the system, and 3) study the satisfaction with the system. System development tools such as PHP, JavaScript, and MySQL database building were used, along with displaying information via the Google Maps API, and then converting the system into an internet-accessible web application. The constructed system assessed the basic efficiency of usage in four areas: 1) system user needs; 2) system functionalities; 3) system usability; and 4) system information security. The research tools included a system performance evaluation form filled out by five web application development specialists and a satisfaction assessment of system users from a purposefully selected sample group. This group included 4 teachers who functioned as advisors and 50 vocational certificate students in their second year. The statistics used in the research included the mean and standard deviation. The research results indicated that the developed system operated efficiently and in accordance with the objectives. The developed system exhibited overall high performance, with a mean value of 4.27 and a standard deviation of 0.60. As for user satisfaction with the system, it was found that the level of satisfaction in every aspect was high, with a mean of 4.45 and a standard deviation of 0.54, respectively.

Keywords: At-risk student, Tracking and analysis, Real-time location based

¹ Student of Degree of Master, Information and Communication Technology Program, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: 1982downwa@gmail.com

² Lecturer of Information and Communication Technology Program, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: Nuttaporn.Hen@stou.ac.th

³ Lecturer of Information and Communication Technology Program, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: Nithizethe.Mhu@stou.ac.th

* Corresponding author, e-mail: 1982downwa@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการจัดการศึกษาในรูปแบบใหม่ของอาชีวศึกษา ได้ให้ความสำคัญและเน้นหนักกับในเรื่องของรูปแบบการเรียนการสอนของสายอาชีพที่เพิ่มมากขึ้น ประเด็นหนึ่งที่สำคัญของการจัดการศึกษาในรูปแบบใหม่คือ การจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพของครูผู้สอนและครูที่ปรึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเรื่องของการติดตามนักเรียนที่เป็นส่วนหนึ่งในการดูแลนักเรียนของครูผู้สอน โดยจะมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกันอย่างมีนัยสำคัญกับปัญหาทางด้านความรับผิดชอบของนักเรียน ที่มีผลกับการไม่เข้าชั้นเรียน โดยชำนาญ ปาณวงษ์ และคณะ (2559) ได้กล่าวว่าความรับผิดชอบต่อตนเองของผู้เรียนมีผลต่อการสำเร็จการศึกษา รวมถึงปัญหาในด้านอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ด้านการเลี้ยงดูของครอบครัว ด้านระเบียบของวิทยาลัย ด้านครูผู้สอน ด้านสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ ซึ่งทำให้มีงานวิจัยต่าง ๆ ได้ให้ความสนใจกับประเด็นการศึกษาในเรื่องของ การจัดระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียนที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะเรียกนักเรียนประเภทนี้ว่า "นักเรียนกลุ่มเสี่ยง" ซึ่งมีลักษณะที่ออกจากบ้านเพื่อมาวิทยาลัย แต่มีพฤติกรรมไม่เข้าชั้นเรียนในขณะที่มีการเรียนการสอนตามตารางเรียน ซึ่งจะเป็นประเด็นสำคัญที่นำไปสู่ปัญหากับในเรื่องของจำนวนผู้เรียนออกกลางคันที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน

จากข้อมูลการออกกลางคัน ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา 2559 ที่รายงานต่อกระทรวงศึกษาธิการ พบว่าจากสถิติวิทยาลัยอาชีวศึกษาทั้งหมด 421 แห่ง มีการรายงานข้อมูลนักศึกษาออกกลางคัน เมื่อวันที่ 2 ก.ค. 2559 เป็นจำนวน 183 แห่ง พบว่านักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ออกกลางคัน 27,090 คน คิดเป็นร้อยละ 14.66 แบ่งเป็นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ปีที่ 1 จำนวน 12,649 คน ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ปีที่ 2 จำนวน 6,397 คน และประกาศนียบัตรวิชาชีพ 3 จำนวน 8,044 คน ส่วนสาเหตุหลักของการออกกลางคัน คือมีผลการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ ขาดเรียนบ่อย อันเนื่องมาจากปัญหาทางการทะเลาะวิวาท ปัญหาสุขภาพ ตั้งครรภ์ ยาเสพติด เล่นการพนัน ติดเกมส์ คบเพื่อนกลุ่มเสี่ยง เรียนสาขาที่ไม่ถนัด ครอบครัว และอื่น ๆ ดังนั้นจึงทำให้สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาได้กำชับให้สถานศึกษาทุกแห่งจำเป็นต้องมีระบบดูแลช่วยเหลือนักศึกษาเกิดขึ้น จากที่กล่าวมาระบบการติดตามดูแลนักเรียนจะใช้เวลารวบรวมภาระงานของครูผู้สอนที่ทำหน้าที่ครูที่ปรึกษา หรือครูปกครองหาข้อมูลการขาดเรียนจากครูผู้สอนและประสานงานแลกเปลี่ยนข้อมูลกับผู้ปกครองจึงขออนุญาตทางวิทยาลัยเพื่อติดตามนักเรียนทำให้ล่าช้าและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และจากสถิติการออกกลางคันของวิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย ปีการศึกษา 2561 มีนักเรียนออกกลางคันเป็นจำนวน 221 คน ปีการศึกษา 2562 มีนักเรียนออกกลางคันเป็นจำนวน 229 ปีการศึกษา 2563 มีนักเรียนออกกลางคันเป็นจำนวน 228 ปีการศึกษา 2564 มีนักเรียนออกกลางคันเป็นจำนวน 168 และปีการศึกษา 2565 มีนักเรียนออกกลางคันเป็นจำนวน 152 คน ซึ่งจากข้อมูลทางสถิติดังกล่าวจะเห็นได้ว่าจำนวนนักเรียนออกกลางคันมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องหนึ่งในเทคโนโลยีสารสนเทศที่สำคัญกับ

การนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการจัดเก็บระบบข้อมูลแบบเรียลไทม์ในปัจจุบัน คือ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographical Information System หรือ GIS) โดยในปัจจุบัน GIS ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายกับงานหลากหลายประเภท ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน เช่น ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดอุบลราชธานีผ่านระบบดาวเทียมบอกพิกัด (เกรียงศักดิ์ รักภักดี และคณะ, 2560) การประยุกต์ใช้งานร่วมกับ Google Map API ในการเฝ้าระวังปัญหาหาเสฟตีด (ปฐมพงษ์ ฉับพลัน และจุฑามาศ เพชรแก้ว, 2553) หรือการพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งอุปกรณ์บนทางพิเศษโดยใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ (เสาวณี ศรีสุวรรณ และคณะ, 2561) เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหากผู้วิจัยสามารถที่จะออกแบบและพัฒนา ระบบที่นำความสามารถของระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เข้ามาแก้ไขปัญหากับเรื่องของอาการออกกลางคันของนักเรียนด้วยแล้ว ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญที่สามารถสอดคล้องกับแนวทางนโยบายในการแก้ไขปัญหาของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้

ดังนั้นสำหรับแนวคิดของงานวิจัยนี้ คือการพัฒนาแบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยประยุกต์ใช้งานระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งที่อยู่ และทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของการไม่เข้าชั้นเรียนได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถรายงานข้อมูลพื้นฐานจากฐานข้อมูลของนักเรียนได้อย่างถูกต้อง สามารถรายงานสถิติข้อมูลที่เรียกดูย้อนหลังได้ และสามารถส่งข้อความ (SMS) เพื่อแจ้งเตือนไปยังบุคคลที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวเหล่านี้ ถือเป็นสิ่งสำคัญของการลดขั้นตอนและระยะเวลาในการติดตามนักเรียนกลุ่มเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลจากระบบที่พัฒนาขึ้นมานั้นยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลสารสนเทศประกอบการตัดสินใจในงานครูที่ปรึกษาและงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ร่วมกับการบริหารจัดการภายในวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์
3. ศึกษาความพึงพอใจของระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ เพื่อให้ครูและบุคลากรที่เกี่ยวข้องสามารถจัดการกับการเรียนการสอนและการติดตามดูแลนักเรียนได้ โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจและการบริหารจัดการที่รวดเร็ว เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ได้แก่ PHP JavaScript และสร้างฐานข้อมูลด้วย MySQL (กิตติ ภักดีวัฒนกุล, 2551) รวมถึงมีการนำทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) (นพรัตน์ ประทุมนอก และคณะ, 2565) มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนด้วยกัน คือ 1) การวางแผน (Planning) 2) การวิเคราะห์ (Analysis) 3) การออกแบบ (Design) 4) การพัฒนาและติดตั้ง (Implementation) และ 5) การบำรุงรักษา (Maintenance) ซึ่งการพัฒนาระบบได้มีการศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน จากผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และบุคลากรทางการศึกษา เพื่อนำข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานไปพัฒนา สร้าง และนำเสนอต้นแบบของระบบ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตามความเหมาะสม โดยจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบ จำนวน 5 คน และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบโดยกลุ่มตัวอย่างคือ ครู จำนวน 4 คน และนักเรียน จำนวน 50 คน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลการติดตามการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงที่มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

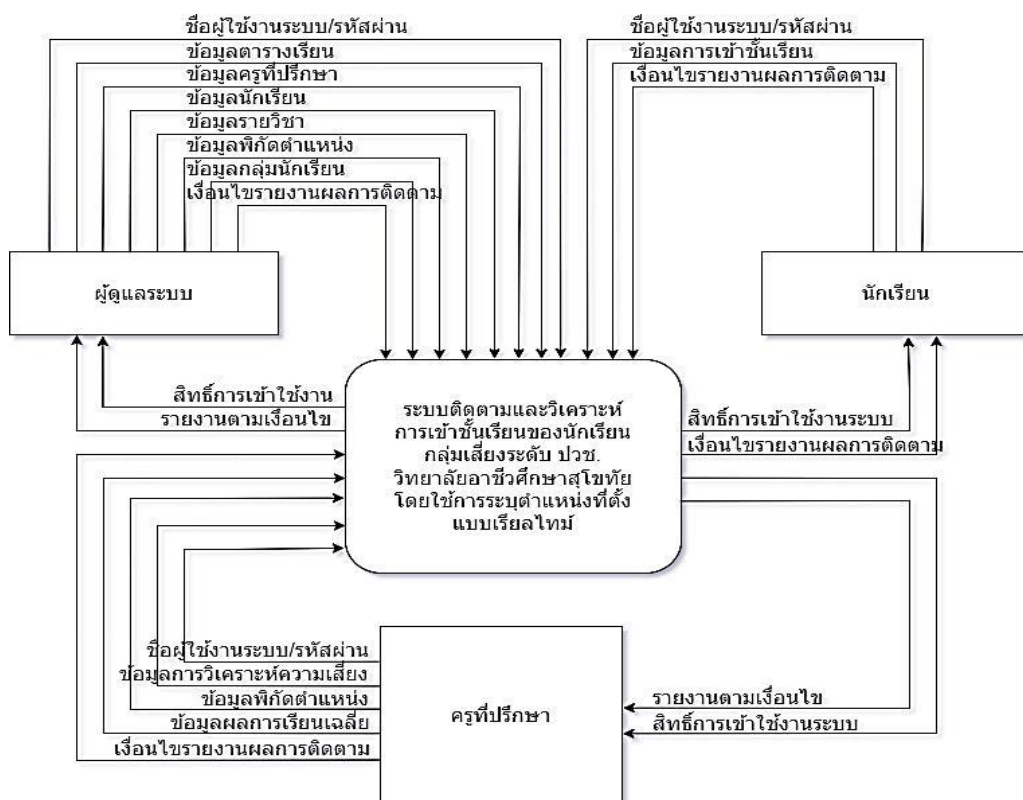
การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ซึ่งจะเป็นการพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ สำหรับขั้นตอนการวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

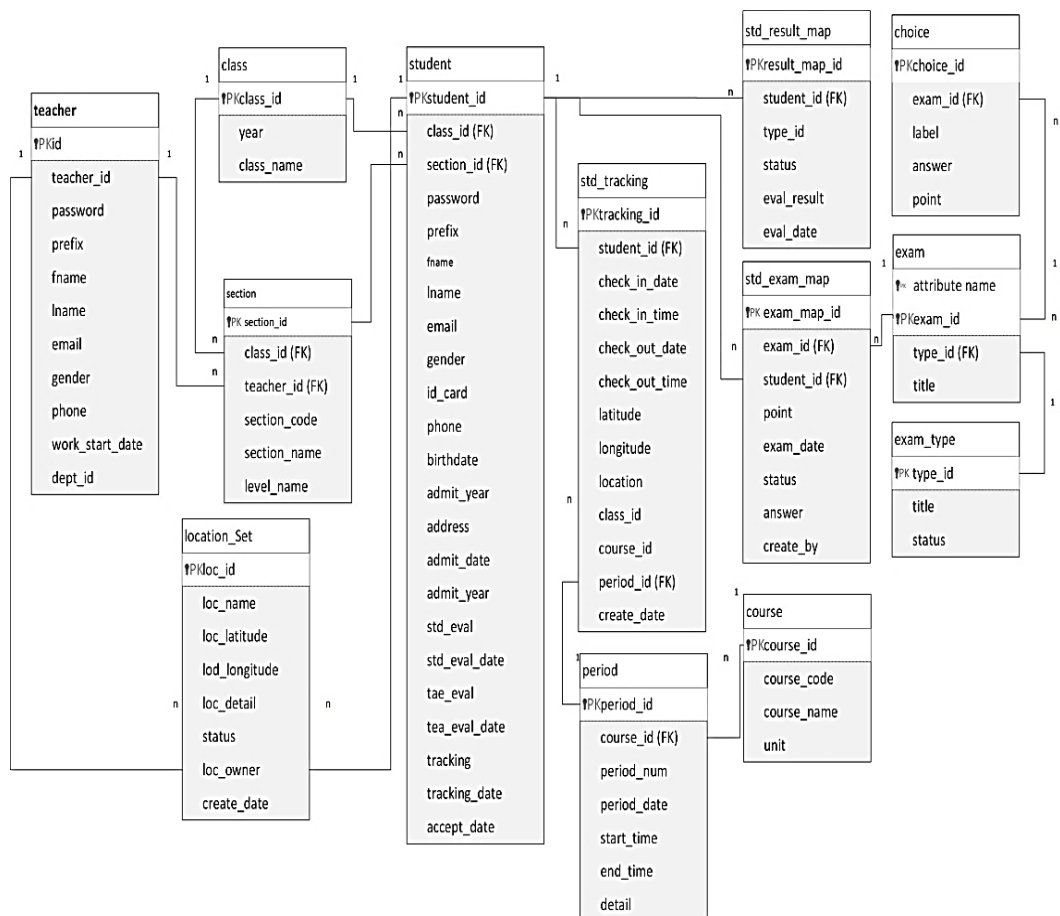
1. การวางแผน โดยจะเป็นการกำหนดปัญหาของระบบ ซึ่งจะทำให้การศึกษาจากระบบงานเดิมที่มีอยู่ รวมทั้งศึกษาความต้องการของระบบงานใหม่ที่จะเป็นการนำระบบสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้งาน เพื่อปรับและแก้ไขปัญหของระบบงานเดิม ซึ่งมีรูปแบบของการติดตามการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนที่ล่าช้าและใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง

2. การวิเคราะห์ โดยจะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของระบบทั้งหมด ที่สามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบที่มีประสิทธิภาพได้

3. การออกแบบระบบ โดยจะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน มาทำการออกแบบระบบงานใหม่ ด้วยการจำลองขั้นตอนการทำงานของระบบ (Process model) ซึ่งขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยใช้ Use case diagram, Activity diagrams, Context diagram, Dataflow diagrams และ E-R Diagram โดยภาพ Diagram บางส่วนได้แสดงตามภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 Context diagram ของระบบ



ภาพที่ 2 E-R Diagram ของระบบ

4. การพัฒนาและทดสอบระบบต้นแบบ โดยจะเป็นการใช้ Apache web server และสร้างฐานข้อมูลด้วย MySQL โดยทำการปรับปรุงและแก้ไขควบคู่กันไป เพื่อให้ระบบที่ทำการออกแบบสามารถทำงานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ ทั้งในคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนตามที่กำหนดไว้

สำหรับประชากรและกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ครู และนักเรียนวิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย จำนวน 372 คน โดยแยกเป็น ครู จำนวน 72 คน และนักเรียน จำนวน 300 คน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ครู จำนวน 4 คน และนักเรียนวิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัยที่เป็นกลุ่มเสี่ยง จำนวน 50 คน โดยขนาดกลุ่มตัวอย่างจะเป็นการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

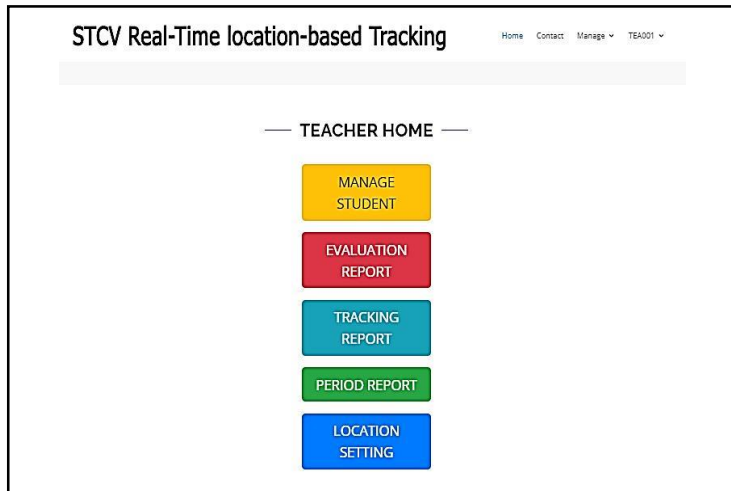
1. ระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ ด้วยอุปกรณ์ระบุพิกัดในสมาร์ทโฟน ที่แสดงผลการติดตามใน Google Map API
2. แบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบ จำนวน 5 คน
3. แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ โดยครูที่ปรึกษา จำนวน 4 คน และนักเรียน จำนวน 50 คน

วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

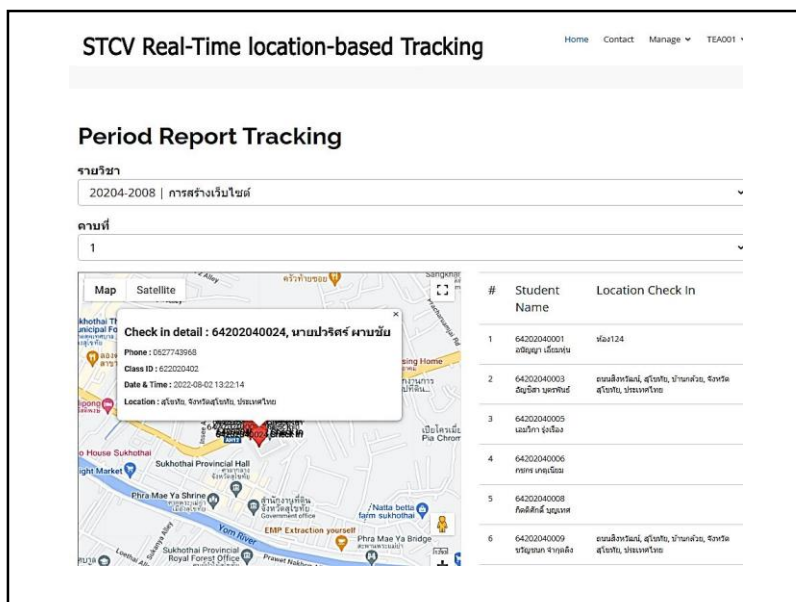
1. คัดกรองนักเรียนกลุ่มเสี่ยง เพื่อแยกกลุ่มนักเรียนกลุ่ม ปกติ กลุ่มเสี่ยง และกลุ่มมีปัญหา ผ่านระบบติดตามนักเรียน จัดทำข้อตกลงการใช้งานระบบตามเอกสารคู่มือและนักเรียนอนุญาตให้ติดตามการเข้าชั้นเรียนตามข้อตกลงจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลการเข้าชั้นเรียน
2. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาระบบ จำนวน 5 ท่าน
3. รวบรวมข้อมูลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบจำนวน 54 ฉบับ นำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในแต่ละด้านว่าอยู่ในระดับใดและในภาพรวมอยู่ในระดับใด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพวิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้
 - 1.1 การพัฒนาระบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ตามที่กำหนด กล่าวคือมีการทำงานของผู้ใช้งานระบบ 3 ส่วน คือ ผู้ดูแลระบบ ครูที่ปรึกษา และนักเรียน โดยจะเป็นการนำเข้าข้อมูลส่วนตัวของนักเรียนที่ดูแล ซึ่งผู้ดูแลระบบจะทำการนำเข้าข้อมูล และผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่ระบบได้ที่เว็บไซต์ <https://www.stvctracking.com> ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเข้าสู่เมนูการใช้งานของครูที่ปรึกษาสำหรับจัดการข้อมูลนักเรียน และดูสรุปผลการติดตามนักเรียน เมื่อครูที่ปรึกษาเข้าสู่ระบบจะทำการจัดการข้อมูลนักเรียนเพื่อคัดกรอง โดยแบบคัดกรองจะแยกตามความเสี่ยง เพื่อส่งค่าขอติดตามนักเรียน และแสดงผลการติดตามแบบเรียลไทม์ เมื่อนักเรียนมีการเข้าสู่ระบบและทำการบันทึกตำแหน่งการเข้าชั้นเรียน ครูที่ปรึกษาจะสามารถเข้าดูผลการบันทึกตำแหน่งที่ตั้งได้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลการบันทึกตำแหน่งที่ตั้งได้

เมื่อนักเรียนเข้าสู่ระบบและได้รับการคัดกรองโดยครูที่ปรึกษาแล้ว ก็จะได้รับ การขออนุญาตติดตาม โดยนักเรียนสามารถยืนยันอนุญาตให้ติดตามและตั้งค่าตำแหน่งบ้านหรือที่พักอาศัย จากนั้นจะแสดงการ บันทึกพิกัดตามลำดับ ในกรณีที่ไม่ว่าเข้าชั้นเรียนนักเรียนสามารถตรวจสอบข้อมูลการบันทึกพิกัดตำแหน่งของ ตนเองได้ในระบบ สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของการบันทึกพิกัดตำแหน่งเมื่อมีการเข้าชั้นเรียน และ ออกจากชั้นเรียนตามตาราง จะมีการบันทึกการเข้าออกเพื่อยืนยันการเข้าชั้นเรียนและมีรายงานสรุปผลการ ติดตาม ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 การบันทึกเข้าออกเพื่อยืนยันการเข้าชั้นเรียนของนักเรียน

1.2. ผลการวิเคราะห์การติดตามการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย

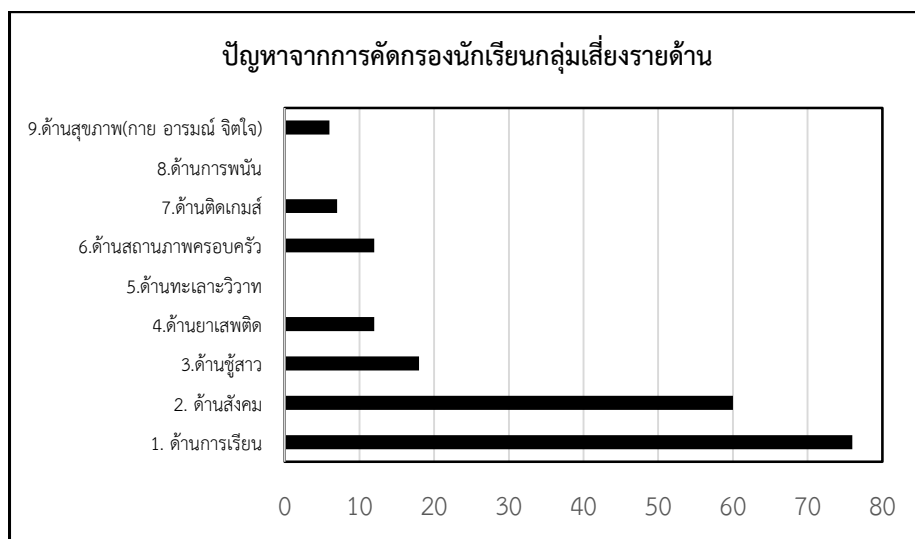
1.2.1 ตารางแสดงร้อยละของการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ตามระเบียบการวัดผลและ ประเมินผลหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ที่กำหนดให้นักเรียนต้องมีเวลาเรียนร้อยละ 80 ขึ้นไป จึงจะสามารถ เข้ารับการประเมินผลปลายภาคเรียนได้

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง

ร้อยละการเข้าชั้นเรียนของ นักเรียนกลุ่มเสี่ยง	จำนวนนักเรียน	เข้ารับการประเมินผล ปลายภาคเรียน
0%	13	ไม่ได้
20%	20	ไม่ได้
40%	3	ไม่ได้
60%	0	ไม่ได้
80%	2	ได้
100%	12	ได้
รวม	50	

จากตารางที่ 1 การบันทึกข้อมูลของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง จำนวน 50 คน พบว่า จากข้อมูลตำแหน่งการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงที่มีเวลาเรียนร้อยละ 80 ขึ้นไป จึงจะสามารถเข้ารับการประเมินผลปลายภาคเรียนได้ มีจำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 28 และนักเรียนกลุ่มเสี่ยงที่เข้ารับการประเมินผลปลายภาคเรียนไม่ได้ มีจำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 72

1.2.2 ปัญหาจากการคัดกรองนักเรียนกลุ่มเสี่ยงรายด้าน การคัดกรองนักเรียนโดยครูที่ปรึกษาจะทำการคัดกรองนักเรียนเป็นรายบุคคล เพื่อแยกประเภทนักเรียนเป็นกลุ่มปกติ กลุ่มเสี่ยง และกลุ่มมีปัญหาตามแบบคัดกรองของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ซึ่งสรุปได้ 9 ด้าน พบว่า ปัญหาจากการคัดกรองนักเรียนกลุ่มเสี่ยงรายด้าน ปัญหาด้านการเรียนซึ่งเป็นความรับผิดชอบของนักเรียนมีผลกับการไม่เข้าชั้นเรียนสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ว่า นักเรียนกลุ่มเสี่ยงเข้าชั้นเรียนต่ำกว่าที่ระบียบการวัดผลและประเมินผลกำหนดถึงร้อยละ 72 ส่งผลให้ไม่สามารถเข้ารับการประเมินผลปลายภาคได้ จากข้อมูลการออกกลางคันของวิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย ตั้งแต่ปีการศึกษา 2561-2564 นักเรียนกลุ่มเสี่ยงร้อยละ 95 จะเป็นนักเรียนที่ออกกลางคัน นอกจากนี้ยังมีปัญหาในด้านอื่น ๆ อีก เช่น ด้านสังคม ด้านชู้สาว ด้านสภาพครอบครัว ด้านยาเสพติด ด้านติดเกมส์ ด้านสุขภาพ (กาย อารมณ์ จิตใจ) และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ตามลำดับ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปัญหาจากการคัดกรองนักเรียนกลุ่มเสี่ยงรายด้าน

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ โดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1 ด้านความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test)	4.00	0.72	มาก
2 ด้านหน้าที่ของระบบ (Function Test)	4.38	0.49	มาก
3 ด้านการใช้งานระบบ (Usability Test)	4.53	0.58	มากที่สุด
4 ด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Security Test)	4.17	0.68	มาก
ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	4.27	0.60	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพของระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน เรียงลำดับจากคะแนนมากไปหาน้อย พบว่า ด้านการใช้งานระบบ (Usability test) ได้รับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านหน้าที่ของระบบ (Function test) ด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Security test) และด้านความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement) test ตามลำดับ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียน กลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ โดยครูที่ปรึกษา จำนวน 4 คน และนักเรียน จำนวน 50 คน

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการทำงานของระบบ	4.20	0.45	มาก
2. ด้านการนำเสนอเนื้อหา/การแสดงผล	4.57	0.62	มากที่สุด
3. ด้านการออกแบบและการใช้งานระบบ	4.47	0.65	มาก
4. ด้านประโยชน์และการนำไปใช้งาน	4.55	0.54	มากที่สุด
ความพึงพอใจโดยรวมของระบบ	4.45	0.54	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบในทุก ๆ ด้านอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.45 เรียงลำดับความพึงพอใจจากคะแนนมากไปหาน้อย พบว่า ด้านการนำเสนอเนื้อหา/การแสดงผล และด้านประโยชน์และการนำไปใช้งาน มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านการออกแบบและการใช้งานระบบ และด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการทำงานของระบบ ตามลำดับ

สรุป

การพัฒนาระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียน โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์ของนักเรียนกลุ่มเสี่ยงระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย ด้วยภาษา PHP สร้างฐานข้อมูลด้วย MySQL และแสดงสารสนเทศด้วย Google Map API นั้น สามารถเข้าถึงได้จากหลายเว็บเบราว์เซอร์ มีระบบตรวจสอบความปลอดภัยในสิทธิ์การเข้าใช้งานที่สามารถแสดงผลได้ทันที เมื่อมีการบันทึกตำแหน่ง ทำให้ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการค้นหาข้อมูลและการติดตามนักเรียนกลุ่มเสี่ยงจากระบบงานเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยรวม พบว่า ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.27$, S.D. = 0.60) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน เรียงลำดับจากคะแนนมากไปหาน้อย พบว่า ด้านการใช้งานระบบ (Usability test) ได้รับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านหน้าที่ของระบบ (Function test) ด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Security test) และด้านความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement test) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อธิพร ชาญศิริวัฒน์ (2563) เรื่อง การพัฒนาระบบติดตามพฤติกรรม การเข้าห้องเรียนด้วยคิวอาร์โค้ด กรณีศึกษาวิทยาลัยครูปากพะ พบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ยิ่งไปกว่านั้นผลการวิเคราะห์การติดตามการเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย พบว่า นักเรียนกลุ่มเสี่ยงจะมีพฤติกรรม การเข้าชั้นเรียนร้อยละ 28 และไม่เข้าชั้นเรียนร้อยละ 72 ซึ่งส่งผลให้ไม่ได้เข้ารับการประเมินผลปลายภาคเรียนและส่งผลกระทบต่อสำเร็จการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชำนาญ ปาณาวงษ์ และคณะ (2559) เรื่องสาเหตุและแนวทางในการป้องกันการออกกลางคันของนักเรียน กรณีศึกษา : โรงเรียนบ้านบางโพ พบว่า ความรับผิดชอบตนเองของผู้เรียนมีผลต่อสำเร็จการศึกษา รวมถึงปัญหาในด้านอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ด้านการเลี้ยงดูของครอบครัว ด้านระเบียบของวิทยาลัย ด้านครูผู้สอน ด้านสิ่งแวดล้อมและอื่น ๆ โดยสถิติการออกกลางคันของวิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัยนักเรียนกลุ่มเสี่ยงร้อยละ 90 จะเป็นนักเรียนที่ไม่เข้าชั้นเรียน

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบติดตามและวิเคราะห์การเข้าชั้นเรียนของนักเรียนกลุ่มเสี่ยง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย โดยใช้การระบุตำแหน่งที่ตั้งแบบเรียลไทม์จากผู้ใช้งานกลุ่มตัวอย่างจำนวน 54 คน พบว่า โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.54) ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ออกแบบตามความต้องการของผู้ใช้งาน ที่ให้สามารถเข้าใช้งานระบบได้ง่าย ซึ่งช่วยให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับความต้องการของการสนับสนุนการบริหารจัดการของสถานศึกษาที่รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ยิ่งไป

กว่านั้นระบบต้นแบบมีการออกแบบให้มีการแสดงผลและเนื้อหาของการติดตามที่ชัดเจน ทำให้สามารถเข้าถึงผลสรุปของตำแหน่งพิกัดบนแผนที่ได้อย่างชัดเจน รวมถึงง่ายต่อการเข้าใจของผู้ใช้งานระบบ โดยจะเป็นการเน้นให้เห็นถึงประโยชน์ในการนำข้อมูลไปใช้เพื่อการติดตามนักเรียนในการเข้าชั้นเรียนเป็นหลัก อีกทั้งระบบยังมีรูปแบบเดียวกันทุกหน้า ซึ่งสามารถใช้งานได้ง่ายและตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

- กิตติ ภัคดีวัฒนกุล, และพนิดา พานิชกุล. (2551). **การวิเคราะห์และออกแบบระบบ**. (พิมพ์ครั้งที่ 7) กรุงเทพมหานคร: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.
- เกรียงศักดิ์ รักภักดี, ปราโมทย์ นามวงศ์, ไมตรี रिมทอง, และวชิระ โมราชาติ. (2560). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการเดินทางท่องเที่ยวในจังหวัดอุบลราชธานีผ่านระบบดาวเทียมบอกพิกัด. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์**, 12(2), 84-91.
- ชำนาญ ปาณวงษ์, กองแก้ว เมทา, ขวณพิศ เหล็กไหล, พจิพร ศรีแก้ว, และ วชิรย์ บัวเพ็ง. (2559). รายงานวิจัยเรื่องสาเหตุและแนวทางในการป้องกันการออกกลางคันของนักเรียน กรณีศึกษา: โรงเรียนบ้านบางโพธิ์, วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต.คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อิทธิพร ชาญศิริวัฒน์ (2564). **การพัฒนาแบบติดตามพฤติกรรมกรการเข้าห้องเรียนด้วยคิวอาร์โค้ด กรณีศึกษาวิทยาลัยครูปากเซ, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.**
- นพรัตน์ ประทุมนอก, ชัยอนันต์ กิจชัยรัตน์, สราวุฒ อุบลหอม, และกิตติศักดิ์ สิงห์สูงเนิน. (2565). การพัฒนาแอปพลิเคชันตรวจสอบการเข้าร่วมกิจกรรมด้วยแพลตฟอร์มแอปซิท. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 3(2), 17-28.
- ปฐมพงษ์ ฉับพลัน, และฐิมาพร เพชรแก้ว. (2010). การประยุกต์ใช้ Google Maps API ในการเฝ้าระวังปัญหา ยาเสพติด. **NCIT 2010, สำนักวิชาการสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช.**
- เสาวณี ศรีสุวรรณ, เอกรินทร์ เหลืองวิลัย, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร, และธัญย ตันวานิช. (2561). การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งอุปกรณ์บนทางพิเศษโดยใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ. **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา**, 43(1), 42-52.

การดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากเปลือกและเมล็ดมะขาม

เอี่ยมพร รัตนสิงห์^{1*} โชคชัย แจ่มอำพร² อภิชาติ จินแพทย³

Received : September 19, 2022

Revised : December 1, 2023

Accepted : December 15, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขามด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมีและกระบวนการคาร์บอนไนซ์ โดยนำเปลือกและเมล็ดมะขามที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 11.69 และ 7.20 มาเผาที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 37.29 และ 31.37 ตามลำดับ จากนั้นกระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่ 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ที่สังเคราะห์ได้ประกอบด้วย เปลือกมะขามเผาที่ 500 องศาเซลเซียส (AC-1) เปลือกมะขามเผาที่ 600 องศาเซลเซียส (AC-2) เมล็ดมะขามเผาที่ 500 องศาเซลเซียส (AC-3) และเมล็ดมะขามเผาที่ 600 องศาเซลเซียส (AC-4) มีค่าร้อยละเท่ากับ 28.77, 27.16, 28.68 และ 28.00 ตามลำดับ แล้วนำมาหาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) พบว่า ถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่า 600 mg/g (643 และ 717 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด มาศึกษาการดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิด AC-2, AC-3 และ AC-4 มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนได้ใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น และถ่านกัมมันต์ชนิด AC-4 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้มากที่สุด รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์ชนิด AC-3 AC-2 และ AC-1 ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ถ่านกัมมันต์ (AC-4) ที่ได้จากเมล็ดมะขามที่ ถูกกระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระดับอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ: การดูดซับ ตะกั่ว (II) ไอออน ถ่านกัมมันต์ เปลือกมะขาม เมล็ดมะขาม สังกะสี (II) ไอออน

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาเคมี-ฟิสิกส์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
อีเมล: auamporn_r@rtaf.mi.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทางการทหาร กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ
นวมินทกษัตริยาธิราช อีเมล: chokchai_cham@rtaf.mi.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทางการทหาร กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ
นวมินทกษัตริยาธิราช อีเมล: apichart_jin@rtaf.mi.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: auamporn_r@rtaf.mi.th

ADSORPTION OF LEAD (II) AND ZINC (II) IONS IN SYNTHESIZED WASTEWATER WITH ACTIVATED CARBON DERIVED FROM TAMARIND PEEL AND SEED

Auamporn Rattanasing^{1*} Chokchai Chamamporn² Apichart Jinnapat³

Abstract

This research investigated the synthesis of activated carbon from tamarind peel and seed through a chemical activation and carbonization process. Initially, tamarind peel and seed, with moisture content percentages of 11.69 and 7.20, were calcined at 400°C for 2 hours. It was found that the average charcoal percentages were 37.29 and 31.37, respectively. Subsequently, they were activated with H₃PO₄ and carbonized at 500°C and 600°C for 2 hours, resulting in four types of activated charcoal: tamarind peel at 500°C (AC-1), tamarind peel at 600°C (AC-2), tamarind seed at 500°C (AC-3), and tamarind seed at 600°C (AC-4). The activated carbon content percentages were 28.77, 27.16, 28.68, and 28.00, respectively. The iodine number of activated carbon in AC-3 and AC-4 was found to be greater than 600 mg/g (643 and 717 mg/g, respectively). All types of activated carbon were then evaluated for the adsorption of lead (II) and zinc (II) ions in synthesized wastewater. It was observed that AC-2, AC-3, and AC-4 activated carbon showed similar efficiency in adsorbing lead (II) ions, while AC-1 exhibited the lowest efficiency. For the adsorption of zinc (II) ions, AC-4 activated carbon was the most effective, followed by AC-3 and AC-2, with AC-1 being the least effective. Consequently, this research concluded that the most effective activated carbon for adsorbing lead and zinc (II) ions in synthesized wastewater is the one derived from tamarind seed, activated with H₃PO₄, and carbonized at 600°C for 2 hours. AC-3 and AC-4 can be utilized as industrial powdered activated carbon.

Keywords: Adsorption, Lead (II) ions, Activated carbon, Tamarind peel, Tamarind seed, Zinc (II) ions

¹ Assistance Professor of Department of Chemistry-Physics, Academic Faculty, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force, e-mail: auamporn_r@rtaf.mi.th

² Assistance Professor of Department of Military Materials, Academic Faculty, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force, e-mail: chokchai_cham@rtaf.mi.th

³ Assistance Professor of Department of Military Materials, Academic Faculty, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force, e-mail: apichart_jin@rtaf.mi.th

* Corresponding author, e-mail: auamporn_r@rtaf.mi.th

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมได้สร้างผลกระทบในทุกระดับและทวีความรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะด้านคุณภาพน้ำ ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา (ปี 2552 – 2562) แหล่งน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์พอใช้ และในปัจจุบันไม่พบแหล่งน้ำที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก สาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพน้ำผิวดินและน้ำทะเลชายฝั่งเสื่อมโทรมเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งการระบายน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากสถานประกอบการในชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และการประกอบกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการระบายน้ำทิ้งไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) จึงมีการจัดทำแผนการจัดการคุณภาพน้ำของประเทศระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) มีกรอบแนวคิดโดยใช้หลักการสร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (คณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560)

กองทัพอากาศแม้ไม่ใช่ผู้รับผิดชอบโดยตรงด้านสิ่งแวดล้อมแต่มีการกำหนดยุทธศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่สำคัญ 3 ประการ คือ ยุทธศาสตร์ที่ 1 ป้องกันและลดการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้นทาง ยุทธศาสตร์ที่ 2 พัฒนาระบบการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ และยุทธศาสตร์ที่ 3 เสริมสร้างเครือข่ายและองค์ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ซึ่งในแต่ละยุทธศาสตร์ได้เน้นถึง ปัญหาของน้ำเสีย ขยะ และอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งยุทธศาสตร์ย่อยที่ 1.2 ป้องกันและลดการเกิดปัญหาด้านน้ำที่ต้นทาง (กองทัพอากาศ, 2563) กองทัพอากาศมีภารกิจที่หลากหลายนอกเหนือจากภารกิจหลักในการป้องกันประเทศ มีภารกิจด้านการสนับสนุนอื่น ๆ ที่บางครั้งก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้ เช่น กองโรงงาน 3 สฟ.ทอ. เป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการผลิตสร้างซ่อมดัดแปลงตัวลูกระเบิด ลูกระเบิดและชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของจรวด ย่อมสปีลออกกระสุน และมีน้ำเสียของกิจกรรมที่มีโลหะหนักปนเปื้อน ปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดขึ้นก่อนการบำบัดพบว่า มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักเป็นอันตรายต่อร่างกายหากสะสมอยู่ในปริมาณสูง เช่น สังกะสี (II) อาจเกิดอาการจุกไข้ หนาวสั่น และอาเจียน แคดเมียมอาจทำให้ไตทำงานผิดปกติ ตะกั่ว (II) เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปลดการสร้างฮีโม (Heme) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือด (Nguyen et al., 2013)

การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่นิยมใช้วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มากกว่าวิธีการแลกเปลี่ยนประจุไอออน (Muzenda et al., 2011) หรือวิธีการทางเคมีไฟฟ้า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงและมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก สำหรับวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (ACs) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เพราะมีพื้นที่ผิวและมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก สามารถประยุกต์ใช้ในงานทางวิศวกรรม เช่น บำบัดน้ำเสีย และมีความสามารถในการขจัดมลพิษที่หลากหลายรวมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในของเหลวหรือแก๊ส (Suhas & Ribeiro, 2007) เช่นงานวิจัยของ ธีญญาลักษณ์ เกียรติธนาสกุล (2552) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือก

ไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดตะกั่ว โดยการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาทำการคาร์บอนไนซ์ พบว่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 มีค่าการดูดซับเท่ากับ 3.9 มิลลิกรัมต่อกรัม และการดูดซับเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 30 นาที อภิปรียา คงสุวรรณ (2552) ได้ศึกษาการคืนสภาพทองแดงจากสารละลายผสมของทองแดงและตะกั่ว (II) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) มาดูดซับน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักของทองแดงและตะกั่ว พบว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้มากกว่าทองแดง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกและอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและทองแดงสูงขึ้น

ปัจจุบันมีการนำของเสียทางการเกษตรมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ชีวมวลที่เป็นของเสียทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม กากกาแฟ ลิกนิน และสารชีวมวลอื่น ๆ (Jutakrudsada et al., 2016) ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากชุมชน ได้แก่ เปลือกและเมล็ดมะขามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการทางเคมี เนื่องจากมีการนำถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามาใช้ประโยชน์ในการกำจัดสี (จักริน นักรู้, 2549) และนำถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามเป็นตัวกรองอากาศ (ณิชนันท์ คำนวนสินธุ์ และคณะ, 2551) โดยการศึกษากระบวนการทำถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขาม เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์ และสามารถเลือกผลิตถ่านที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ในชุมชนอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขามด้วยกระบวนการคาร์บอนไนซ์
2. เพื่อศึกษาการดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

เปลือกและเมล็ดมะขามได้รวบรวมจากหมู่บ้านคลองหินปูน ตำบลวังไทร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จากนั้นนำเปลือกและเมล็ดมะขามมาทำความสะอาดขึ้นด้วยการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์

นำเปลือกและเมล็ดมะขามมาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักถ่านที่ได้แล้วมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ถ่าน จากนั้นนำถ่านที่ได้มาบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 20 mesh และกระตุ้นด้วย 85%w/w H_3PO_4 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำถ่านที่ได้มาเผาที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างกรดด้วยน้ำกลั่นจนหมด แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขามทั้ง 4 ชนิด มาวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยการหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94

2. การศึกษาการดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนจากสารละลายเริ่มต้น 1,000 ppm $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ และ $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ ตามลำดับ ได้ความเข้มข้นดังนี้ ปริมาณตะกั่ว (II) ไอออนเท่ากับ 3.57, 8.80, 20.27, 43.53 และ 72.84 ppm และปริมาณสังกะสี (II) ไอออนเท่ากับ 3.57, 8.80, 20.27, 43.53 และ 72.84 ppm จากนั้นนำไปศึกษาการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดต่อไป

2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออน

นำสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนที่ความเข้มข้นอย่างละ 100 ppm มาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนที่ความเข้มข้น 0.5, 2.0, 10.0, 20.0, 40.0 และ 80.0 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนด้วยเครื่อง ICP-OES

2.3 การดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออน

ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกและมะขามเมล็ดทั้ง 4 ชนิด จำนวน 0.5 กรัม แล้วเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่ว (II) ไอออน 3.57 ppm จำนวน 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำน้ำเสียที่ได้จากการกรองนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (II) ไอออนที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมา-ออปติคอลมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ (ICP-OES) ทำการทดลองซ้ำที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่ว (II) ไอออน 8.80, 20.27, 43.53 และ 72.84 ppm และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสังกะสี (II) ไอออนไอออนที่ความเข้มข้น 3.57, 8.80, 20.27, 43.53 และ 72.84 ppm

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ค่าความชื้นในเปลือกและเมล็ดมะขาม

นำเปลือกและเมล็ดมะขามที่ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน มาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักของเปลือกและเมล็ดมะขามคงที่ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ค่าความชื้นเฉลี่ยภายในเปลือกและเมล็ดมะขาม มีค่าเท่ากับ 11.69% และ 7.20% ตามลำดับ โดยความชื้นเฉลี่ยของเปลือกมะขามมีค่าสูงกว่าเมล็ดมะขามอยู่ 4.49%

2. การหาเปอร์เซ็นต์ถ่าน

เปลือกและเมล็ดมะขามที่ผ่านการอบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 20 กรัม มาทำการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักหลังเผาเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ถ่าน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านของเปลือกและเมล็ดมะขาม

รายการ	เปลือกและเมล็ดมะขาม					
	เปลือก 1	เปลือก 2	เปลือก 3	เมล็ด 1	เมล็ด 2	เมล็ด 3
น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	20.01	20.00	20.01	20.13	19.91	19.99
น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	7.45	7.46	7.47	6.31	6.23	6.29
% ถ่าน	37.23	37.30	37.33	31.35	31.29	31.47
ค่าเฉลี่ย % ถ่าน	37.29±0.05			31.37±0.09		

จากตารางที่ 1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านของเปลือกและเมล็ดมะขาม พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านเฉลี่ยจากเปลือกและเมล็ดมะขาม มีค่าเท่ากับ 37.29% และ 31.37% ตามลำดับ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านเฉลี่ยของเปลือกมะขามมีค่าสูงกว่าเมล็ดมะขามอยู่ 5.92%

3. การหาเปอร์เซ็นต์ถ่านกัมมันต์

นำถ่านที่ได้จากเปลือกและเมล็ดมะขามมากระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส. จากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เย็นจะได้ถ่านกัมมันต์ แล้วนำมาล้างด้วยน้ำจนมีสภาพเป็นกลาง จึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ 4 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกมะขามที่เผา 500 องศาเซลเซียส (AC-1) เปลือกมะขามที่เผา 600 องศาเซลเซียส (AC-2) เมล็ดมะขามที่เผา 500 องศาเซลเซียส (AC-3) และเมล็ดมะขามที่เผา 600 องศาเซลเซียส (AC-4) ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านกัมมันต์ของเปลือกและเมล็ดมะขาม

ส่วนของมะขาม	อุณหภูมิเผา (°C)	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)
เปลือกมะขาม	500 °C (AC-1)	1	20.01	5.79	28.93
		2	20.00	5.73	28.63
		3	20.00	5.75	28.75
	ค่าเฉลี่ย				28.77±0.15

ตารางที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านกัมมันต์ของเปลือกและเมล็ดมะขาม (ต่อ)

ส่วนของมะขาม	อุณหภูมิเผา (°C)	ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)
เปลือกมะขาม	600 °C (AC-2)	1	20.01	5.44	27.18
		2	20.00	5.40	27.00
		3	20.01	5.46	27.30
	ค่าเฉลี่ย				27.16±0.15
เมล็ดมะขาม	500 °C (AC-3)	1	20.00	5.74	28.70
		2	20.00	5.71	28.55
		3	20.00	5.76	28.80
	ค่าเฉลี่ย				28.68±0.13
	600 °C (AC-4)	1	20.00	5.63	28.15
		2	20.00	5.57	27.85
		3	20.01	5.60	28.00
	ค่าเฉลี่ย				28.00±0.15

จากตารางที่ 2 พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ AC-1, AC-2, AC-3 และ AC-4 ชนิด มีค่าเปอร์เซ็นต์ถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 28.77, 27.16, 28.68 และ 28.00% ตามลำดับ นั้นมีค่าลดลงอีกเนื่องจากต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เปลือกและเมล็ดมะขามสูญเสียมวลอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอน

4. การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขาม

ถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขามที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ทั้ง 4 ชนิด นำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

ถ่านกัมมันต์	ส่วนของมะขาม	อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
AC-1	เปลือกมะขาม	500	404
AC-2	เปลือกมะขาม	600	466
AC-3	เมล็ดมะขาม	500	643

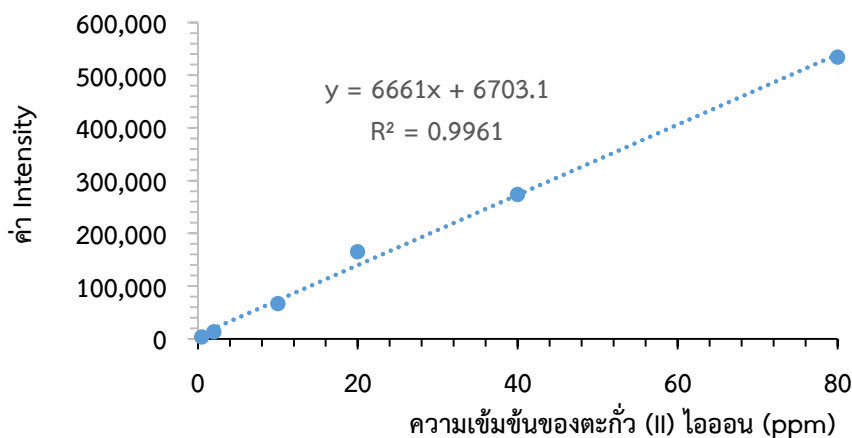
ตารางที่ 3 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ (ต่อ)

ถ่านกัมมันต์	ส่วนของมะขาม	อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
AC-4	เมล็ดมะขาม	600	717
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)			600

จากตารางที่ 3 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดมะขามทั้ง 4 ชนิด พบว่า ถ่านกัมมันต์ AC-4 มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด รองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-2 ตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ AC-1 มีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเมล็ดมะขามมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเปลือกมะขาม และอุณหภูมิที่เผาพบว่า ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ที่กำหนดค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีค่าไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม พบว่า ถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม จึงสามารถนำถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 ไปใช้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระดับอุตสาหกรรมได้

4. กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออน

เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) ไอออนที่ความเข้มข้น 0.50, 2.00, 10.00, 20.00, 40.00 และ 80.00 ppm ตามลำดับ และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (II) ไอออนด้วยเครื่อง ICP-OES พบว่า ได้ค่า Intensity ดังนี้ 3,125.29, 13,272.85, 66,709.31, 165,150.29, 273,754.21 และ 534,006.37 ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) ไอออนกับค่า Intensity พบว่า ได้กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออนดังแสดงในภาพที่ 1

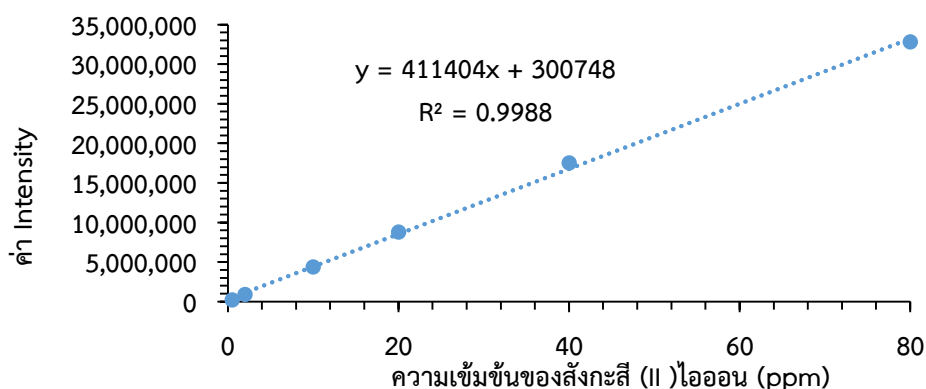


ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออน

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออนได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) ไอออนกับค่า Intensity ที่มีสมการ คือ $y = 6,661x + 6,703.1$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9961

5. กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี (II) ไอออน

เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี (II) ไอออนที่ความเข้มข้น 0.50, 2.00, 10.00, 20.00, 40.00 และ 80.00 ppm ตามลำดับ และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี (II) ไอออนด้วยเครื่อง ICP-OES พบว่า ได้ค่า Intensity ดังนี้ 215,633.8, 881,148.4, 4,378,977, 8,776,093, 17,499,377 และ 32,792,380 ตามลำดับ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (II) ไอออนกับค่า Intensity พบว่า ได้กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี (II) ไอออนดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี (II) ไอออน

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี (II) ไอออนได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (II) ไอออนกับค่า Intensity ที่มีสมการ คือ $y = 411404x + 300748$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9988

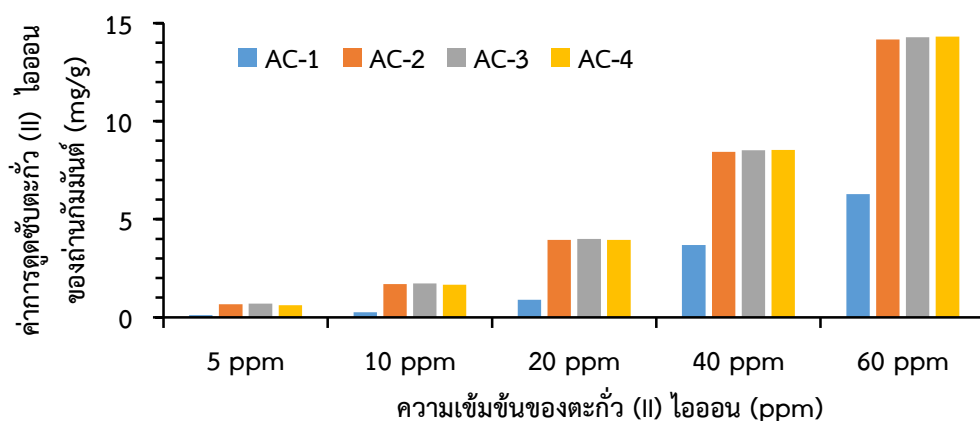
6. การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 3.57, 8.80, 20.27, 43.53 และ 72.84 ppm และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (II) ไอออนที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง ICP-OES และนำมาหาค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนกับความเข้มข้นของตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 3

ตารางที่ 4 ค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของถ่านกัมมันต์	ค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)				
	3.57 ppm	8.80 ppm	20.27 ppm	43.53 ppm	72.84 ppm
AC-1	0.11	0.25	0.89	3.68	6.28
AC-2	0.66	1.69	3.94	8.43	14.16
AC-3	0.69	1.72	3.99	8.51	14.28
AC-4	0.62	1.66	3.94	8.54	14.31

จากตารางที่ 4 แสดงค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออน ต่าง ๆ พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออน จะได้ค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 3.57, 8.80 และ 20.27 ppm ถ่านกัมมันต์ AC-3 มีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนได้ดีที่สุด แต่ที่ความเข้มข้น 43.53 และ 72.84 ppm ถ่านกัมมันต์ AC-4 มีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนได้ดีที่สุด เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 4 มาหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนกับความเข้มข้นของตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

จากภาพที่ 3 พบว่า ถ่านกัมมันต์ ชนิด AC-2, AC-3 และ AC-4 มีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของวัตถุดิบของถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิด AC-3

และ AC-4 ที่ได้จากเมล็ดมะขามมีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนที่สูงกว่าชนิด AC-1 และ AC-2 ที่ได้จากเปลือกมะขาม ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเมล็ดมะขามมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนได้ดีกว่าเปลือกมะขาม จากนั้นนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของถ่านกัมมันต์	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ (%)				
	3.57 ppm	8.80 ppm	20.27 ppm	43.53 ppm	72.84 ppm
AC-1	13.01	14.37	22.18	42.48	43.33
AC-2	93.49	97.60	97.63	97.51	97.75
AC-3	96.64	98.55	99.12	98.26	98.46
AC-4	87.89	95.19	97.77	98.82	99.08

จากตารางที่ 5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (II) ไอออนต่าง ๆ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนที่สูงที่สุดเท่ากับ 99.08% (ถ่านกัมมันต์ชนิด AC-4 ที่ความเข้มข้น 72.84 ppm) และถ่านกัมมันต์ AC-2, AC-3 และ AC-4 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนทุกความเข้มข้นได้ดี แต่ถ่านกัมมันต์ AC-1 มีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนได้น้อยที่สุด

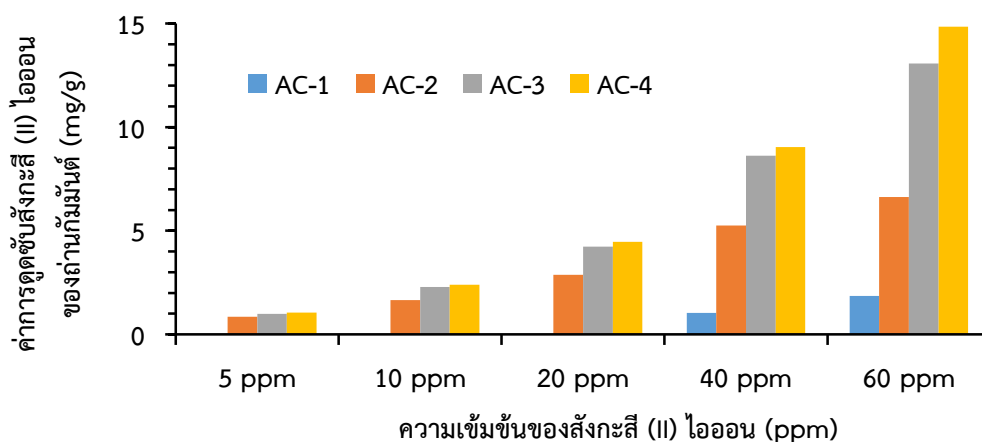
6. การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาทำการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 5.38, 12.36, 23.35, 49.50 และ 78.52 ppm และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี (II) ไอออนที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง ICP-OES และนำมาหาค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของถ่านกัมมันต์	ค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)				
	5.38 ppm	12.36 ppm	23.35 ppm	49.50 ppm	78.52 ppm
AC-1	nd	nd	nd	1.03	1.85
AC-2	0.85	1.65	2.87	5.26	6.63
AC-3	0.99	2.28	4.24	8.62	13.07
AC-4	1.05	2.39	4.47	9.04	14.85

จากตารางที่ 6 แสดงค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (II) ไอออนต่าง ๆ พบว่า ถ่านกัมมันต์ AC-4 มีค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้ดีที่สุดทุกความเข้มข้น รองลงมาเป็น AC-3 และ AC-2 และถ่านกัมมันต์ AC-1 มีค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้น้อยที่สุดทุกความเข้มข้น เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 6 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนกับความเข้มข้นของสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

จากภาพที่ 4 พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (II) ไอออนพบว่า ค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้น และถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 ที่ได้จากเมล็ดมะขามมีค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนที่สูงกว่าชนิด AC-1 และ AC-2 ที่ได้จากเปลือกมะขาม และเมื่อนำมาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของถ่านกัมมันต์	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ (%)				
	5.38 ppm	12.36 ppm	23.35 ppm	49.50 ppm	78.52 ppm
AC-1	nd	nd	nd	10.46	11.89
AC-2	79.61	67.13	61.93	53.33	40.66
AC-3	92.68	92.72	91.33	87.36	83.55
AC-4	98.04	97.35	95.98	91.48	32.24

จากตารางที่ 7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (II) ไอออนต่าง ๆ พบว่า ที่ความเข้มข้น 5.38, 12.36, 23.35 และ 49.50 ppm ถ่านกัมมันต์ AC-4 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้ดีที่สุด แต่ที่ความเข้มข้น 78.52 ppm ถ่านกัมมันต์ AC-3 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้ดีที่สุด และถ่านกัมมันต์ชนิด AC-1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้น้อยที่สุด และพบว่า แนวโน้มของการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ชนิด AC-2, AC-3 และ AC-4 มีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสี (II) ไอออน และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ชนิด AC-3 และ AC-4 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเมล็ดมะขาม (ชนิด AC-3 และ AC-4) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้ดีกว่าเปลือกมะขาม (ชนิด AC-1 และ AC-2) และถ่านกัมมันต์ชนิด AC-4 มีค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนสูงกว่าชนิด AC-3, AC-2 และ AC-1 ตามลำดับ ดังนั้นการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีดีที่สุด คือ ถ่านจากเมล็ดมะขามและอุณหภูมิในการเผาที่ 600 องศาเซลเซียส

สรุป

งานวิจัยนี้ได้้นำเปลือกและเมล็ดมะขามที่เหลือทิ้งมาสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออน โดยนำเปลือกและเมล็ดมะขามที่มีความชื้น 11.69% และ 7.20% ตามลำดับนำมาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ถ่าน เท่ากับ 37.29% และ 31.37% ตามลำดับ จากนั้นนำมากระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด เท่ากับ 28.77%, 27.16%, 28.68% และ 28.00% ตามลำดับ โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม (643 และ 717 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) เมื่อนำถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิดมาศึกษาการ

ดูดซับตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิด AC-2, AC-3 และ AC-4 มีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนที่ใกล้เคียงกัน และถ่านกัมมันต์ชนิด AC-1 มีค่าการดูดซับตะกั่ว (II) ไอออนที่ต่ำที่สุด ส่วนการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนของถ่านกัมมันต์ทั้ง 4 ชนิด พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิด AC-4 มีค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนที่สูงที่สุด รองลงมาเป็น AC-3 และ AC-2 และถ่านกัมมันต์ AC-1 มีค่าการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนได้น้อยที่สุด และวัตถุดิบจากมะขามและอุณหภูมิที่เผาที่แตกต่างกันมีผลต่อการดูดซับสังกะสี (II) ไอออนอีกด้วย ดังนั้นสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ (AC-4) ที่ได้จากถ่านเมล็ดมะขามที่เผา 600 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับตะกั่ว (II) หรือสังกะสี (II) ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุด และถ่านกัมมันต์ AC-3 และ AC-4 ไปใช้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระดับอุตสาหกรรมได้

ข้อเสนอแนะ

1. นำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว (II) หรือสังกะสี (II) ไอออนสูงขึ้น
2. นำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นๆ เพื่อการใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชในการสนับสนุนทุนสำหรับการวิจัย และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือการหาปริมาณของตะกั่ว (II) และสังกะสี (II) ไอออน (ICP-OES)

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. กรุงเทพฯ: หจก.สมงคลการพิมพ์.
- กองทัพอากาศ. (2563). ยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2563). กรุงเทพฯ: กองทัพอากาศ.
- คณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. (2558). แผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ.
- จักริน นักร้อง. (2549). การกำจัดสีจากน้ำชะขยะมูลฝอยโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ณิชนันท์ คำนวนสินธุ์, สมชาย มณีวรรณ, และอนุสรณ์ วรสิงห์. (2551). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะขามเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกรองอากาศในโรงเรียนอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2551. พิษณุโลก.
- ชญาลักษณ์ เกียรติธนาสกุล. (2552). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดตะกั่ว (II). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564)**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900-2547 ถ่านกัมมันต์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อภิปรียา คงสุวรรณ. (2552). การคืนสภาพทองแดงจากสารละลายผสมของทองแดงและตะกั่ว (II). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Jutakrudsada P., Prajaksud C., Kuboonya-Aruk L., Theerakulpisut S., & Kamwilaisak. K. (2016). Adsorption characteristics of activated carbon prepared from spent ground coffee. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 18, 639-645.
- Nguyen T.A.H., Ngo H.H., Guo W.S., Zhang J., Liang S., Yue Q.Y., & Nguyen T.V. (2013). Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. **Bioresource Technology**, 148, 574-585.
- Muzenda E., Kabuba J., Ntuli F., Mollagee M., & Mulaba A.F. (2011). **Cu (II) removal from synthetic waste water by ion exchange process**. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2011, 19-21 october 2011 University of California, San Francisco: Newswood Limited.
- Suhas, P.J.M. C., & Ribeiro M.M.L. C. (2007). Lignin-from natural adsorbent to activates carbon: A review. **Bioresource Technology**, 98(12), 2301-2312.

การพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ

ชัยวิชิต ไพรินทรภา^{1*}

Received : April 17, 2023

Revised : November 20, 2023

Accepted : December 26, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และประเมินประสิทธิภาพระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟ การออกแบบและพัฒนาระบบประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ดังนี้ 1) บอร์ด NodeMCU ESP8266 ทำหน้าที่เป็นคอนโทรลเลอร์ 2) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น 3) จอแสดงผลแอลซีดีขนาด 16x2 4) รีเลย์ และ 5) พัดลมระบายอากาศ ส่วนของซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย 1) โปรแกรม Arduino IDE สำหรับพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของบอร์ด 2) ภาษา C/C++ สำหรับพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานในบอร์ด 3) โปรแกรม MySQL ใช้ในการสร้างและจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น 4) โปรแกรม Apache Web Server ใช้ในการจัดทำเว็บไซต์เพื่อรับข้อมูลที่ส่งมาจากบอร์ดคอนโทรลเลอร์ และ 6) แอปพลิเคชัน Blynk ใช้ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน โดยทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดและเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ ระบบจะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในโรงเก็บเกิน 30 องศาเซลเซียส หรือมีความชื้นเกิน 68 เปอร์เซ็นต์ โดยการสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงาน และหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิหรือความชื้นอยู่ในระดับปกติ นอกจากนี้ระบบสามารถการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นลงฐานข้อมูล ระบบสามารถแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิ หรือความชื้นเกินค่าที่กำหนดไว้ผ่านแอปพลิเคชัน LINE และผู้ใช้งานสามารถสั่งให้ระบบทำงานแบบอัตโนมัติ หรือต้องการควบคุมระบบด้วยตนเองผ่านแอปพลิเคชัน Blynk การประเมินประสิทธิภาพของระบบ ใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาระบบจำนวน 5 คน โดยเลือกแบบเจาะจง และใช้แบบสอบถามในการประเมินผล ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบพบว่า ในภาพรวมประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.57)

คำสำคัญ: ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โรงเก็บเมล็ดกาแฟ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลทางธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

อีเมล: chaiwichit_pha@g.cmru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: chaiwichit_pha@g.cmru.ac.th

DEVELOPMENT OF AN INTERNET OF THINGS-BASED SYSTEM FOR CONTROLLING TEMPERATURE AND HUMIDITY IN THE COFFEE BEAN STORAGE FACILITY

Chaiwichit Phairintrapha^{1*}

Abstract

The objectives of this research were to design and develop a temperature and humidity control system for the coffee bean storage facility using the Internet of Things, and to evaluate the efficiency of the Internet of Things-based system for controlling temperature and humidity in the coffee bean storage facility. The hardware components used in designing and developing the system included: 1) NodeMCU ESP8266 board as the controller, 2) DHT22 temperature and humidity sensors, 3) a 1602 LCD display, 4) relays, and 5) ventilation fans. The software consisted of 1) The Arduino IDE application for creating software to control board operations, 2) C/C++ for programming on-board operations, 3) MySQL for generating and storing temperature and humidity data, 4) Apache Web Server for establishing a web server to receive data from the controller board, and 5) the Blynk Application for creating smartphone user interfaces. The subsequent step involved connecting all the equipment and programming to create a temperature and humidity control system within the coffee bean storage facility. The system activates the ventilation fan when the internal temperature exceeds 30 degrees Celsius or humidity levels exceed 68 percent, and subsequently turns off the fan when these parameters return to normal. Furthermore, the system can log temperature and humidity data into a database and notify users when either the temperature or humidity exceeds predetermined thresholds via the LINE application. Users have the option to specify whether the system should function automatically or be manually controlled, using the Blynk application. The system's performance was assessed by purposively sampling 5 experts in system design and development using questionnaires. The evaluation results indicated excellent overall performance, with a mean score of 4.37 and a standard deviation of 0.57.

Keywords: Temperature and humidity control system, Coffee bean storage, Internet of Things

¹ Lecturer of Digital Technology in Business in Management Science Administration, Chiang Mai Rajabhat University, e-mail: chaiwichit_pha@g.cmru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: chaiwichit_pha@g.cmru.ac.th

บทนำ

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการทำเกษตรกรรม เพิ่มขึ้นโดยอาศัยการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ ได้แก่ระบบเซ็นเซอร์ที่วัด อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสงแดด ปริมาณน้ำฝน และซอฟต์แวร์โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมระบบฮาร์ดแวร์ การสร้างแอปพลิเคชันช่วยในการทำงาน ช่วยให้เกษตรกร สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ช่วยประหยัดทรัพยากร รวมถึงการเตรียมพร้อมรับมือกับสภาพอากาศที่จะเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน โดยเฉพาะสำหรับคนในวัยทำงาน และนักศึกษา สำหรับ การปลูกกาแฟในประเทศไทย จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า นิยมปลูกกาแฟ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์โรบัสตาส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ภาคใต้ และพันธุ์อาราบิก้าส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือ (กรมส่งเสริม การเกษตร, 2560) จังหวัดเชียงใหม่ มีการปลูกกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าในหลายอำเภอ เนื่องจากสภาพภูมิ ประเทศ และภูมิอากาศเหมาะสม กาแฟจึงเป็นผลผลิตสำคัญของชุมชน และเป็นที่ต้องการของตลาด การเตรียม เมล็ดกาแฟหลังจากการเก็บเกี่ยวใช้ วิธีเปียก (Wet method) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมสำหรับสายพันธุ์อาราบิก้า เริ่มจากการนำเมล็ดกาแฟมาลอยน้ำเพื่อล้างทำความสะอาดและคัดแยกน้ำเมล็ดที่ลอยน้ำออก จากนั้นนำไปสี เพื่อนำเนื้อผลออกและลอกเมือก แช่น้ำสะอาดทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง นำไปตากบนแคร่ไม้ไผ่เพื่อลดความชื้นด้วย แสงแดด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10-15 วัน หลังจากเมล็ดกาแฟแห้งซึ่งจะเรียกว่า เมล็ดกาแฟกะลา นำบรรจุกาแฟ กะลาในถุงตาข่าย เพื่อช่วยในการระบายความชื้นของเมล็ดกาแฟ (Błaszkievicz et al., 2023) การเก็บไว้ เพื่อนำไปแปรรูป จะต้องเก็บเมล็ดกาแฟกะลาเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 6 เดือน ถึง 1 ปี ภายในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ ต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากเมล็ดกาแฟ สามารถดูดความชื้นจากอากาศ ได้ ซึ่งต้องอาศัยแรงงานคนเพื่อคอยตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ ซึ่งมีการวัดตามช่วงเวลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดได้ หากอุณหภูมิและความชื้นภายในสถานที่เก็บไม่เหมาะสม อาจเกิดเชื้อราที่เมล็ดกาแฟ หรือแมลงบางชนิดที่ชอบความชื้นเข้าทำลายสร้างความเสียหายแก่เมล็ดกาแฟได้

จากเหตุผลดังกล่าวมาผู้วิจัยมีความต้องการพัฒนา ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บ เมล็ดกาแฟ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อสร้างโรงเก็บเมล็ดกาแฟที่มีประสิทธิภาพ ลดการ สูญเสียของเมล็ดกาแฟ โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ภายในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ เพื่อคอยตรวจสอบ อุณหภูมิ ความชื้นภายในโรงเก็บ หากพบค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดระบบควบคุมสั่งการเปิด/ปิดพัดลมระบาย อากาศทำงาน เพื่อลดอุณหภูมิ ความชื้นภายในโรงเก็บ และเกษตรกรสามารถตรวจสอบข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน บนโทรศัพท์มือถือได้ตลอดเวลา และมีการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น เพื่อให้เกษตรกรใช้ในการวางแผนการ ดำเนินงานในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

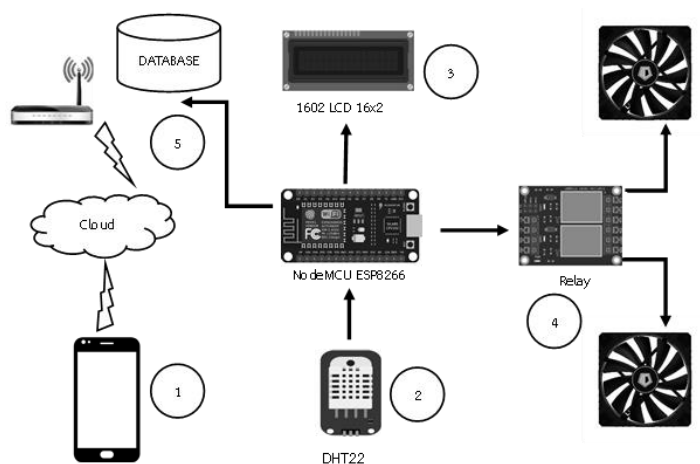
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ประกอบด้วย

- 1) ศึกษาเรื่องการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟ โดยศึกษาจากเกษตรกร ผู้เชี่ยวชาญ เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2) ศึกษาเรื่องการพัฒนา ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ทั้งส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยศึกษาเรื่องอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับระบบอินเทอร์เน็ต การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับแอปพลิเคชัน และการเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์

2. การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

โครงสร้างการทำงานของระบบ ใช้บอร์ด NodeMCU ESP8266 ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยรับค่าอุณหภูมิและความชื้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบ สามารถแบ่งโครงสร้างการทำงานของระบบได้เป็น 5 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างการทำงานของระบบ

หมายเลข 1 คือทำหน้าที่ติดต่อผู้ใช้งานบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ผู้ใช้งานที่สามารถตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น ควบคุมการทำงานของระบบได้ และสามารถได้รับการแจ้งเตือนจากระบบผ่านแอปพลิเคชัน LINE

หมายเลข 2 คือทำหน้าที่ในการรับข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เซ็นเซอร์ DHT22

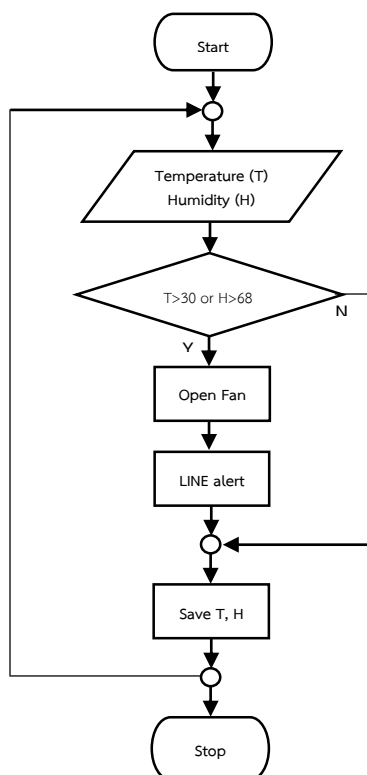
หมายเลข 3 คือทำหน้าที่ในการแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้น ที่บอร์ด NodeMCU ESP8266 รับค่าจากเซ็นเซอร์ DHT22 โดยแสดงผลผ่านทางจอแสดงผล LCD 1602

หมายเลข 4 คือทำหน้าที่ในการระบายอากาศออกจากโรงเก็บ โดย NodeMCU ESP8266 สั่งให้ รีเลย์ ทำงานเพื่อเปิดพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว เมื่ออุณหภูมิ หรือความชื้นเกินค่าที่กำหนดไว้

หมายเลข 5 คือทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นลงฐานข้อมูล

3. การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1) การพัฒนาโปรแกรม ใช้ภาษา C/C++ บนโปรแกรม Arduino IDE ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล ภายในบอร์ด NodeMCU ESP8266 เริ่มจากการรับค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซ็นเซอร์แล้วนำค่าที่ได้มาตรวจสอบ หากอุณหภูมิเกิน 30 องศาเซลเซียส หรือความชื้นเกิน 68% ระบบจะสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงาน พร้อมทั้งแจ้งเตือนทางแอลพลิเคชัน LINE และทำการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล มีการทำงานแบบวนรอบตลอดเวลา ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

2) การเขียนโปรแกรมการจัดเก็บข้อมูล ใช้โปรแกรม Apache Web Server ในการทำเว็บไซต์เซิร์ฟเวอร์ และโปรแกรม MySQL ในการสร้างและจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ที่รับค่าจากเซ็นเซอร์ โดยมีโครงสร้างตาราง ดังแสดงในภาพที่ 3

Name	Description	Data Type	Length	Key
ID	รหัส	varchar	10	PK
Sensor	ชื่อของเซ็นเซอร์	varchar	10	
Location	สถานที่ตั้ง	varchar	10	
Humidity	ความชื้น(เปอร์เซ็นต์)	float		
Temperature	อุณหภูมิ(เซลเซียส)	float		
Reading_time	วันที่ เวลาที่บันทึก	timestamp		

ภาพที่ 3 โครงสร้างตารางบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น

3) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ใช้การออกแบบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk สามารถทำงานได้ผ่านทางสมาร์ตโฟนของผู้ใช้งาน มีการออกแบบ 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบอัตโนมัติ (Auto mode) และแบบควบคุมด้วยมือ (Manual mode)

4) การทดสอบการทำงานของระบบ ใช้การเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิและความชื้น ระหว่างชุดเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้น กับเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศที่มาตรฐาน สามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นได้ ในการทดสอบครั้งนี้เลือกใช้ Tuya Wi-Fi Temperature and Humidity Sensor TH06

4. การประเมินผลประสิทธิภาพระบบ

การประเมินประสิทธิภาพระบบ ใช้แบบสอบถามที่สร้างขึ้นตามมาตรฐาน ISO/IEC 9126 เป็นมาตรฐานวัดคุณภาพของซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ความสามารถในการปฏิบัติงาน (Functionality) ความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability) การใช้งาน (Usability) และประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Efficiency) โดยนําระบบให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน เป็นนักวิชาการ 3 ท่านและเป็นโปรแกรมเมอร์ระดับอาวุโส 2 ท่าน เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบและพัฒนาระบบ ตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป โดยทำการทดลองใช้งาน และทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยมีการอธิบายและตอบข้อซักถามเกี่ยวกับการทำงานของระบบ พร้อมทั้งอธิบายจุดประสงค์ และข้อคำถามในแบบสอบถามก่อนำการประเมินผล

ผู้วิจัยใช้สถิติในการวิเคราะห์และสรุปผลโดยใช้ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำมาเทียบกับเกณฑ์การประเมินดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2560)

4.51 - 5.00 หมายถึง มีความประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด

3.51 - 4.50 หมายถึง มีความประสิทธิภาพในระดับมาก

2.51 - 3.50 หมายถึง มีความประสิทธิภาพในระดับปานกลาง

1.51 - 2.50 หมายถึง มีความประสิทธิภาพในระดับน้อย

1.00 - 1.50 หมายถึง มีความประสิทธิภาพในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟ งานวิจัยเกี่ยวกับระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น และข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

ปาริชาติ เทียนจุมพล และคณะ (2560) ได้อธิบายโดยอ้างอิงผลการวิจัยของ Bucheli et al. (1998). ที่ทำการศึกษาระบบการจัดเก็บเมล็ดกาแฟในอุตสาหกรรม โดยศึกษาถึงอุณหภูมิและความชื้นในที่เก็บ มีผลต่อการคุณภาพของเมล็ดกาแฟ พบว่าควรเก็บรักษาเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 °C ความชื้นต่ำกว่า 68 % โดยเมล็ดกาแฟที่นำมาเก็บรักษาต้องมีความชื้นไม่เกิน 13% เพื่อช่วยในการรักษาคุณภาพของเมล็ดกาแฟ และภายในโรงเก็บควรมีการระบายอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น ที่สะสมอยู่ในเมล็ดกาแฟออก เพื่อลดโอกาสการเกิดเชื้อรา

Błaszkiwicz et al. (2023) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลของเงื่อนไขในการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟดิบและกาแฟคั่วที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของตัวแปรคุณภาพที่ใช้ในการเลือก โดยเก็บเมล็ดกาแฟในถุง 2 ชนิด คือ ถุงจุทและถุงพอลิเมอร์ เก็บเมล็ดกาแฟในห้องอุณหภูมิสามห้อง คือ -10, 10, และ 20 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า เมล็ดที่เก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นานที่สุด เมล็ดที่เก็บในห้องอุณหภูมิ -10 และ 10 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บที่ใกล้เคียงกัน ส่วนถุงที่ใช้บรรจุเมล็ดกาแฟทั้งสองประเภทไม่ส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ

ธีรวัฒน์ ชื่นอัถดงคต และ ศรยุทธ์ จิตรพัฒนากุล (2565) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาและพัฒนา ระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับโรงเรือนปลูกผักสลัด โดยใช้ตัวอุปกรณ์เปิดและปิดไฟฟ้า SONOFF WiFi เป็นโมดูลควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงเรือนผ่านทางสมาร์ตโฟน ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถควบคุมสมดุลของอุณหภูมิและความชื้น ได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ และสามารถควบคุมหัวพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ ผ่านทางสมาร์ตโฟนโดยใช้แอปพลิเคชัน eWeLink ได้

บอร์ด NodeMCU ESP8266 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่งสามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้ เนื่องจากตัวบอร์ดมี Wi-Fi ในตัวสามารถเชื่อมต่อเครือข่ายและใช้งานเป็น Access point และ Web server ได้มีพอร์ต Micro USB สำหรับจ่ายไฟและอัปโหลดโปรแกรม มีชิปแปลงแรงดันไฟฟ้าในตัว และมีขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 เป็นโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ความละเอียดสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส ที่ความแม่นยำ ± 0.5 องศาเซลเซียส และความชื้น 0-100% คลาดเคลื่อน 2-5%

จอแสดงผล LCD 1602 ขนาด 16x2 เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัด

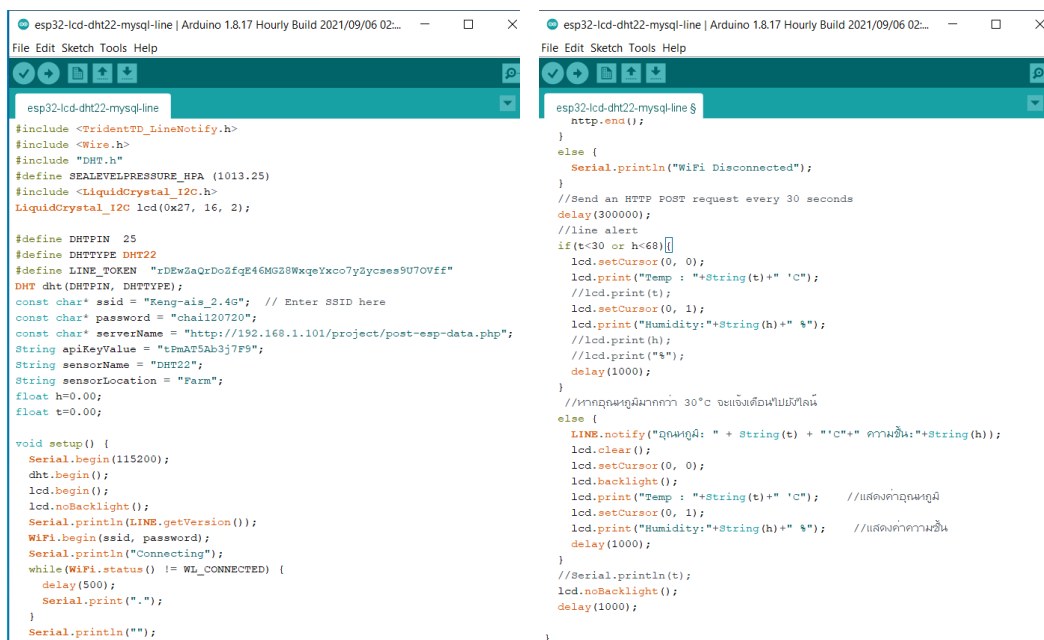
2. ผลการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น นำอุปกรณ์เชื่อมต่อกันตามโครงสร้างในภาพที่ 1 และติดตั้งลงตู้ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

3. ผลการพัฒนาและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1) การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ โปรแกรม C/C++ โดยเขียนโปรแกรม บน Arduino IDE ตามโปรแกรมขั้นตอนการทำงานในภาพที่ 2 และทำการโหลดโปรแกรมลงบอร์ด NodeMCU ESP8266 ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โปรแกรมควบคุมการทำงานอุปกรณ์

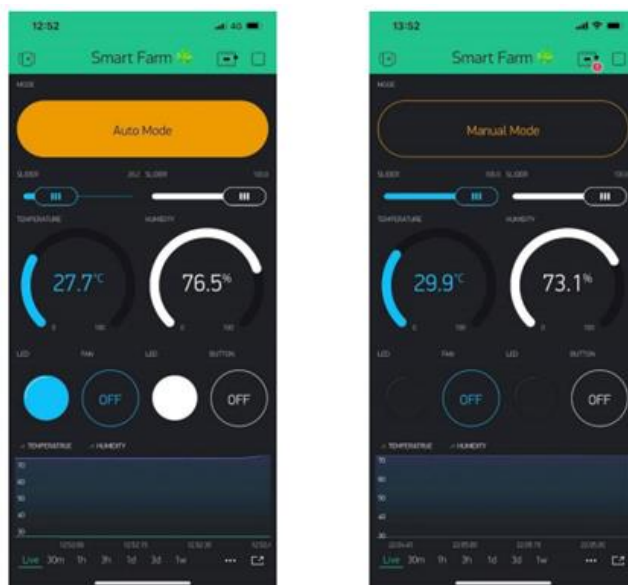
2) ตารางที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น พบว่ามีการบันทึกข้อมูลลงตารางได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพที่ 6

id	sensor	location	Humidity	TempC	TempF	reading_time
92	DHT22	Farm	55.00	28.70	83.66	2023-09-29 21:41:12
93	DHT22	Farm	50.50	29.00	84.20	2023-09-29 21:41:22
94	DHT22	Farm	50.10	29.20	84.56	2023-09-29 21:41:37
95	DHT22	Farm	50.50	29.10	84.38	2023-09-29 21:41:47
96	DHT22	Home	50.80	29.00	84.20	2023-04-05 08:15:04
97	DHT22	Home	50.40	29.10	84.38	2023-04-05 08:20:08
98	DHT22	Home	49.50	29.10	84.38	2023-04-05 08:25:12

ภาพที่ 6 ตารางข้อมูลที่เก็บอุณหภูมิและความชื้น

3) การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ควบคุมการทำงานของระบบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk แบ่งการทำงานเป็น 2 รูปแบบได้แก่ แบบอัตโนมัติ (Auto mode) ระบบสามารถทำงานเปิด/ปิดพัดลมระบายอากาศได้ด้วยตัวระบบเอง และแบบควบคุมด้วยมือ (Manual mode) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถสั่งเปิด/ปิดพัดลมระบายอากาศได้ตามความต้องการ และมีการแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ในที่เก็บเมล็ดกาแฟ พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การควบคุมการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

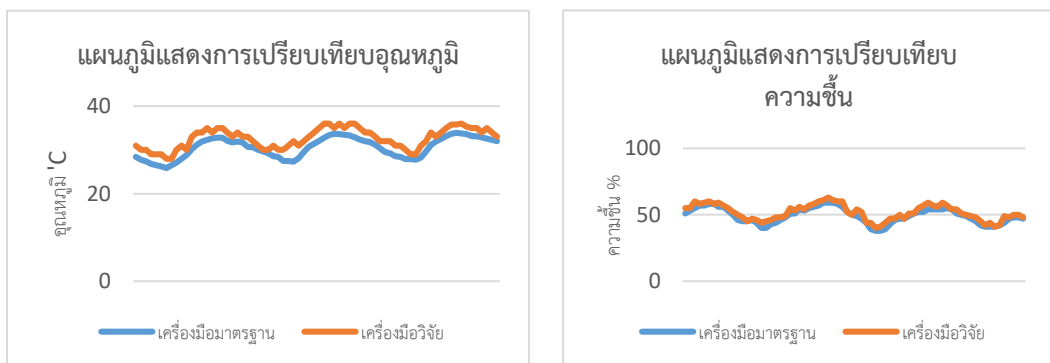
นอกจากนี้ ระบบสามารถแจ้งเตือนการทำงานของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบการทำงานผ่าน แอปพลิเคชัน LINE ได้ โดยแจ้งเตือนอุณหภูมิและความชื้นที่เกิน 30 องศาเซลเซียส และความชื้นเกิน 68% ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การแจ้งเตือนผ่าน LINE

4) การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการอ่านค่าของอุณหภูมิและความชื้นของระบบ เริ่มจากนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล โดยที่ระบบทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นไว้ มาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิและความชื้นจากกับเครื่องมือมาตรฐาน โดยใช้ข้อมูลจำนวน 3 วันระหว่างวันที่ 7- 9 มีนาคม 2566 บันทึกข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อทำการวิเคราะห์การทำงานของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้น

จากภาพที่ 9 ผลการทดสอบ พบว่า ค่าของอุณหภูมิและความชื้นของระบบ เซ็นเซอร์อ่านค่าของอุณหภูมิและความชื้นได้สูงกว่าชุดเครื่องมือมาตรฐาน โดยพบว่าค่าอุณหภูมิอ่านได้สูงกว่าประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นอ่านได้สูงกว่าประมาณ 3-5% ซึ่งค่าอุณหภูมิและความชื้นสามารถนำไปปรับการทำงานของโปรแกรมควบคุม เพื่อหาค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมสำหรับระบบได้

เนื่องจากพื้นที่วิจัย เป็นพื้นที่สูง ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นในเวลากลางวันและกลางคืน จะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ในเวลากลางวันระบบสามารถทำงานได้โดยตรวจสอบค่าอุณหภูมิ ส่วนในเวลากลางคืน ค่าของความชื้นในอากาศจะมีมากกว่าในเวลากลางวัน ระบบต้องตรวจสอบค่าของความชื้นในอากาศเพื่อสั่งให้ระบบทำงาน ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการให้ความสำคัญกับเงื่อนไขของโปรแกรมโดยกำหนดอุณหภูมิเกิน 30 องศาเซลเซียส ระบบระบายอากาศต้องทำงานหรือหากความชื้นสูงกว่า 68% ระบบระบายอากาศต้องทำงานเช่นเดียวกัน

4. การประเมินผลประสิทธิภาพระบบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน พบว่า ในภาพรวมผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.57) สรุปผลได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
ด้านความน่าเชื่อถือของระบบ			
1.ระบบสามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างถูกต้อง	4.40	0.55	มาก
2.ระบบสามารถสั่งการควบคุมการทำงานอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง	4.60	0.55	มากที่สุด
3.ระบบมีเสถียรภาพการในการทำงาน	4.40	0.55	มาก
4.ระบบมีความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล	4.20	0.84	มาก
รวม	4.40	0.60	มาก
ด้านการใช้งานในระบบ			
1.ระบบมีความง่ายในการใช้งาน	4.40	0.55	มาก
2.ระบบมีความรวดเร็วในการประมวลผล	4.20	0.45	มาก
3.ระบบช่วยลดเวลาในการทำงาน	4.00	0.71	มาก
4.ระบบมีความสะดวกในการใช้งาน	4.40	0.55	มาก
รวม	4.25	0.55	มาก

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
ด้านความสามารถในการใช้งานระบบ			
1.ระบบมีความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอการใช้งาน	4.20	0.84	มาก
2.ระบบมีความเหมาะสมในการแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น	4.40	0.55	มาก
3.ระบบมีความเหมาะสมของการจัดวางรูปแบบหน้าจอในระบบ	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	4.40	0.63	มากที่สุด
ด้านประสิทธิภาพของระบบ			
1.ระบบสามารถช่วยบริหารจัดการภายในโรงเก็บได้	4.40	0.55	มาก
2.ระบบช่วยให้ทำงานง่ายและสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น	4.60	0.55	มากที่สุด
3.ระบบช่วยในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น เพื่อการนำไปใช้งานได้	4.40	0.55	มาก
รวม	4.47	0.52	มาก
รวมทั้งหมด	4.37	0.57	มาก

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.57) และเมื่อพิจารณารายด้านเรียงจากมากไปน้อย พบว่า ด้านที่มีผลการประเมินมากที่สุด คือ ด้านประสิทธิภาพของระบบ ($\bar{X} = 4.47$, S.D. = 0.52) รองลงมาคือด้านความน่าเชื่อถือของระบบ และด้านความสามารถในการใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.60) อันดับสุดท้ายคือด้านการใช้งานในระบบ ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = 0.55)

อภิปรายผล

ผลการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟโดยใช้เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ด้านที่มีผลการประเมินในระดับสูงสุดคือ ด้านประสิทธิภาพของระบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิทธิโชค พรค์พิทักษ์ และคณะ (2564) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก และพบว่า ระบบสามารถช่วยในการจัดการให้น้ำแก่อ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยในการประหยัดทรัพยากร แรงงาน และค่าใช้จ่ายได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับปรียากร บัวทอง (2564) ได้ทำการวิจัยเรื่อง อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมระบบในโรงเพาะชำอัตโนมัติ พบว่า ระบบสามารถ

ช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเพาะชำได้อย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมการทำงานในโรงเพาะชำอัตโนมัติสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่งผลให้เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงกว่าการเพาะเมล็ดนอกโรงเพาะชำ

ประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณา ด้านความน่าเชื่อถือของระบบ ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยรายข้อพบว่ามีความไม่ชัดเจน ได้แก่คำถามเรื่อง ระบบมีความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ได้คะแนนในการประเมินน้อยที่สุด แต่ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และเป็นข้อคำถามที่ผู้วิจัยคาดว่าน่าจะได้คะแนนประเมินมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทำการสอบถามเพิ่มเติมไปยังผู้เชี่ยวชาญ พบว่า สาเหตุเกิดจากความไม่เชื่อถือในคุณภาพของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ผู้เชี่ยวชาญแนะนำว่า ควรใช้เซ็นเซอร์ที่ผ่านการสอบเทียบค่ามาตรฐาน หรือเซ็นเซอร์ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม เพื่อการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ถูกต้อง และเป็นข้อมูลที่นำเชื่อถือสามารถนำไปใช้ได้

อีกประเด็นหนึ่ง คือ ด้านการใช้งานในระบบ ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก แต่มีประเด็นที่น่าสนใจที่พบคือในคำถามเรื่อง ระบบช่วยลดเวลาในการทำงาน ได้คะแนนการประเมินน้อยที่สุด สาเหตุเกิดจากผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นว่า ระบบไม่สามารถช่วยลดเวลาในการทำงานในโรงเก็บเมล็ดกาแฟได้ เวลาในการทำงานยังคงเท่าเดิม ในการจัดการภายในโรงเก็บยังคงใช้แรงงานคน เช่น การนำเมล็ดกาแฟในการสอบออกมตากแดด หรือการสลับตำแหน่งการจัดเรียงกระสอบ แต่สิ่งที่ระบบสามารถช่วยได้คือการเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟให้มีคุณภาพที่ดี เกิดความเสียหายจากการเก็บลดลง ช่วยให้มีปริมาณเมล็ดกาแฟสำหรับจำหน่ายเพิ่มขึ้น สามารถสร้างรายได้เพิ่มขึ้น

สรุป

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับโรงเก็บเมล็ดกาแฟโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สามารถช่วยเกษตรกรในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเมล็ดกาแฟได้ โดยระบบเริ่มทำงานโดยการตรวจสอบค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บเมล็ดกาแฟ หากอุณหภูมิและความชื้นเกินเกณฑ์โดยตั้งเงื่อนไขการทำงานของระบบที่อุณหภูมิเกิน 30 องศาเซลเซียส หรือความชื้นสูงกว่า 68% พัดลมภายในโรงเก็บจะทำงานเพื่อระบายอากาศออกจากโรงเก็บ พร้อมทั้งแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ของผู้ใช้งาน และมีการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของระบบผ่าน แอปพลิเคชัน Blynk โดยสามารถสั่งเปิด/ปิดพัดลมระบายอากาศได้ตามต้องการ หรือให้ระบบทำงานแบบอัตโนมัติก็ได้ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานของระบบอยู่ในระดับมาก โดยด้านที่มีผลการประเมินมากที่สุดคือ ด้านประสิทธิภาพของระบบ รองลงมา คือ ด้านความน่าเชื่อถือของระบบ และด้าน

ความสามารถในการใช้งานระบบ ส่วนด้านที่มีผลการประเมิณน้อยที่สุด คือ ด้านการใช้งานในระบบ ประเด็นสำคัญในการใช้งานเนื่องจากเป็นระบบที่ใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ระบบอาจเกิดปัญหาเมื่ออินเทอร์เน็ตขัดข้อง และมีอุปกรณ์ส่วนประกอบในระบบหลายชนิดที่เชื่อมต่อกัน ทำให้การใช้งานอาจไม่สะดวกสำหรับผู้ใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

การนำระบบไปติดตั้งควรคำนวณปริมาตรของโรงเก็บเพื่อติดตั้งจำนวนพัดลมระบายอากาศให้เหมาะสมและสามารถลดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเก็บได้อย่างรวดเร็ว ในพื้นที่สูงหรือฤดูฝนที่มีความชื้นในอากาศสูง ควรติดตั้งหลอดไฟให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นภายในโรงเก็บเพิ่ม

การเลือกอุปกรณ์และเซนเซอร์ ควรมีการทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซนเซอร์ ควรเลือกใช้เซนเซอร์ที่มีความเสถียรและมีความแม่นยำสูง สามารถสอบเทียบค่ามาตรฐานได้ เพื่อเป็นนำข้อมูลที่นำมาตรวจสอบ และใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการบันทึกความเสียหายของเมล็ดกาแฟ จากการจัดเก็บในโรงเก็บที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสามารถของระบบในการลดปริมาณความเสียหายของเมล็ดกาแฟ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบ เช่นค่าไฟฟ้า ค่าบริการอินเทอร์เน็ต ควรมีการศึกษาสภาพอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่วิจัย

ควรมีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 2 ชุด ชุดแรกตรวจสอบอุณหภูมิและระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ ชุดที่ 2 ตรวจสอบความชื้นและลดความชื้นด้วยการใช้หลอดไฟให้ความร้อน

ควรมีระบบตั้งอุณหภูมิและความชื้น ที่ผู้ควบคุมอุปกรณ์ โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดอุณหภูมิและความชื้นในการที่จะสั่งให้ระบบทำงานได้ด้วยตนเองที่ผู้ควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และความร่วมมือจากชุมชนเกษตรต้นน้ำ ต.ป่าแป๋ อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์ทางด้านสถานที่และความสะดวกในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560). ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร. สืบค้นจาก

<http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rortor/perennial/coffee.pdf>

ธีรวัฒน์ ชื่นอัคตงคต, และศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล. (2565). การศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับโรงเรือนปลูกผักสลัด. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**, 17(3), 33-46.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปาริชาติ เทียนจุมพล, ดนัย บุญยเกียรติ, ญัฐวิวัฒน์ หมั่นมาณี และสุภาวดี ศรีวงศ์เพชร. (2560). กระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวกาแฟอาราบิก้าและโรบัสตาในประเทศไทยกับการปนเปื้อนสารโอคราตอกซิน. สืบค้นจาก https://www.phtnet.org/2016/12/334/?fbclid=IwAR3OZk-ubqcKF_xwWfPEhrLQ2iR9SE7mBABNa6s7zvpH7V9LDIgBJPdgdgkho

ปรียากร บัวทอง. (2564). อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมระบบในโรงเพาะชำอัตโนมัติ.

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 1(2), 8-18.

สิทธิโชค พรรคพิทักษ์, กาญจนา ดงสงคราม, ศศิธร อ่อนเหลา, กฤตภาส ยุทธอาจ, และอุดมศักดิ์ พิมพ์พาศรี.

(2564). การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติผ่านเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยคั้นน้ำ.

วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 7(12), 17-29.

Błaszkiwicz J., Nowakowska-Bogdan E., Barabosz K., Kulesza R., Dresler E., Woszczyński P.,

Biłos Ł., Matuszek D.B. & Szkutnik K. (2023). Effect of green and roasted coffee

storage conditions on selected characteristic quality parameters. **Scientific Reports**, 13, 6447.

Bucheli, P., Meyer, I., Pittet, A., Vuataz, Viani, G. & Vianis, R. (1998). Industrial Storage of

Green Robusta Coffee under Tropical Conditions and Its Impact on Raw Material Quality and Ochratoxin A Content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46(11), 4507-4511.

การใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินทรายจัดเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว

รัตชล อ่างมณี^{1*}

Received : March 15, 2023

Revised : December 18, 2023

Accepted : February 6, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงสมบัติของดินทราย และเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ไบโอชาร์ในการศึกษานี้ผลิตจากเศษข้าวโพด ผลการวิเคราะห์สมบัติพบว่า มีพื้นที่ผิว และรูพรุน 103.14 ตารางเมตร/กรัม มีค่าความเป็นกรดต่าง 7.69 มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก 56.14 เซนติโมล/กิโลกรัม โพแทสเซียมที่ใช้ได้ 21,146 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ได้ 440 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีปริมาณคาร์บอน 55.11 % การวิเคราะห์สมบัติของดิน พบว่า เป็นดินประเภทดินทรายจัด มีค่าความหนาแน่นรวม 1.51 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.58 กรัม/ลบ.ซม และมีค่าความพรุนประมาณ 47 % มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ เป็นกรดเล็กน้อย อินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ การใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินด้วยการผสมในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ และเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ปรับปรุงดินพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน สูงกว่าดินแปลงควบคุม ผลการทดลองเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า ไบโอชาร์สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ โดยผลผลิตเฉลี่ยของแปลงทดลองจำนวน 3 แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยที่ 52.6 กิโลกรัม มากกว่าค่าเฉลี่ยแปลงทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยทั้ง 3 แปลงปริมาณ 46 กิโลกรัม ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มทดลองด้วย t-test พบว่า ทั้งสองกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดลองครั้งนี้จึงสามารถทำให้สรุปได้ว่าไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้เหมาะสมกับการเกษตร

คำสำคัญ: ดินทรายจัด ไบโอชาร์ สารปรับปรุงดิน

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการสาธารณสุข คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: rattachon@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: rattachon@vru.ac.th

USE OF BIOCHAR TO IMPROVE SANDY SOIL FOR INCREASED FIELD CORN YIELD IN TAPHRIK SUB-DISTRICT, ARANYAPRATHET DISTRICT, SA KAEO PROVINCE

Rattachon Angmanee^{1*}

Abstract

The objectives of this research were to study the use of biochar to improve the properties of sandy soil and to study the use of biochar to increase field corn yield in Taphrik sub-district, Aranyaprathet district, Sa Kaeo province. The biochar used in this study was produced from corn residues. The analysis of the biochar properties revealed a surface area and pore volume of 103.14 m²/g, a pH value of 7.69, a cation exchange capacity of 56.14 cmol/kg, an available potassium content of 21,146 mg/kg, an available phosphorus content of 440 mg/kg, and a carbon content of 55.11%. The properties of the soil in the study area were identified as sandy soil with a bulk density of 1.51 g/m³, a particle density of 2.58 g/m³, and a porosity of approximately 47%. The exchangeable cation value was low and slightly acidic, and the organic matter and various nutrients were at very low levels. The results of using biochar to improve soil properties by mixing it at a ratio of 1,000 kg/rai and comparing it with control plots without soil improvement showed that the pH value, electrical conductivity, beneficial phosphorus, and beneficial potassium, and calcium levels were higher than those in the control plots. The results of the experiment using biochar to improve soil and increase corn yield showed that biochar could increase corn yield. The average corn yield in the experimental plot was 52.6 kg, surpassing the average yield of animal feed corn in the control plot, which stood at 46 kg. The result of comparing between two experimental groups using a t-test indicated significant differences at a significance level of 0.05.

Keywords: Sandy soil, Biochar, Soil amendment

¹ Disaster Management Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: rattachon@vru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: rattachon@vru.ac.th

บทนำ

ไบโอชาร์ คือวัสดุที่เกิดจากการให้ความร้อนกับชีวมวลด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือการให้ความร้อนโดยปราศจากออกซิเจน หรือ ออกซิเจนน้อยมาก วัสดุที่ผลิตได้อุดมไปด้วยคาร์บอนและไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติโดยง่าย มีประจุไฟฟ้าและความพรุนสูงสามารถใช้ในการปรับปรุงดิน (Borchard et al., 2012) ช่วยดูดซับธาตุอาหาร ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชแบบช้า ๆ ทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารช่วยดูดซับความชื้นในดิน (Kumar et al., 2023) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยเคมีให้สูงขึ้น ทำให้ประหยัดการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุนและเพิ่มรายได้ ทั้งยังเพิ่มผลผลิต (Farrell, 2014) จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ไบโอชาร์ได้รับความสนใจใช้เป็นวัสดุเพื่อปรับปรุงดิน และเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในแง่ของการนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Lehmann & Rondon, 2006) เนื่องจากมีหลักฐานมากมายได้ยืนยันถึงคุณสมบัติของไบโอชาร์ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ลดการถูกชะล้างของธาตุอาหารในดิน (Fang et al., 2014) เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Zhao et al., 2014) รายงานการศึกษามากมายได้รายงานประโยชน์ของไบโอชาร์ในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน (Spokas et al., 2012) เพื่อเพิ่มผลผลิตทางด้านเกษตรกรรม นอกจากนี้ไบโอชาร์ยังได้รับความสนใจในแง่ของความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยการใช้เป็นเครื่องมือกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน (Asai et al., 2009) โดยเฉพาะดินในภาคเกษตรกรรม (Glaser et al., 2001) และยังสามารถจัดการปัญหาขยะจากภาคเกษตรกรรมและเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะชีวภาพเนื่องจากไบโอชาร์สามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้ง ดังจะเห็นได้จากหลักฐานมากมายได้ยืนยันถึงคุณสมบัติของไบโอชาร์ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เพิ่มพื้นที่ผิว และประจุบวกทำให้เพิ่มค่าการดูดซับของสารที่เป็นประโยชน์กับพืช และส่งผลกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน (Eykelbosh et al., 2014)

ปัญหาทรัพยากรดิน เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นดินตื้น, ดินมีความเป็นกรดหรือดินที่มีสภาพเป็นด่าง รวมทั้งหนึ่งในปัญหาสำคัญคือปัญหาดินทรายจัด (Sandy soils) ซึ่งหมายถึงดินที่มีอนุภาคขนาดเม็ดทรายเป็นส่วนมาก หรือทรายล้วน โดยนิยามหมายถึงดินที่มีอนุภาคขนาดทรายเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 85 ขึ้นไป และมีความหนาของชั้นดินมากกว่า 50 เซนติเมตร (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2553) ปัญหาดินทรายจัดของประเทศไทยนั้นครอบคลุมทั่วประเทศ และมีพื้นที่รวมกันกว่า 11.7 ล้านไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) สร้างความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจโดยเฉพาะด้านเกษตรกรรมเป็นอย่างมาก สาเหตุที่เป็นรากฐานของปัญหาดินทรายจัดนั้นเกิดจากสมบัติโดยธรรมชาติของดินทรายที่มีต้นกำเนิดดินเป็นแร่ควอตซ์ซึ่งเป็นแร่ที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินจึงเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย ดินไม่จับตัวเป็นก้อนทำให้ไม่มีโครงสร้าง (บุรี บุญสมภพพันธ์, 2531) นอกจากนั้นแร่ควอตซ์ยังเป็นแร่ที่การแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำมากทำให้ไม่สามารถยึดเหนี่ยวธาตุอาหารสำคัญของพืช เช่น ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียม จึงมีธาตุอาหาร

น้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) และการกระจายของขนาดอนุภาคที่มีช่องว่างขนาดใหญ่เกินไปทำให้แรงยึดเหนี่ยวของน้ำและเม็ดดินอยู่ในช่วงไม่เหมาะสม น้ำมีการระบายออกอย่างรวดเร็ว และตลอดเวลา (เอิบ เขียวรัตน์, 2533) อย่างไรก็ตามปัญหาดินทรายจัดนี้ เป็นปัญหาที่สามารถแก้ไขให้เหมาะสมกับการทำเกษตรกรรมได้ แต่มีความจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างถูกต้อง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561)

จากสมบัติของไบโอชาร์ และปัญหาดินทรายจัดนี้ สมบัติของไบโอชาร์จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุปรับปรุงดินเพื่อช่วยเพิ่มผลิตผลทางการเกษตร (กัญจน์รี ช่วงฉ่ำ, 2555) เนื่องจากสมบัติของไบโอชาร์ที่มีความพรุนสูง สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำของดินส่วนที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม เช่นมีการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูง (Abel et al., 2013) สามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการให้ปุ๋ยวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการประยุกต์ใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินโดยพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้คือ ตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เป็นดินทราย หรือดินต้น และทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อศึกษาผลของการใช้ไบโอชาร์เพื่อปรับปรุงดินเพื่อเป็นการศึกษาถึงโอกาสในการนำเทคโนโลยีไบโอชาร์มาใช้ในการจัดการปัญหาผลผลิตทางด้านเกษตรกรรม และปัญหาการปลดปล่อยคาร์บอนในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงสมบัติของดินทราย และศึกษาการใช้ไบโอชาร์เพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแปลงทดลอง

การทดลองครั้งนี้ได้จัดทำแปลงทดลอง ณ. ตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว พิกัดภูมิศาสตร์ UTM 47P, 860464 E, 1499224 N. โดยแปลงทดลองในครั้งนี้เป็นการวางแผนการทดลองใช้แบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยมีแปลงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร พื้นที่ 64 ตารางเมตร แต่ละแปลงห่างกัน 1.5 เมตร โดยแบ่งกลุ่มของแปลงทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ จำนวน 3 แปลงทดลอง (B1, B2, B3) และแปลงทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดิน หรือแปลงควบคุมจำนวน 3 แปลงทดลอง (C1, C2, C3) โดยปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงดินจำนวน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ใช้การคำนวณจากปริมาณของเสียของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิต ได้แก่ใบ ลำต้นในแต่ละรอบการเพาะปลูก และน้ำหนักโดยเฉลี่ยเมื่อแปรสภาพไบโอชาร์ที่ใช้ศึกษารั้งนี้ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่รวบรวมจากรอบแปลงทดลอง โดยเก็บรวม

รวมจากเศษต้นข้าวโพด ใบ ลำต้น จากนั้นนำมาแปรรูปด้วยเตาแบบผสมก๊าซซิฟิเคชันและไพโรไลซิสแบบมีแกนเผาไหม้อยู่ด้านในโดยใช้อุณหภูมิที่ผลิตประมาณ 400 องศาเซลเซียส

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของไบโอชาร์

การวิเคราะห์รูปร่าง และสัณฐานของพื้นผิวของไบโอชาร์ศึกษาด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy(SEM)), พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดของช่องว่าง การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในไบโอชาร์ใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence(XRF)) สมบัติทางเคมีที่วิเคราะห์ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และฟอสฟอรัส

3. การศึกษาผลของไบโอชาร์ที่มีต่อสมบัติของดิน

สมบัติของดินที่วิเคราะห์เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของไบโอชาร์ในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินโดยเก็บตัวอย่างดินตั้งแต่อ่อนการปรุงดิน, หลังการปรับปรุงดิน 45 วัน และหลังการปรับปรุงดิน 90 วัน โดยสมบัติของดินที่วิเคราะห์ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture) ด้วยการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size analysis) ตามระบบของ United States Department of Agriculture System(USDA), ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density of soil) โดยการวัดสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของดินที่อบแห้งแล้ว ต่อปริมาตรรวมของดินทั้งหมด (กรัม/ลบ.ซม.), ความพรุน วิเคราะห์ด้วยการเก็บด้วยวิธีไม่ถูกรบกวนด้วยคอร์เก็บดินและอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เพื่อหาอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร, ค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน วิเคราะห์จากอัตราส่วนของมวลอบแห้งต่อปริมาณเฉพาะดินส่วนที่เป็นของแข็งที่ได้จากวิธีแทนที่น้ำ

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ความเป็นกรดต่าง (pH), ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter; OM), ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity), ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation exchange capacity), ค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นต่าง (Base saturation percentage), ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available potassium) แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช(Available calcium) แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available magnesium)

4. การศึกษาผลของไบโอชาร์ที่มีต่อผลผลิตข้าวโพด

การศึกษาลผลของไบโอชาร์ต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใช้การวัดจากผลผลิตรวมของข้าวโพดหลังจากปลูกเป็นเวลา 90 วัน โดยใช้น้ำหนักฝักเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแตกต่างของผลผลิตรวมของข้าวโพดในแปลงทดลองที่มีการปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ และแปลงควบคุมด้วยการวิเคราะห์ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

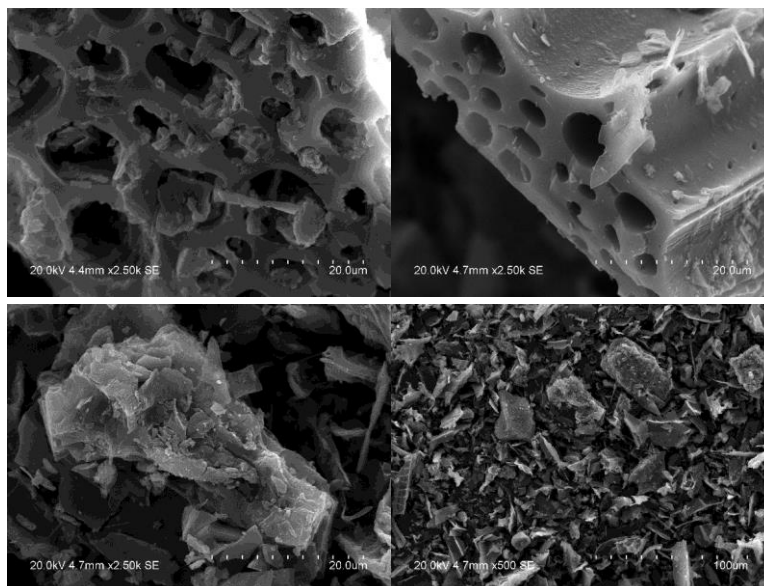
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอชาร์

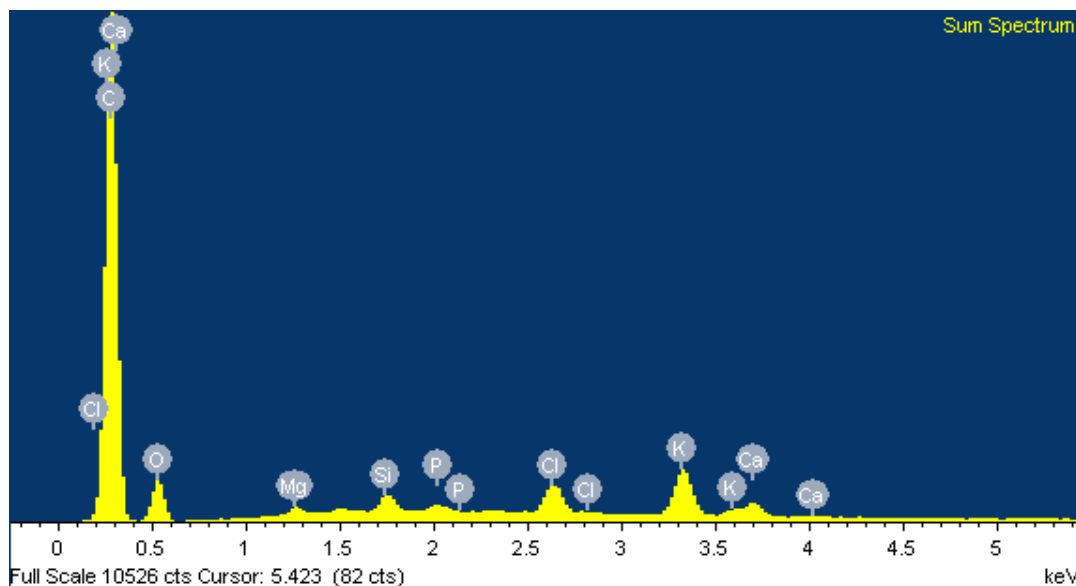
1.1 สมบัติทางกายภาพของไบโอชาร์

ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพดพบว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 103.14 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งถือว่าสูงมาก และมีขนาดช่องว่างเฉลี่ย (Average pore size) 28.31 Å และมีผลรวมทั้งหมดของช่องว่าง (Total pore volume) 8.05×10^{-2} มิลลิลิตร/กรัม ผลการศึกษาสอดคล้องกับการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM) ดังภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์จากเศษข้าวโพดเต็มไปด้วยรูพรุนสูงมาก โดยมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 30 ถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งขนาดของรูพรุนนี้จัดเป็นช่องว่างขนาดเล็ก โดยมีขนาดช่องว่างอยู่ระหว่าง 0.02 นาโนเมตร - 0.11 นาโนเมตร ผลการศึกษาระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะ และโครงสร้างของไบโอชาร์จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนี้จึงมีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติเด่นของไบโอชาร์ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเนื่องจากช่องว่างเหล่านี้จะเป็นตัวยึดเหนี่ยวธาตุอาหาร และน้ำในดิน ส่งผลต่อสมบัติของดินทางเกษตรกรรม

ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของไบโอชาร์ด้วยการวิเคราะห์เชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer) แสดงดังภาพที่ 2 ธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ธาตุคาร์บอนปริมาณ 78.89 % และมีธาตุออกซิเจนปริมาณรองลงมาโดยมีสัดส่วน 15.51 % โพแทสเซียม 2.1 % คลอรีน 1.24 % ซัลเฟอร์ 1.09 % และธาตุอื่น ๆ ได้แก่ แคลเซียม, อะลูมิเนียม, ซิลิกอน และฟอสฟอรัส รวม 1.17 %



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายพื้นผิวของไบโอชาร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุหลักของไบโอชาร์ด้วยเทคนิค Energy-dispersive X-ray (EDX)

1.2 สมบัติทางเคมีของไบโอชาร์

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไบโอชาร์แสดงดังตารางที่ 1 โดยพบว่า ไบโอชาร์มีค่าความเป็นกรดต่าง 7.6 ซึ่งถือว่ามีความเป็นด่างเล็กน้อย 7.6 ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่มีความเป็นกรดเล็กน้อยได้ มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง 56.14 เซนติโมล/กิโลกรัม ซึ่งถือว่าสูงมาก และสามารถใช้คุณสมบัตินี้ปรับปรุงความสามารถในการเก็บรักษาและแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกกับดิน เพื่อช่วยเพิ่มการเก็บรักษาธาตุอาหารของดิน ผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ไบโอชาร์ที่มีปริมาณธาตุอาหารระดับมาโครที่สำคัญ มีปริมาณโพแทสเซียม 21,146 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคลเซียม 820 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียม 1,120 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส 440 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ไบโอชาร์ยังมีปริมาณคาร์บอนสูง 55.11% และปริมาณไนโตรเจนต่ำ 1.17% มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 47.1 เมื่อพิจารณาจากภาพรวมของคุณสมบัติทางเคมีของไบโอชาร์ สรุปได้ว่า มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นการปรับปรุงคุณภาพดิน และเพิ่มผลผลิตของพืชได้

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของไบโอชาร์ที่ผลิตจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1/5(น้ำหนักดิน/น้ำหนักน้ำกลั่น))	7.69
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซ็นติโมล/กิโลกรัม)	56.14
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	21,146
ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	820
ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1,120
ปริมาณโซเดียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	310
ปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	440
ปริมาณคาร์บอน (%)	55.11
ปริมาณไนโตรเจน (%)	1.17
ปริมาณซัลเฟอร์ (%)	0.029
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	47.1

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินของพื้นที่ศึกษาพบว่า สมบัติของดินทางกายภาพมีองค์ประกอบของอนุภาคเป็นทราย 88.6 %, ทรายแป้ง 5.8 % และดินเหนียว 6.6 % อ้างอิงจากการจำแนกดินตามระบบของ USDA เป็นเนื้อดินประเภทดินทราย ซึ่งเป็นกลุ่มของดินที่มีปัญหาดินทรายจัดมีการระบายน้ำดี และไม่มีคุณสมบัติในการกักเก็บธาตุอาหารเนื่องจากอนุภาคส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นควอตซ์ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน 1.51 กรัม/ลบ.ซม ความหนาแน่นของอนุภาคดิน 2.58 กรัม/ลบ.ซม ค่าความพรุน 47 % และปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ 4.03 %

ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินพบว่า ดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย โดยมีค่า pH ที่ 6.57 ปริมาณวัตถุอินทรีย์ในดินมีต่ำมาก 0.6% ค่าการนำไฟฟ้าของดินประจุไฟฟ้าในดิน 52.7 มิลลิซีเมนต์/ซม. ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน 3.94 เซนติโมล/กิโลกรัม ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นต่างในดิน 127% ปริมาณโซเดียม 320 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียมสูง 317 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แมกนีเซียม 89 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 32.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.02 %

ตารางที่ 2 สมบัติกายภาพ และเคมีของดินในพื้นที่ศึกษา

สมบัติ	รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์ดิน
กายภาพ	Sand (%)	88.6
	Silt (%)	5.8
	Clay (%)	6.6
	Classification (USDA Diagram)	Sandy
	ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลบ.ซม)	1.51
	ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (กรัม/ลบ.ซม)	2.58
	ความพรุน (%)	47
	ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (v/v)	4.03%
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1/5 (น้ำหนักรีด/น้ำหนักน้ำกลั่น))	6.57
	อินทรีย์วัตถุในดิน (%)	0.6
เคมี	การนำไฟฟ้าของดิน (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	52.7
	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) (เซ็นติโมล/กิโลกรัม)	3.94
	ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นต่างในดิน (BS : %)	127
	ปริมาณโซเดียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	320
	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	89
	ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	317
	ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	31.1
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	32.9
	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.02

3. ผลของไบโอชาร์ต่อสมบัติของดิน

3.1 ผลของไบโอชาร์ต่อความเป็นกรดต่างของดิน

การวิเคราะห์ผลของความเป็นกรดต่างจากการปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ พบว่า ดินก่อนการปรับปรุงมีค่าความเป็นกรดประมาณ 6.4 ซึ่งมีลักษณะเป็นกรดเล็กน้อยตามลักษณะของดินที่ยังไม่ได้รับการไถพรวนและการชลประทาน หลังจากการปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ 45 วัน พบว่า ดินในแปลงทดลองที่ใส่ไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.71 ซึ่งสูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.46 หลังการปรับปรุงดิน 90 วัน แปลงทดลองที่มีการปรับปรุงดินยังคงมีค่าความเป็นกรดเป็นต่าง 6.66 ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดิน 6.43 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์สามารถปรับค่าความเป็นกรดเป็นต่างของดินที่มีความเป็นกรดให้มีความเป็นต่างเพิ่มขึ้น

3.2 ผลของไบโอชาร์ต่อความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

การวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินก่อนการทดลองพบว่า มีค่าเฉลี่ย 4.92 เซนติโมล/กิโลกรัม ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำมาก ก่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการไถพรวนและปรับสภาพหน้าดิน หลังปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ เป็นเวลา 45 วัน ผลการทดลองพบว่า แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีสูงขึ้นเป็น 5.23 เซนติโมล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่มีค่า 4.78 เซนติโมล/กิโลกรัม หลังการปรับปรุงดิน 90 วัน ผลการทดลองยังเหมือนเดิมคือแปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์มีค่า 5.23 เซนติโมล/กิโลกรัม สูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดินที่มีค่า 4.48 เซนติโมล/กิโลกรัม การเพิ่มขึ้นของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกนั้นเป็นผลโดยตรงจากไบโอชาร์ดังจะเห็นได้จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของไบโอชาร์ที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมากถึง 56.14 เซนติโมล/กิโลกรัม

3.3 ผลของไบโอชาร์ต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองพบว่า มีค่าเฉลี่ย 22.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีความต่ำมาก ก่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการไถพรวน ให้ปุ๋ย และชลประทาน หลังปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ เป็นเวลา 45 วัน ผลการทดลองพบว่า แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีสูงขึ้นเป็น 55.31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่มีค่า 40.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างชัดเจน หลังการปรับปรุงดิน 90 วัน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินยังมีแนวโน้มของความแตกต่างระหว่างแปลงที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงเหมือนเดิม แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์มีค่า 52.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดินที่มีค่า 41.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินของแปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่สูงกว่าแปลงควบคุม เป็นผลโดยตรงจากฟอสฟอรัสที่อยู่ในไบโอชาร์เอง ดังจะเห็นได้จากผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอชาร์ทางเคมีพบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 440 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นโดยตรง นอกจากนั้นคุณสมบัติความพรุน และโครงสร้างที่ประกอบด้วยช่องว่างขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูงทำให้ไบโอชาร์ช่วยส่งเสริมความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารในดินได้ดีขึ้น สามารถยืดเหนี่ยวปุ๋ยที่ใส่ในดินได้ดียิ่งขึ้น

3.4 ผลของไบโอชาร์ต่อโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

การวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินของแปลงทดลองก่อนปรับปรุงพบว่า มีค่าเฉลี่ย 31 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ หลังการปรับปรุงดิน ไถพรวนและให้ปุ๋ยพบว่า มีค่าโพแทสเซียมมีปริมาณที่สูงขึ้น แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ เป็นเวลา 45 วัน มีค่าโพแทสเซียมเฉลี่ย 56.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่มีค่า 41.46 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หลังการปรับปรุงดิน 90 วัน โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินยังมีแนวโน้มของความแตกต่างระหว่างแปลงที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงเหมือนเดิม แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์มีค่า 54.92 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดินที่มีค่า 38.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

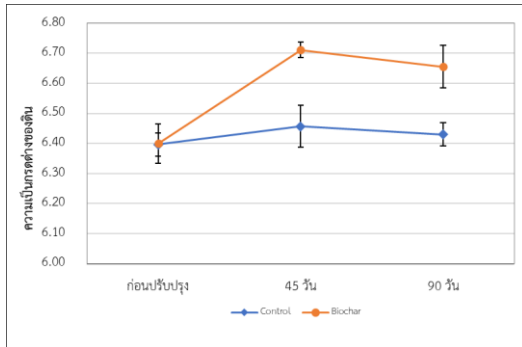
ปริมาณโพแทสเซียมในดินของแปลงทดลองที่ปรับปรุงดินเป็นผลโดยตรงจากปริมาณโพแทสเซียมในตัวไบโอชาร์ จากข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไบโอชาร์พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงถึง 21,146 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การใส่ไบโอชาร์เพื่อปรับปรุงดินจึงเป็นการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโดยตรง นอกจากนั้นคุณสมบัติความพรุน และโครงสร้างที่ประกอบด้วยช่องว่างขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูงทำให้ไบโอชาร์ช่วยส่งเสริมความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารในดินได้ดีขึ้น สามารถยืดเหนี่ยวปุ๋ยได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของไบโอชาร์ที่สูงถึง 56.14 เซนติโมล/กิโลกรัม ยังมีส่วนในการช่วยยืดเหนี่ยวและช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมในดิน

3.5 ผลของไบโอชาร์ต่อแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

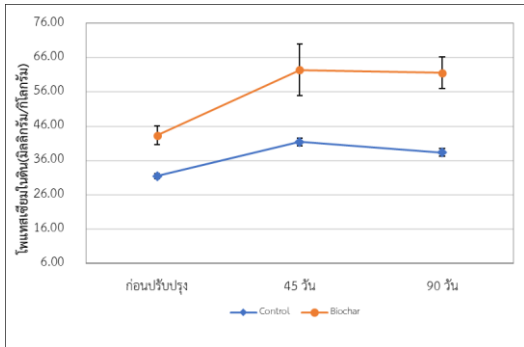
การวิเคราะห์แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองพบว่า มีค่าเฉลี่ย 257.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีความปานกลาง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังการไถพรวน และชลประทาน หลังปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ เป็นเวลา 45 วัน ผลการทดลองพบว่า แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีสูงขึ้นเป็น 353.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่มีค่า 315.96 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างชัดเจน หลังการปรับปรุงดิน 90 วัน แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินยังมีแนวโน้มของความแตกต่างระหว่างแปลงที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงเหมือนเดิม แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์มีค่า 446.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดินที่มีค่า 330.67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้พบว่าในการชลประทานเป็นน้ำใต้ดินที่อาจมีปริมาณแคลเซียมเจือปนอยู่ เมื่อประกอบกับโครงสร้างความพรุนและพื้นที่ผิวของไบโอชาร์ที่สามารถจับยึดธาตุต่าง ๆ ได้ น้ำใต้ดินที่ใช้ในการชลประทานจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียม

3.6 ผลของไบโอชาร์ต่อแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

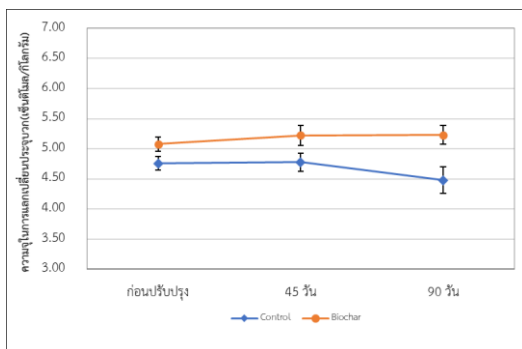
การวิเคราะห์แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองพบว่า มีค่าเฉลี่ย 5.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีความปานกลาง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังการไถพรวน และชลประทาน หลังปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ เป็นเวลา 45 วัน ผลการทดลองพบว่า แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีสูงขึ้นเป็น 10.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ที่มีค่า 6.39 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างชัดเจน หลังการปรับปรุงดิน 90 วัน แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินยังมีแนวโน้มของความแตกต่างระหว่างแปลงที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงเหมือนเดิม แปลงทดลองที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์มีค่า 10.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุงดินที่มีค่า 6.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม



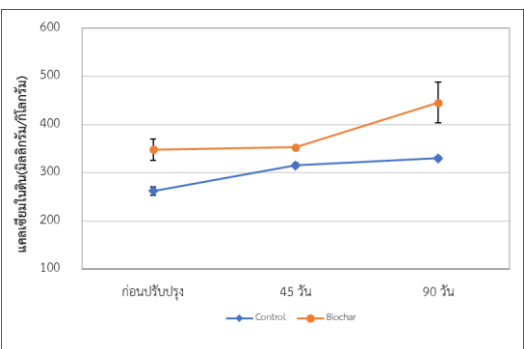
ภาพที่ 3 ความเป็นกรดต่างหลังการปรับปรุงดิน



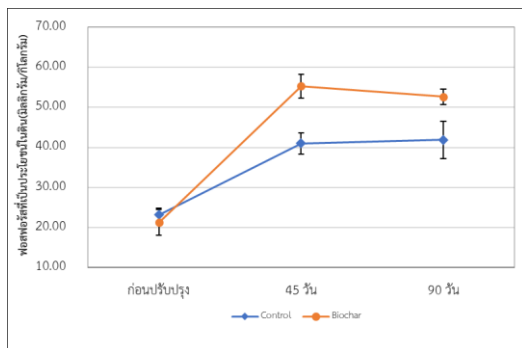
ภาพที่ 6 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์หลังการปรับปรุงดิน



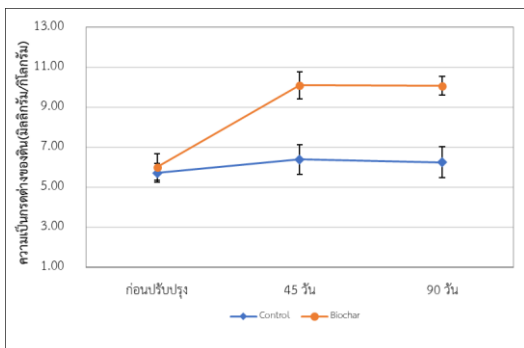
ภาพที่ 4 ความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวกหลังการปรับปรุงดิน



ภาพที่ 7 แคลเซียมที่เป็นประโยชน์หลังการปรับปรุงดิน



ภาพที่ 5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลังการปรับปรุงดิน

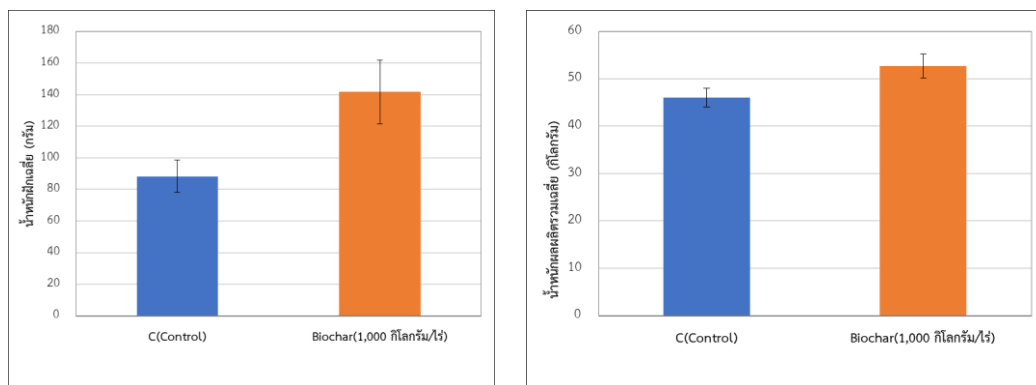


ภาพที่ 8 แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์หลังการปรับปรุงดิน

4. ผลของไบโอชาร์ต่อผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ผู้วิจัยได้นำฝักข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละแปลงมาชั่งน้ำหนักทุกฝัก เพื่อศึกษาผลของไบโอชาร์ต่อผลผลิต ผลของการเก็บข้อมูลพบว่า ข้าวโพดจากแปลง B1 สามารถเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยของฝักข้าวโพดสูงที่สุด คือขนาดเฉลี่ย 160.7 กรัม และขนาดของฝักข้าวโพดที่ต่ำที่สุดคือข้าวโพดจากแปลงทดลอง C2 คือขนาดเฉลี่ย 80.17 กรัม ผลการตรวจวัดน้ำหนักผลผลิตรวม พบว่า ข้าวโพดจากแปลงทดลอง B1 ให้น้ำหนักผลผลิตรวมสูงที่สุด คือ 56.1 กิโลกรัม และแปลงทดลองที่ให้ผลผลิตต่ำสุดคือ C2 ให้ผลผลิต 30.47

กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยระหว่างสองกลุ่มทดลองพบว่า แปลงทดลองที่ได้ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์จำนวน 3 แปลง มีค่าเฉลี่ย 52.6 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ได้ปรับปรุง หรือแปลงควบคุมคือ 46 กิโลกรัม นอกจากนั้นผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มทดลองด้วย t-test พบว่า ทั้งสองกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับการใช้ไบโอชาร์เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เช่น(กัญจน์รี ช่วงฉ่ำ, 2555) ได้ทดลองใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินทรายจัดในจังหวัดลพบุรีและทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยอัตราส่วน 8 ตัน/เฮกตาร์ และพบว่า ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน หรือการทดลองของ(รัตถชล, 2561) ได้ทดลองกับแปลงทดลองดินทรายจัดในจังหวัดลพบุรีโดยใช้ไบโอชาร์ผสมกับหินเพอร์ไลต์ในอัตราส่วนอย่างละ 8 ตัน/เฮกตาร์ ทดลองกับมันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และพบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่า 30% การทดลองครั้งนี้ และหลายงานวิจัยจึงสามารถยืนยันได้ว่าไบโอชาร์สามารถใช้ปรับปรุงดินทรายจัดได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 9 น้ำหนักเฉลี่ยฝักข้าวโพดที่ผลิตได้ในแต่ละแปลง(ซ้าย)
น้ำหนักผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละแปลงทดลอง(ขวา)

สรุป

ผลการศึกษาสมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพด พบว่า มีสมบัติที่เหมาะสมในการปรับปรุงดิน โดยเฉพาะดินทรายจัดดังจะเห็นได้จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมี พบว่า ไบโอชาร์เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิว และรูพรุนสูงมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินจากความสามารถในการเพิ่มน้ำในดิน สมบัติทางเคมีของไบโอชาร์ยังมีศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเนื่องจากมีความเป็นด่างเล็กน้อย เหมาะสมกับดินในธรรมชาติที่มักเป็นกรดเล็กน้อย และไบโอชาร์ยังมีการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมากซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารของพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม นอกจากนั้นยังมีปริมาณคาร์บอนสูง สามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในดินได้โดยตรง

ผลการศึกษาการใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงสมบัติของดิน พบว่า จากสมบัติของดินดั้งเดิมที่เป็นดินประเภทดินทรายจัด มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำเนื่องจากอนุภาคส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นควอตซ์ เป็นกรดเล็กน้อย อินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ผลการใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงสมบัติของดินด้วยการผสมในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ และเปรียบเทียบกับแปลงควบคุมหรือแปลงที่ไม่มีการปรับปรุงดิน

พบว่า ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน สูงกว่าดินแปลงควบคุม

ผลการทดลองใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า ไบโอชาร์สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของแปลงทดลองจำนวน 3 แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ในอัตราส่วน 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยที่ 52.6 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยจากแปลงทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยทั้ง 3 แปลงปริมาณ 46 กิโลกรัม จากผลการทดลองครั้งนี้จึงสามารถทำให้สรุปได้ว่า ไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้เหมาะสมทำให้ผลผลิต

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพของไบโอชาร์ที่ผลิตจากวัสดุชีวมวลประเภทอื่น และควรมีการศึกษาให้ครอบคลุมถึงดินชนิดอื่น ๆ ที่มีปัญหาทางการเกษตรคล้ายคลึงกัน เช่น ดินที่มีชั้นดินตื้น หรือดินที่มีเนื้อหยาบ ตลอดจนควรมีการศึกษาการใช้ไบโอชาร์ปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตจากพืชชนิดอื่น ๆ และศึกษาการใช้ไบโอชาร์ในการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชในอัตราส่วนต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทดลอง ตลอดจนองค์การบริหารส่วนตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ (สสส.) ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยในปี 2561 ภายใต้งบโครงการวิจัยและพัฒนาสร้างพลังร่วมในการพัฒนาเป็นเมืองน่าอยู่ ในหัวข้อวิจัยเรื่องแนวทางปรับปรุงดินเพื่อแก้ปัญหาผลผลิตการเกษตรตกต่ำบริเวณตำบลทับพริก อำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ผู้วิจัยขอขอบพระคุณยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- กัญจน์รี ช่วงฉ่ำ. (2555). กลไกทางกายภาพ และ เคมี ของสารปรับปรุงบำรุงดินถ่านชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดที่มีผลต่อผลผลิตและการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในไร่ข้าวโพด. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2561). การจัดการพื้นที่ดินทราย. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2540). การจัดการดินและพืชเพื่อปรับปรุงดินอินทรีย์วัตถุต่ำ. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- รัตชล อ่างมณี. (2561). การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ดินทรายจัดด้วยเพอร์ไลต์ที่ปรับสภาพด้วยความร้อนและไบโอชาร์. ปทุมธานี. มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. (2533). ดินของประเทศไทย ลักษณะ การกระจาย และการใช้. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (2553). เอกสารวิชาการ เรื่อง ความเสื่อมโทรมของที่ดิน และการจัดการแก้ไข. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- บุรี บุญสมภพพันธ์. (2531). ดินทราย. **วารสารพัฒนาที่ดิน**, 25, 19-23.
- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., & Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, 202, 183-191.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., & Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties. **leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research**, 111(1-2), 81-84.
- Borchard, N., Wolf, A., Laabs, V., Aeckersberg, R., Scherer, H. W., Moeller, A., & Amelung, W. (2012). Physical activation of biochar and its meaning for soil fertility and nutrient leaching - a greenhouse experiment. **Soil Use and Management**, 28(2), 177-184.
- Cao, X., & Harris, W. (2010). Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. **Bioresource Technology**, 101(14), 5222-5228.
- Eykelbosh, A. J., Johnson, M. S., de Queiroz, E. S., Dalmagro, H. J., & Couto, E. G. (2014). Biochar from Sugarcane Filtercake Reduces Soil CO₂ Emissions Relative to Raw Residue and Improves Water Retention and Nutrient Availability in a Highly-Weathered Tropical Soil. **PLoS ONE**, 9(6).
- Fang, Y., Singh, B., Singh, B. P., & Krull, E. (2014). Biochar carbon stability in four contrasting soils. **European Journal of Soil Science**, 65(1), 60-71.
- Farrell, M., Macdonald, L. M., Butler, G., Chirino-Valle, I., & Condon, L. M. (2014). Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. **Biology and Fertility of Soils**, 50(1), 169-178.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., & Zech, W. (2001). The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, 88(1), 37-41.
- Kumar Mishra, R., Jaya Prasanna Kumar, D., Narula, A., Minnat Chistie, S., & Ullhas Naik, S. (2023). Production and beneficial impact of biochar for environmental application: A review on types of feedstocks, chemical compositions, operating parameters, techno-economic study, and life cycle assessment. **Fuel**, 343, 127968.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 11(2), 395-419.
- Spokas, K. A., Novak, J. M., & Venterea, R. T. (2012). Biochar's role as an alternative N-fertilizer: ammonia capture. **Plant and Soil**, 350(1-2), 35-42.
- Zhao, X.-r., Li, D., Kong, J., & Lin, Q.-m. (2014). Does Biochar Addition Influence the Change Points of Soil Phosphorus Leaching?. **Journal of Integrative Agriculture**, 13(3), 499-506.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

อารี น้อยสำราญ^{1*} ศจีมาศ นันตสุคนธ์²

Received : January 24, 2023

Revised : January 19, 2024

Accepted : February 8, 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อพัฒนาสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ โดยศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางจุลชีววิทยาและคุณค่าทางโภชนาการของขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ งานวิจัยนี้ได้นำซีฟ่อนเค้กสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ โดยการศึกษาปริมาณกล้วยหอมที่ใช้ทดแทนน้ำตาลโดนด จากผลการทดลองพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสต่อขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่ใช้ปริมาณกล้วยหอมทดแทนน้ำตาลโดนดที่ร้อยละ 50 และ 75 โดยน้ำหนักและได้รับคะแนนความชอบมากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คุณค่าทางคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ พลังงานทั้งหมด 484.03 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมันทั้งหมด 197.91 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 21.99 กรัม ไขมันอิ่มตัว 8.32 กรัม โคเลสเตอรอล 373.63 มิลลิกรัม โปรตีน 15.78 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 55.75 กรัมใยอาหาร 3.44 กรัม น้ำตาล 27.32 กรัม โซเดียม 272.36 มิลลิกรัม วิตามินเอ 149.90 ไมโครกรัม วิตามินบี1 0.145 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.386 มิลลิกรัม แคลเซียม 83.87 มิลลิกรัม เหล็ก 2.82 มิลลิกรัม เถ้า 1.82 กรัม และความชื้น 4.66 กรัม จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพของตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกพบว่า มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 33.73 นิวตัน, 62.9, 17.00 และ 30.43 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่า มีจำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราต่ำกว่า 10 CFU/g ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์ เค้ก (มผช.459/2555)

คำสำคัญ: กล้วยหอม การยอมรับของผู้บริโภค ขนมเค้ก ขนมหม้อแกง

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีและศิลปการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อีเมล: aree.noi@mail.pbru.ac.th

² อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีและศิลปการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อีเมล: sajeemasnok@hotmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: aree.noi@mail.pbru.ac.th

PRODUCT DEVELOPMENT OF THAI CRISPY CAVENDISH BANANA CUSTARD CAKES

Aree noysumran^{1*} Sajee Nuntasukhon²**Abstract**

The purpose of this research was to develop a basic formula for Thai crispy cavendish banana custard cakes by studying consumer acceptance, physical quality, microorganisms, and nutritional value. This research used chiffon cakes, which are the most widely accepted by consumers, to develop Thai crispy cavendish banana custard cakes by investigating the substitution of bananas for palm sugar. The results revealed that consumers preferred the sensory attributes of Thai crispy cavendish banana custard cakes with cavendish banana replacing palm sugar at 50% and 75% by weight, with these preferences significantly higher than other formulas ($P \leq 0.05$). The nutritional composition of Thai crispy cavendish banana custard cakes included total energy of 484.03 kilocalories, total energy from fat of 197.91 kilocalories, total fat of 21.99 grams, saturated fat of 8.32 grams, cholesterol of 373.63 milligrams, protein of 15.78 grams, total carbohydrates of 55.75 grams, dietary fiber of 3.44 grams, sugar of 27.32 grams, sodium of 272.36 milligrams, vitamin A of 149.90 micrograms, vitamin B1 of 0.145 milligrams, vitamin B2 of 0.386 milligrams, calcium of 83.87 milligrams, iron of 2.82 milligrams, ash of 1.82 grams, and moisture of 4.66 grams. Physical quality analysis of selected samples indicated firmness, brightness (L^*), yellowness (b^*), and redness (a^*) values of 33.73 Newtons, 62.9, 17.00, and 30.43, respectively. Microorganism analysis demonstrated that the total microorganism count, as well as yeast and mold counts, were lower than 10 CFU/g, meeting the community product standard criteria for cake products (CMU.459/2012)."

Keywords: Cavendish banana, Consumer acceptance, Cake, Custard cake

¹ Assistant Professor, Culinary Arts and Technology Program Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: aree.noi@mail.pbru.ac.th

² Lecturer, Culinary Arts and Technology Program Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: sajeemasnok@hotmail.com

* Corresponding author, e-mail: aree.noi@mail.pbru.ac.th

บทนำ

จังหวัดเพชรบุรีได้รับเลือกจาก UNESCO ประกาศให้เป็นหนึ่งในเครือข่ายเมืองสร้างสรรค์โลก (UNESCO Creative Cities Network) ประจำปี พ.ศ. 2564 ในสาขาเมืองสร้างสรรค์ด้านวิทยาการอาหาร ซึ่งนับเป็นเมืองที่สองของไทยต่อจากภูเก็ตที่ได้รับการแต่งตั้งเป็นเมืองสร้างสรรค์ในสาขาดังกล่าวมาหลายปีก่อนหน้านี้ ด้วยความโดดเด่นในฐานะ เมืองสามรส ซึ่งได้แก่ รสเค็มจากเกลือ รสเปรี้ยวจากมะนาว และรสหวานจากน้ำตาลโตนด เมื่อมีวัตถุดิบชั้นเยี่ยมและมีอาหารปรุงอาหาร ที่ถ่ายทอดผ่านรุ่นสู่รุ่น รวมถึงการได้รับอิทธิพลจากวัฒนธรรมอาหารของราชสำนัก และกลุ่มชาติพันธุ์ จึงทำให้อาหารท้องถิ่นเมืองเพชรมีความเป็นเอกลักษณ์และความน่าสนใจ (ไทยรัฐออนไลน์, 2564)

ขนมหม้อแกงเป็นขนมหวานที่ขึ้นชื่อและมีความเป็นเอกลักษณ์ของเมืองเพชรบุรีที่มีความหอม และหวาน มัน จากน้ำตาลโตนด กะทิ และไข่ มีให้เลือกตามความชอบ เช่น หม้อแกงไข่ ซึ่งมีไข่ กระทิ และน้ำตาลโตนดเป็นส่วนผสมหลัก หม้อแกงถั่วมีรสชาติดหวานมัน หม้อแกงเผือกซึ่งมีรสมันของเผือก และหม้อแกง เม็ดบัว จากการสำรวจข้อมูลผู้ประกอบการที่ผลิตขนมหม้อแกงจำหน่ายในจังหวัดเพชรบุรี พบว่า ปัญหาของขนมหม้อแกงคืออายุการเก็บรักษาที่สั้น สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิปกติได้ไม่เกิน 3 วัน จึงทำให้เกิดปัญหา ในการจำหน่ายสินค้า เรื่องของความหวาน และปริมาณของขนมที่มากเกินไป จนไม่สามารถรับประทาน ได้หมด จึงทำให้ผู้ผลิตหันมาปรับเปลี่ยนรูปแบบของผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยรวมกับพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนไปทำให้ผู้ประกอบการขนมหวานมีการพัฒนาขนมหม้อแกงสูตรต่าง ๆ ที่แตกต่างไปจาก ต้นตำรับเดิมหลายอย่าง จนอาจกล่าวได้ว่าเป็นสูตรใหม่ที่คิดค้นโดยชาวเพชรบุรีโดยเฉพาะ เช่นการเพิ่มผลไม้ต่าง ๆ เช่น กล้วยหอม เมล่อน ฟักทอง ตัดการโรยหอมเจียวออกไปและใช้ไข่ทั้งฟองแทนการใช้เฉพาะไข่ขาวตามตำรับดั้งเดิม รวมถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ทันสมัยและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เช่น หม้อแกงกระปุก ที่มีหลากหลายรสชาติ และขนาดพอดี กับขนาดหนึ่งคนรับประทาน ที่รีเริ่มผลิตและจำหน่ายที่ร้านลุงเอนกขนมหวานเมืองเพชร ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภค และนักท่องเที่ยวให้ความสนใจในการเลือกซื้อสินค้าเป็นอย่างมาก

กล้วยหอมทอง เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งออกโดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นที่มีความต้องการสูง การผลิตกล้วยหอมเชิงเศรษฐกิจในจังหวัดเพชรบุรี เริ่มมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2542 ดำเนินการโดยสหกรณ์การเกษตรบ้านลาด จำกัด ซึ่งส่งเสริมการปลูกกล้วยหอมทองร่วมกับสหกรณ์กับชุมชนสหกรณ์ผู้บริโภคชูโตเคน ปัจจุบันมีการส่งกล้วยหอมทองให้ประเทศญี่ปุ่น มากถึง 20 ตันต่อสัปดาห์ มีมูลค่าการค้า 5.15 ล้านบาท (ศิริชัย จันทนาค, 2555) อีกทั้งกล้วยหอม จัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารครบถ้วนได้แก่ วิตามินใยอาหารที่ช่วยในการขับถ่าย มีสารแทนนิน ซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Escherichia coli* เป็นต้น กล้วยหอมมีน้ำตาลอยู่ถึง 3 ชนิด ได้แก่ ซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส รวมทั้งเส้นใยอาหารด้วย ดังนั้นร่างกายเรา

จะได้รับพลังงานและสามารถนำไปใช้ได้ทันทีผลจากการวิจัย พบว่ากล้วยหอมเพียง 2 ลูก ก็สามารถให้พลังงานกับเราได้มากถึง 90 นาที ด้วยเหตุนี้นักกีฬา โดยเฉพาะนักเทนนิสจึงนิยมนำไปรับประทานระหว่างการแข่งขันเพื่อเพิ่มพลังงานให้กับร่างกาย และยังสามารถเปลี่ยนแปลงระดับกลูโคสในเลือด (เบญจมาศ ศิลาชัย, 2555)

จากการจำหน่ายกล้วยหอมมักจะมีกล้วยที่มีขนาดไม่ได้มาตรฐาน หรือที่เรียกว่า ตีนเต่า ซึ่งไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้ ผู้วิจัยจึงร่วมกับบริษัท เพชรบุรี ไทยดีเสิร์ท จำกัด พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบในรูปแบบใหม่ ที่รับประทานง่าย และมีอายุการเก็บรักษานาน อีกทั้งยังเป็นการนำเอาวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นเอกลักษณ์ และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นของขวัญและของฝากต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ คุณภาพทางกายภาพ จุลชีววิทยา และคุณค่าทางโภชนาการของขนมหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของเด็ก

ในงานวิจัยนี้ได้นำสูตรพื้นฐานของเด็ก 3 ชนิด ได้แก่ บัตเตอร์เค้ก สปันจ์เค้ก และ ชิฟฟอนเค้ก ทำการเลือกกล้วยหอมที่มีความสุกระดับ 6-8 มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดตั้งแต่ 23-25 องศาบริกซ์ นำสูตรขนมเค้กหม้อแกงที่ได้จากการศึกษา มาทำการศึกษาอัตราส่วนของปริมาณกล้วยหอมต่อน้ำตาลโตนดที่ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25 , 50, 75, และ 100 โดยน้ำหนัก นำขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมใส่ในพิมพ์รูปทรงกล้วยหอมชนิดเพฟลอน ปริมาณ 40 กรัม ทำการอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อขนมสุกนำขนมออกจากพิมพ์พักให้เย็น แล้วนำเข้าเตาอบอีกครั้งเพื่ออบให้กรอบ โดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ต่อไป



ภาพที่ 1 ระยะการสุกของกล้วยหอม

ที่มา : เบญจมาศ ศิลาชัย (2555)

ตารางที่ 1 สูตรเค้กทั้ง 3 ชนิด

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมในสูตร (กรัม)		
	บัตเตอร์เค้ก (ณปภา หอมหวล, 2555)	สปันซ์เค้ก (ประภาทิพย์ ยอดกลม, 2559)	ชีฟฟอนเค้ก (ดวงใจ สัมพันธ์, 2556)
แป้งเค้ก	400	120	200
ผงฟู	5	1	2
ไข่ไก่ (เบอร์ 3)	350	150	120 (เฉพาะไข่แดง)
เกลือป่น	-	1	2
น้ำตาลทราย (1)	150	110	75
เอสพี	24	10	-
นมสดรสจืด	160	50	-
กลิ่นวานิลลา	5	1	2
เนยละลาย	-	40	-
น้ำมันรำข้าว	-	-	115
น้ำเปล่า	-	-	150
ไข่ขาว	-	-	180
ครีมออฟฟัททาร์	-	-	1
น้ำตาลทราย (2)	-	-	150
เนยสดชนิดเค็ม	300	-	-
น้ำตาลไอซิ่ง	150	-	-

2. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

ทำการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab รุ่น Ultra Scan VIS ประเทศสหรัฐอเมริกา) วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ ด้วยเครื่อง Texture analyzer (ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT Express ประเทศอังกฤษ) วิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ด้วยหัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (P/5) ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะกดตัวอย่างร้อยละ 75 ของความสูงตัวอย่าง ตามวิธีการของ Murdia and Ranjeeta

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ ในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมโดยใช้แบบทดสอบการให้คะแนนความชอบ 5 ระดับ (5 point hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่เป็นนักท่องเที่ยวที่มาซื้อผลิตภัณฑ์ที่ร้านจำหน่ายของฝากในจังหวัดเพชรบุรี จำนวน 100 คน ที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan new Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบสูตรที่เหมาะสม

ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่ผู้บริโภครับ การยอมรับ โดยมีการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารทั้งหมด 17 รายการ

5. คุณภาพด้านจุลชีววิทยา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “เค้ก” มพช.459/2555

นำผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบสูตรที่ได้รับการยอมรับจาก ข้อ 4 บรรจุลงในถุงพลาสติกปิดสนิทชนิด Polyethylene terephthalate (PET) และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 เดือน เก็บตัวอย่างทุกๆ 1 เดือน วิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ตามวิธีของ BAM Chapter 4 (Peter et al., 2020)

6. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS โดยหาความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของเค้ก

ตารางที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของเค้กที่มีการเติมส่วนผสมของขนมหม้อแกง

ชื่อเค้ก	ลักษณะของเค้ก	ลักษณะปรากฏ	ลักษณะของเค้กที่เติมขนมหม้อแกง	ลักษณะปรากฏ
1. บัตเตอร์เค้ก	เนื้อเค้กละเอียด แน่น มีความนุ่ม มัน และมีน้ำหนักรวมมาก		เค้กยุบตัว เนื้อแน่น ไม่ฟู และเป็นไตแข็ง	
2. สปันจ์เค้ก	เนื้อเค้กละเอียด นุ่ม และเนื้อเนียน		เนื้อเค้กฟู เนื้อแน่น และส่วนผสมของหม้อแกงผสมเข้ากับเนื้อเค้ก ได้ดี	
3. ชิฟฟอนเค้ก	เนื้อเค้กจะมีลักษณะเบา นุ่ม หนา และมีการสปริงตัวดี		เนื้อเค้กฟู เบา เนื้อเนียน ส่วนผสมของหม้อแกงและเค้กเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน	

จากตารางที่ 2 ซึ่งเปรียบเทียบลักษณะปรากฏ ของเค้กสูตรพื้นฐาน 3 ชนิด ได้แก่ สปันซ์เค้ก บัตเตอร์เค้กและชิฟฟอนเค้ก พบว่า สูตรของเค้กที่เหมาะสมกับการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบคือ ชิฟฟอนเค้ก เพราะมีลักษณะโครงสร้างที่ฟูและเบา เมื่อนำมาผสมกับส่วนผสมของหม้อแกง ลักษณะของเค้กไม่ยุบตัว มีความฟู ส่วนผสมของหม้อแกงและเค้กเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกชิฟฟอนเค้กในการนำมาใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบต่อไป

2. การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของชิฟฟอนเค้กที่เหมาะสม

การศึกษาปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อหาสูตรพื้นฐานของชิฟฟอนเค้กที่เหมาะสมในการพัฒนาขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของเค้กชิฟฟอนสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมในสูตร (กรัม)		
	สูตรที่ 1 (จิราพร ทัดพิณิจ, 2557)	สูตรที่ 2 (วิลาสินี เลาหนันท์, 2550)	สูตรที่ 3 (ณปภา หอมทวล, 2555)
ส่วนผสมที่ 1			
แป้งเค้ก	275	140	150
ไข่แดง	120	100	100
น้ำมันรำข้าว	-	50	-
น้ำมันพืช	60		60
กะทิ	-	100	100
น้ำเปล่า	50	-	65
ผงฟู	2	3	3
เกลือ	1	1	1
ส่วนผสมที่ 2			
ไข่ขาว	200	217	220
น้ำตาลทรายป่น	70	75	75
ครีมออฟฟัททาร์	2	2	2

ตารางที่ 4 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของชิฟฟอนเค้กสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
สี	3.68±0.85 ^b	3.89±0.75 ^a	3.79±0.75 ^b
กลิ่น	3.48 ±0.79 ^c	3.76±0.90 ^a	3.71±0.78 ^{ab}
รสชาติ	3.79±0.82 ^c	3.98±0.81 ^a	3.93±0.82 ^b
เนื้อสัมผัส	3.66±0.82 ^c	3.81±0.86 ^a	3.71±0.86 ^a
ความชอบโดยรวม	3.80±0.65 ^c	4.06±0.79 ^a	3.94±0.75 ^{ab}

หมายเหตุ ^{abc} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่า สูตรพื้นฐานของชิฟฟอนเค้กที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ สูตร 2 เนื่องจากมีการใช้กะทิและน้ำมันรำข้าวเป็นส่วนผสม จึงทำให้เค้กชิฟฟอน มีความนุ่ม และฟูเบามากกว่าสูตรอื่น และมีคะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 2 มาพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ กล่าวคือเค้กชิฟฟอนคือการรวมเอาลักษณะของเค้กทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันจึงมีผลทำให้เนื้อเค้กมีโครงสร้างที่ละเอียดเหมือนเค้กไข่และมีความมันเงาคล้ายเค้กเนย เค้กชิฟฟอนนิยมใช้น้ำมันพืชแทนเนยหรือ มาการีน ซึ่งคุณภาพของเค้กที่ดีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่นส่วนผสมหรือวัตถุดิบ สัดส่วนตามมาตรฐาน หรือความสมดุลของตำรับ รวมทั้งการใช้อุณหภูมิในการอบขนมแต่ละชนิด (อุตสาหกิจเจริญวัฒนา, 2537)

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบแสดงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่มีปริมาณกล้วยหอมต่อน้ำตาลโตนดแตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 5



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่มีปริมาณกล้วยหอมต่อน้ำตาลโตนดแตกต่างกัน

ตารางที่ 5 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงอบกรอบที่มีปริมาณกล้วยหอมต่อน้ำตาลโตนดแตกต่างกัน

ส่วนผสม	อัตราส่วนระหว่างกล้วยหอมและน้ำตาลโตนด (กรัม)				
	0 ต่อ 100	25 ต่อ 75	50 ต่อ 50	75 ต่อ 25	100 ต่อ 0
ส่วนผสมที่ 1					
แป้งเค้ก	140	140	140	140	140
ไข่แดง	100	100	100	100	100
น้ำมันรำข้าว	50	50	50	50	50
กะทิ	100	100	100	100	100
ผงฟู	3	3	3	3	3
เกลือ	1	1	1	1	1
ส่วนผสมที่ 2					
ไข่ขาว	217	217	217	217	217
น้ำตาลทรายป่น	75	75	75	75	75
ครีมออฟฟัททาร์	2	2	2	2	2
ส่วนผสมที่ 3 (หม้อแกง)					
ไข่เป็ด	115	115	115	115	115
กะทิ	35	35	35	35	35
กล้วยหอม	0	18	35	52	70
น้ำตาลโตนด	70	52	35	18	0

ตารางที่ 6 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่มีปริมาณกล้วยหอมต่อน้ำตาลโตนดแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	อัตราส่วนระหว่างกล้วยหอมและน้ำตาลโตนด (กรัม)				
	0 ต่อ 100	25 ต่อ 75	50 ต่อ 50	75 ต่อ 25	100 ต่อ 0
ลักษณะที่ปรากฏ	3.70±0.95 ^{ab}	3.62±0.94 ^{ab}	3.76±0.98 ^{ab}	3.88±0.86 ^a	3.58±1.03 ^b
สี	3.71±1.20 ^b	3.86±0.89 ^b	3.96±0.94 ^{ab}	4.20±0.88 ^a	3.82±0.91 ^b
กลิ่น	3.53±1.13 ^b	3.94±1.03 ^b	3.78±1.02 ^{ab}	3.90±0.93 ^a	3.56±1.76 ^b
รสชาติ	3.53±1.13 ^b	3.53±0.93 ^b	3.65±0.96 ^{ab}	3.85±0.94 ^a	3.42±1.12 ^b
เนื้อสัมผัส	3.42±1.17 ^b	3.53±1.01 ^b	3.61±1.17 ^{ab}	3.89±1.01 ^a	3.42±0.99 ^b
ความชอบโดยรวม	3.76±1.06 ^b	3.63±0.92 ^b	3.88±1.04 ^{ab}	4.11±0.91 ^a	3.59±1.05 ^b

หมายเหตุ ^{ab} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

^{ns}: Non significant แสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

จากตารางที่ 6 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่ใช้ปริมาณกล้วยหอมทดแทนน้ำตาลโตนดที่ร้อยละ 50 และ 75 สูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของกล้วยหอมที่มากขึ้นสีของขนมจะมีความเข้มลดลง กลิ่นของกล้วยหอมจะชัดเจนมากขึ้น และในด้านรสชาติจะได้รับความหวานของกล้วยหอมที่มีความสุกระดับ 7-8 ซึ่งมีความหวาน 23-25 องศาบริกซ์ และเนื้อสัมผัสของขนมเค้กที่ขึ้นฟู นุ่ม และเบา และเมื่อทำการพิจารณา ร่วมกับต้นทุนในการผลิต พบว่า ยิ่งมีการเติมกล้วยหอมในการทดแทนน้ำตาลโตนดเพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง เนื่องจากกล้วยหอมมีราคาถูกกว่าน้ำตาลโตนด ดังนั้นจึงคัดเลือกขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่ใช้ปริมาณกล้วยหอมทดแทนน้ำตาลโตนด ที่ร้อยละ 75 ในการวิเคราะห์คุณภาพและการเก็บรักษาต่อไป งานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของเขมซาดา วงศ์ผาติกร (2559) ซึ่งได้ทำการพัฒนาเค้กหม้อแกงกล้วยหอม พบว่า อัตราส่วนของกล้วยหอม ต่อน้ำตาลโตนด 80 ต่อ 20 ได้รับคะแนนเฉลี่ยความชอบสูงสุด และสอดคล้องกับการศึกษาของกนกนาคต์ วีระกุล (2555) ซึ่งได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กกล้วยหอมด้วยเนยสวนดุสิต โดยทำการศึกษา ระดับความสุกของกล้วยหอม (ระดับ 6 และ 8) ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ 80, 100 และ 120 โดยน้ำหนักของแป้ง) ชนิดของเนยสวนดุสิต 3 ชนิด ซึ่งแต่ละสูตรจะมีความแตกต่างกันระหว่างอัตราส่วนของน้ำมันเนยและน้ำมันปาล์ม เพื่อศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กกล้วยหอม ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสีและเนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ระดับความสุกของกล้วยที่ระดับ 8 ปริมาณน้ำตาล ร้อยละ 80 และเนยสูตรน้ำมันเนยทั้งหมด เป็นสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด และนอกจากนั้น จันท์ทิมา นพวิจิตร (2558) ได้ทำการศึกษากลยุทธ์ทางการตลาดกับพฤติกรรมผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมหวานพื้นเมืองเพชรบุรี แนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนากลยุทธ์การตลาดของธุรกิจขนมหวานพื้นเมืองจังหวัดเพชรบุรี คือการพัฒนาขนมหม้อแกงโดยการผสมกับสมุนไพร การทำเค้กขนมหม้อแกง และการปรับปรุงราคาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และปริมาณ การตกแต่งร้าน ให้ทันสมัยดึงดูดความสนใจ การจัดการส่งเสริมการตลาด เช่น ลดราคา การแถมผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้ลองชิม บรรจุภัณฑ์สวยงาม และมีความเป็นเอกลักษณ์ของเมืองเพชร รวมทั้งกล้วยหอมสุกจะมีรสหวาน และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นอาหารที่ย่อยง่าย กล้วยเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงพอ ๆ กับมันฝรั่ง มีไขมัน คอเลสเตอรอล และเกลือแร่ต่ำ แต่มีพลังงานสูงจึงเหมาะที่จะเป็นอาหารที่แนะนำสำหรับคนขรา และจะเห็นได้ว่ากล้วยมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ กล้วยหอมนอกจากเป็นอาหารเพิ่มพลังแล้ว ยังเป็นอาหารลดน้ำหนักเหมาะสำหรับผู้ที่มีความสำคัญกับรูปร่าง กล้วยหอมช่วยเพิ่มพลังงาน หนักท้อง และให้พลังงานสูง กล้วยหอมหนึ่งผลมี 100 แคลอรี และยังมีวิตามินเอ วิตามินซีมากอีกด้วย (จันท์ทิมา นพวิจิตร, 2558)

ตารางที่ 7 คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณสารอาหาร (ต่อ 100 กรัม)
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	484.03
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	197.91
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	21.00
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	8.32
โคเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	373.63
โปรตีน (กรัม)	15.78
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	55.75
ใยอาหาร (กรัม)	3.44
น้ำตาล (กรัม)	27.32
โซเดียม (มิลลิกรัม)	272.36
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	149.90
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.145
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.386
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	83.87
เหล็ก (มิลลิกรัม)	2.82
เกลือ (กรัม)	1.82
ความชื้น (กรัม)	4.66

จากตารางที่ 7 พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ ต่อ 100 กรัม ประกอบด้วย พลังงานทั้งหมด 484.03 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมันทั้งหมด 197.91 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 21.00 กรัม ไขมันอิ่มตัว 8.32 กรัม โคเลสเตอรอล 373.63 มิลลิกรัม โปรตีน 15.78 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 55.75 กรัม ใยอาหาร 3.44 กรัม น้ำตาล 27.32 กรัม โซเดียม 272.36 มิลลิกรัม วิตามินเอ 149.90 ไมโครกรัม วิตามินบี1 0.145 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.386 มิลลิกรัม แคลเซียม 83.87 มิลลิกรัม เหล็ก 2.82 มิลลิกรัม เกลือ 1.82 กรัม และความชื้น 4.66 กรัม สอดคล้องกับอัจฉริยะกุล พวงเพชร และณปภา หอมหวล (2563) ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้หม้อแกงเสริมใยอาหารจากกากมะพร้าว พบว่า มีคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้แก่ ใยอาหาร 4.43 กรัม โซเดียม 208.82 มิลลิกรัม วิตามินเอ 59 ไมโครกรัม และ แคลเซียม 42.13 มิลลิกรัม

ตารางที่ 8 ค่าความแน่นเนื้อ และค่าสีของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ

ตัวอย่าง	ค่าความแน่นเนื้อ (N)	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ	33.73 ± 2.38	62.9 ± 1.06	17 ± 0.98	30.43 ± 0.17

จากตารางที่ 8 พบว่า ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ มีค่าความแน่นเนื้อ เท่ากับ 33.73 นิวตัน และมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 62.9, 17.00, และ 30.43 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาของผกาวัลลภ ภูจันทร์ (2559) ศึกษาผลของการเสริมผงเปลือกกล้วยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เค้กกล้วยหอม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงเปลือกกล้วยน้ำว้าในปริมาณมากขึ้นค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง - น้ำเงิน (b^*) มีแนวโน้มลดลง อาจเป็นผลมาจากผลเปลือกกล้วยในปริมาณมากขึ้นผลิตภัณฑ์เค้กกล้วยหอมจึงมีสีคล้ำเพิ่มขึ้น

จากนั้น การวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่า ผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g น้อยกว่า 10 CFU /g ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลิตภัณฑ์ เค้ก (ม.ผ.ช.459/2555) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2555) สอดคล้องกับผลการศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์เค้กกล้วยหอมเสริมผงเปลือกกล้วยน้ำว้า เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเค้ก เลขที่ มผช. 459/ 2555 (ผกาวัลลภ ภูจันทร์, 2559)

สรุป

เค้กที่เหมาะสมกับการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบคือ ชิฟฟอนเค้ก เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างที่ฟูและเบา เมื่อนำมาผสมกับส่วนผสมของหม้อแกง ลักษณะของเค้กไม่ยุบตัว และมีความฟูนุ่ม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ขนมเค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่ใช้ปริมาณกล้วยหอมทดแทนน้ำตาลโดนด ที่ร้อยละ 50 และ 75 สูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อทำการพิจารณาร่วมกับต้นทุนในการผลิตพบว่า ยังมีการเติมกล้วยหอมในการทดแทนน้ำตาลโดนดเพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงเนื่องจากกล้วยหอมมีราคาถูกกว่าน้ำตาลโดนด คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบที่ได้รับการคัดเลือกต่อการบริโภค 100 กรัมให้พลังงานทั้งหมด 484.03 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมันทั้งหมด 197.91 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 21.99 กรัม ไขมันอิ่มตัว 8.32 กรัม โคลเลสเตอรอล 373.63 มิลลิกรัม โปรตีน 15.78 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 55.75 กรัม โยอาหาร 3.44 กรัม น้ำตาล 27.32 กรัม โซเดียม 272.36 มิลลิกรัม วิตามินเอ 149.90 ไมโครกรัม วิตามินบี1 0.145 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.386 มิลลิกรัม แคลเซียม 83.87 มิลลิกรัม เหล็ก 2.82 มิลลิกรัม เถ้า 1.82 กรัม และความชื้น 4.66 กรัม ขนมเค้ก

หม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบมีค่าความแน่นเนื้อ เท่ากับ 33.73 นิวตัน และมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 62.9, 17.00, และ 30.43 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่า ผลิตภัณฑ์เค้กหม้อแกงกล้วยหอมอบกรอบ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g น้อยกว่า 10 CFU/g ตลอดอายุการเก็บรักษาซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของ ผลิตภัณฑ์ เค้ก (ม.พ.ช.459/2555) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2555)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาคุณภาพด้านอื่นๆที่เป็นตัวชี้วัดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม
2. ควรมีการต่อยอดจากงานวิจัยนี้โดยการนำขนมหวานเมืองเพชรชนิดต่าง ๆ เช่น ขนมหม้อแกง ขนมทองหยอด ขนมฝอยทอง ขนมอาลัว และขนมตาล มาพัฒนาขนมเค้กสอดไส้ขนมหวานเมืองเพชร หรือนำมาผสมผสานให้เกิดเป็นเมนูขนมใหม่ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมที่ให้การสนับสนุน ข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนบริษัท เพชรบุรีไทยดีส์เรท จำกัด ที่มีส่วนร่วม และให้ความร่วมมืออย่างดีในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณนักท่องเที่ยวทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบชิมตัวอย่างจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กนกกานต์ วีระกุล. (2555). การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กกล้วยหอมด้วยเนยสวนดุสิต.

โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพมหานคร.

เชมสุตา วงศ์ผาติกร. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กขนมหม้อแกงกล้วยหอม.

วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

จันทร์ทิมา นพวิจิตร. (2558). กลยุทธ์การตลาดกับพฤติกรรมผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

ขนมหวาน. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

จิราพร ทัดพินิจ. (2557). เบเกอรี่เบื้องต้น. วิทยาลัยอาชีวศึกษาเพชรบุรี, เพชรบุรี.

ณปภา หอมหวล. (2555). เอกสารประกอบการสอนวิชาขนมอบ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, เพชรบุรี.

ดวงใจ สัมพันธ์. (2556). ชูและชิฟฟอน. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์.

เบญจมาศ ศิลาอ้อย. (2555). กล้วย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ประภาทิพย์ ยอดกลม. (2559). **เค้กชิฟฟอน**. เอกสารประกอบการสอนวิชาขนมอบ.

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, กรุงเทพมหานคร.

ผกาดี ภูจันทร์. (2559). ผลของการเสริมผงเปลือกกล้วยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เค้กกล้วยหอม. **วารสาร**

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 32 (2), 227-238.

ไทยรัฐออนไลน์. (2564). **เพชรบุรีเครือข่ายเมืองสร้างสรรค์โลกด้านอาหาร**. สืบค้นจาก

<https://www.thairath.co.th/lifestyle/life/2262041>.

วิลาสิณี เลาหนันท์. (2550). **เอกสารประกอบการสอนวิชาขนมอบ**. วิทยาลัยอาชีวศึกษาชลบุรี, ชลบุรี

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ขนมเค้ก มผช. 459/**

2555). สืบค้นจาก <http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>

ศิริชัย จันทนาค. (2555). **กล้วยหอมทองเพชรบุรี**. สหกรณ์การเกษตรบ้านลาด, เพชรบุรี.

อัจฉริยะกุล พวงเพชร, และณปภา หอมหวล. (2563). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ห่อแยมเสริมใยอาหารจากกากมะพร้าว**. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

Peter, F. (ret.), Stephen D.W. (ret.), Michael A.G. (dec.), & William B. (2020). **Bacteriological analytical manual (BAM) Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the coliform**. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>

ถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านไม้โก่งก้างที่ใช้ในการย่างไก่

วราพร พึ่งพรหม^{1*} สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ² อภิรดี ศรีโอภาส³ ฤณทลีย์ บังคะดานรา⁴สุดาว เลิศวิสุทธิโพธิ์⁵

Received : September 23, 2023

Revised : January 25, 2024

Accepted : February 14, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษถ่านไม้โก่งก้างที่เหลือจากกระบวนการย่างไก่กับแป้งมันสำปะหลัง การผลิตถ่านอัดแท่งดำเนินการโดยนำเศษถ่านไม้โก่งก้างที่ใช้ในกระบวนการย่างไก่ มาตากแดดและนำมาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 4 มิลลิเมตร เพื่อนำเศษขี้เถ้าออก หลังจากนั้นนำมาเข้าเครื่องบด ถ่านเพื่อให้ถ่านมีความละเอียด นำเศษถ่านที่บดแล้วมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วนต่าง ๆ คือ อัตราส่วน 5%, 10%, 20% นำถ่านที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัดถ่านเพื่อให้ถ่านเกิดการอัดตัวเป็นก้อน และนำไปตากแดด เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง คือ ค่าความร้อน ใช้วิธีวิเคราะห์ ASTM D 5865, ค่าความชื้น ASTM D 7582, สารระเหย ASTM D 7582, คาร์บอนคงตัว ASTM D 3176, เถ้า ASTM D 7582

ผลการวิจัย พบว่า เศษถ่านจากกระบวนการย่างไก่ สามารถนำมาทำเป็นถ่านอัดแท่งสำหรับนำกลับไปย่างไก่ได้ โดยจากการทดสอบ ค่าความร้อน อัตราส่วน 5%, 10%, 20% สามารถให้ค่าสูงสุดอยู่ที่ 6,403 , 6,140, 5,963 กิโลแคลอรี/กก.) สารระเหย 25.62%, 28.10% , 28.81% ถ่านคงตัว 60.18%, 55.50%, 55.19% และเถ้า 3.95%, 3.68%, 3.36% ผลการทดสอบดังกล่าว พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) แต่ผลการทดสอบความชื้น มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย จากการทดลองสามารถสรุปอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาทำถ่านอัดแท่ง คือ อัตราส่วน 5% เพราะเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนที่สูง และประหยัดต้นทุนในการผลิต เพราะเป็นอัตราส่วนที่ใช้แป้งมันสำปะหลังน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ การนำเศษถ่านที่ใช้แล้วมาทำการอัดแท่งใหม่ยังเป็นการช่วยลดปัญหาด้านการจัดการของเสียเหลือทิ้ง ช่วยลดการตัดไม้และมลภาวะจากการผลิตถ่านไม้

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง เศษถ่านไม้โก่งก้าง เศษถ่านใช้แล้ว

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อีเมล: warapornpungporm@hotmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อีเมล: sirirat.suw@stou.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อีเมล: apiradee.sri@stou.ac.th

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อีเมล: Goontalee.ban@stou.ac.th

⁵ รองศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อีเมล: l.sudaw@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: warapornpungporm@hotmail.com

CHARCOAL BRIQUETTES FROM MANGROVE CHARCOAL REMNANTS RESULTING FROM CHICKEN GRILLING

Waraporm Pungporm^{1*} Sirirat Suwanichcharoen² Apiradee Sriopas³
Goontalee Bangkadanara⁴ Sudaw Lertwisuttipaiboon⁵

Abstract

This research studied the appropriate ratio between mangrove charcoal remnants from the chicken grilling process and cassava starch in producing charcoal briquettes, as well as the fuel properties of the resulting charcoal briquettes. The process involved drying the mangrove charcoal remnants resulting from the chicken grilling process and sieving them through a 4 mm sieve to remove the ashes. Subsequently, the remnants were ground into fine charcoal using a charcoal grinder before being mixed with cassava starch at various ratios of 5%, 10%, and 20% to determine the optimal mixture. The charcoal-starch mixture was then pressed into lumps using a machine and dried in the sun. The fuel properties of the charcoal product were tested, including calorific value according to ASTM D 5865, moisture value according to ASTM D 7582, volatile substances according to ASTM D 7582, stable carbon according to ASTM D 3176, and ash content according to ASTM D 7582.

The results showed that the charcoal remnants resulting from the chicken grilling process could be converted into charcoal briquettes for chicken grilling. Testing the calorific value at ratios of 5%, 10%, and 20% revealed the highest values of 6,403, 6,140, and 5,963 kcal/kg, respectively, along with volatile substances at 25.62%, 28.10%, and 28.81%, stable charcoal at 60.18%, 55.50%, and 55.19%, and ash at 3.95%, 3.68%, and 3.36%. All three ratios also met the standard criteria for charcoal briquettes set by the Department of Industrial Works (2012), although the humidity test value slightly exceeded the standard. Following the experiment, the researcher can conclude that the optimal ratio for making charcoal briquettes is 5%, as it provides a high calorific value and is cost-efficient, utilizing less cassava starch compared to other ratios. Additionally, by transforming used charcoal remnants into new briquettes, this process helps address waste management issues, reduces logging, and mitigates pollution from charcoal production.

Keywords: Charcoal briquette, Mangrove charcoal remain, Charcoal remnant

¹ Student, Master of Science Program Program of Industrial Environment Management, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: warapormpungporm@hotmail.com

² Assistant Professor Dr., Industrial Environment Management, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: sirirat.suw@stou.ac.th

³ Assistant Professor Dr., Industrial Environment Management, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: apiradee.sri@stou.ac.th

⁴ Assistant Professor Dr., Industrial Environment Management, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: Goontalee.ban@stou.ac.th

⁵ Assistant Professor Dr., Industrial Environment Management, Sukhothai Thammathirat Open University, e-mail: l.sudaw@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: warapormpungporm@hotmail.com

บทนำ

กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท โดยเฉพาะกระบวนการที่ต้องมีการปิ้งย่างจำเป็นต้องมีการใช้ถ่านไม้จำนวนมาก เพื่อต้องการให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์หอมน่ารับประทาน ถ่านไม้โกงกางเป็นถ่านประเภทที่หาซื้อได้ง่ายและนิยมนำมาใช้ในกันมาก เพราะสามารถเร่งไฟและควบคุมไฟได้ดีกว่าถ่านชนิดอื่น แต่เนื่องจากต้นโกงกางเป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบนิเวศของป่าชายเลนที่มีความสำคัญต่อการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและทรัพยากรธรรมชาติในบริเวณนั้น ดังนั้น หากมีการตัดไม้โกงกางมาผลิตถ่านจำนวนมาก ก็จะส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์และเกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าชายเลนได้ (Kristensen, 2008) ประกอบกับการเกิดเศษถ่านใช้แล้วสะสมจำนวนมากที่ต้องนำไปกำจัด และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาได้

เศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตในหลาย ๆ อุตสาหกรรม จึงได้มีแนวทางการแก้ปัญหาโดยการนำเศษถ่านดังกล่าวมาอัดเป็นแท่ง ซึ่งนอกจากจะป้องกันผลกระทบที่จะเกิดจากการกำจัดของเสียดังกล่าวแล้ว ยังสามารถนำถ่านอัดแท่งกลับมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้อีกด้วย เนื่องจากถ่านอัดแท่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ สามารถให้ความร้อนสูงและสม่ำเสมอเทียบเท่ากับถ่านไม้ เกิดควันที่น้อยกว่าการใช้ถ่านไม้ ไม่แตกประทุหรือเกิดประกายไฟ เกิดเขม่าที่น้อยกว่าถ่านไม้ ราคาถูก ขนาดก้อนของถ่านมีขนาดเท่ากันง่ายต่อการใช้งาน ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านที่ผ่านการเผาไหม้ในกระบวนการต่าง ๆ อาทิ การใช้ถ่านซังข้าวโพดและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้ง อัตราส่วน 6:4 สามารถให้ความร้อน ได้ 9,877 กิโลแคลอรี/กก. (วีระ พันอินทร์, 2561) เศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอญ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 2% ได้ค่าความร้อน 6,726 กิโลแคลอรี/กก. (ปฐมศก วิไลพล, 2562) การใช้เศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ กระบวนการทำถ่านอัดแท่งใช้เป็นเครื่องอัดแท่งที่ความเร็วรอบของสกรูอัด เท่ากับ 300 rpm ได้ความร้อน 5,493.46 กิโลแคลอรี/กก. (ณัฐพล วิชาญ, 2561) การใช้ถ่านห่านของโรงไฟฟ้าชีวมวล ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง 1% โดยน้ำหนัก ได้ความร้อนที่ 2,222 กิโลแคลอรี/กก. (ธนิยา เกาศล, 2562) การใช้เศษถ่านไม้เม็กและเศษถ่านไม้เบญจพรรณเหลือทิ้งจากกระบวนการตีพริ้ว อัตราส่วน วัตถุดิบ: แป้งมันสำปะหลัง: ปูนขาว เป็น 60:2:1 ได้ค่าความร้อนเป็น 5,556.51 กิโลแคลอรี/กก. (หาญณรงค์ บำรุงศิริ, 2553)

ซึ่งปัจจุบันในใช้ถ่านไม้โกงกางในกระบวนการย่างไก่จะมีการใช้จำนวน 100 kg./batch และจะมีเปลี่ยนถ่าน ทุก ๆ batch ทำให้เกิดเศษถ่านไม้โกงกางที่เหลือจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากที่รอดำเนินการนำส่งกำจัด (ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัด)

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ศึกษาการนำเศษถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่มาผลิตถ่านอัดแท่ง เพื่อลดปริมาณเศษถ่านเหลือทิ้งที่มีการสะสมรอการกำจัดเป็นจำนวนมาก ลดการตัดต้นไม้โกงกางมาทำถ่าน ลดปริมาณมลพิษจากการเผาถ่านและกำจัดเศษถ่าน และยังสามารถลดต้นทุนการผลิตจากการนำเศษถ่านไม้โกงกางที่ต้องนำไปกำจัดกลับมาอัดแท่งและใช้ใหม่ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่กับแป้งมันสำปะหลังในการผลิตถ่านอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านไม้โกงกางที่ใช้แล้ว

1.1 การเตรียมเศษถ่าน

เศษถ่านไม้โกงกางที่ผ่านการเผาไหม้เพื่อทำให้กลิ่นควันติดกับไก่อ่างนั้น อาจมีน้ำมันจากไก่ที่หยดลงไปจนแข็ง มีเศษไม้เสียบไก่และเถ้าปะปนอยู่ รวมทั้งถูกน้ำราดจนเปียกเพื่อดับไฟ จึงต้องมีการเตรียมเศษถ่านก่อนที่จะนำไปอัดก้อน ดังนี้

1.1.1 นำเศษถ่านจากกระบวนการย่างไก่มาตากแดดให้แห้งเพื่อให้น้ำและน้ำมันจากไก่อระเหยออกไป

1.1.2 แยกเศษขยะและไม้เสียบไก่ออก เพราะถ้าบดปนไปกับเศษถ่าน อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดควันได้

1.1.3 ทำการร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 4 มิลลิเมตร เพื่อแยกเอาเถ้าออก (ภาพที่ 1) จากนั้นจึงนำไปบดในเครื่องบดถ่าน แล้วนำชั่งน้ำหนักแยกเป็นถุงละ 10 กิโลกรัม เพื่อสะดวกต่อการผสม



ภาพที่ 1 เศษถ่านที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 4 มิลลิเมตร

1.2 การเตรียมส่วนผสม

การทดลองครั้งนี้ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสานในการเชื่อมให้เศษถ่านจับเป็นก้อน โดยทำการกวนแป้งมันสำปะหลังกับน้ำก่อน จากนั้นจึงนำเศษถ่านที่บดแล้วมาผสมในอัตราส่วนที่กำหนด ซึ่งกำหนดเป็นอัตราส่วนที่ 5% , 10% ,20% โดยอัตราส่วนเริ่มต้น คือ อัตราส่วนที่ 10:0.5 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างเศษถ่านและแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วน (% โดยน้ำหนัก)	เศษถ่าน (กิโลกรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม)	น้ำ (ลิตร)
5%	10	0.5	3
10%	10	1.0	3
20%	10	2	3

1.3 การอัดขึ้นรูป

นำถ่านที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังแล้ว ไปอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดถ่านที่ใช้ความร้อน (ภาพที่ 2) เพื่ออัดถ่านเป็นแท่งในขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำถ่านที่อัดแท่งแล้วไปตากแดดให้แห้ง 3-5 วัน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 เครื่องอัดถ่าน



ภาพที่ 3 การนำถ่านไปตากแดด

2. การทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

การทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งที่ตากแดดจนแห้งแล้ว ได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยทำการทดสอบอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ และผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบถ่านไม้โกงกางที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ในการย่างไก่

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ความชื้น (%)	ASTM D 7582
สารระเหย (%)	ASTM D 7582
คาร์บอนคงตัว (%)	ASTM D 3176
เถ้า (%)	ASTM D 7582
ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/กก.)	ASTM D 5865

ซึ่งมีรายละเอียด การวิเคราะห์ ดังนี้

1. ตรวจวัดค่าความชื้น, เถ้า (Ash), ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

เครื่องวิเคราะห์ TGA ยี่ห้อ LECO รุ่น TGA-701 และอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 7582

การวิเคราะห์ Proximate Analysis ด้วยเครื่องวิเคราะห์ TGA-701 โดยใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุ ภายใต้อุณหภูมิและบรรยากาศที่ถูกควบคุม น้ำหนักที่หายไปจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเกิดจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Resolution 0.0001 g)

1. ความชื้น (Moisture) โดยให้ความร้อนที่ 105 ± 3 °C ในสภาพของ Drying gas ที่มีการเปิดฝาล้างจนน้ำหนักคงที่

2. สารระเหย (Volatile matter) โดยให้ความร้อนที่ 950 ± 10 °C ในสภาพของ Nitrogen gas ที่มีการปิดฝาล้าง เป็นเวลา 7 นาที

3. เถ้า (Ash) โดยให้ความร้อนที่ 750 ± 10 °C ในสภาพของ Oxygen gas ที่มีการเปิดฝาล้างจนน้ำหนักคงที่

2. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3176 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ปริมาณความชื้น} + \text{ปริมาณสารระเหย} + \text{ปริมาณเถ้า})$$

3. ตรวจวัดค่าความร้อน

ดำเนินการนำถ่านในแต่ละอัตราส่วน และการตากแดดต่าง ๆ ไปหาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter เพื่อทดสอบหาค่าความร้อน ยี่ห้อ PARR รุ่น PARR 6300 และ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 5865

หลักการทำงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลว 1 หน่วยปริมาณ ที่ปริมาตรคงที่ใน ออกซิเจนบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ภายใต้ก๊าซออกซิเจนเพื่อให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ ซึ่งความร้อนที่ได้จะถูก ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายนอก รอบๆ ลูกบอมบ์ โดยเครื่องจะวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังการเผา ไหม้ตัวอย่าง (ΔT)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ถ่านอัดแท่งที่ได้จากการนำเศษถ่านที่ผ่านการนำมาใช้ย่างไก่มาบดและทำการอัดแท่งโดยใช้แบริ่ง สำหรับเป็นวัสดุประสานในอัตราส่วน 5% 10% และ 20% โดยน้ำหนัก มีลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติ ด้านเชื้อเพลิง ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่งที่ได้มีลักษณะสมบูรณ์ เป็นก้อนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร สีดำ ผิวเรียบ ไม่แตกร่อน (ภาพที่ 4) โดยถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 5% จะมีน้ำหนักเฉลี่ย ก้อนละ 71.33 ± 0.58 กรัม ในขณะที่อัตราส่วน 10% และ 20% จะมีน้ำหนักใกล้เคียงกันคือ 81.22 ± 0.69 และ 82.22 ± 0.69 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของถ่านไม้โกงกางและถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 5% (10 : 0.5) 10% (10 : 1) และ 20% (10 : 2)

2. คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง (อัตราส่วนละ 3 ซ้ำ) เปรียบเทียบกับผลการ ทดสอบคุณสมบัติถ่านไม้โกงกาง และคำนวณค่าตามเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่ง เชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) แสดงได้ดังตารางที่ 3

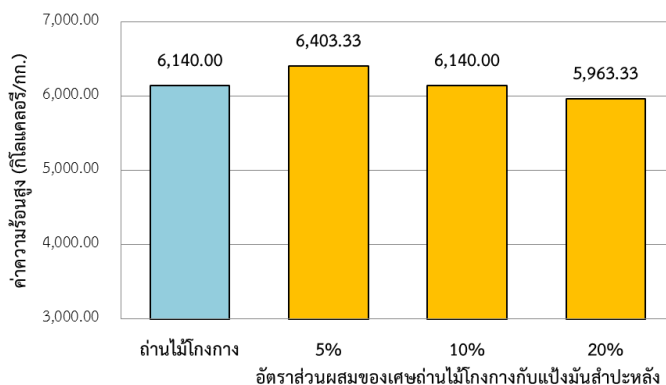
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงอัดแท่ง

อัตรา ส่วนผสม	ผลการทดสอบ ($\bar{x} \pm S.D$)				
	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/ กก.)
คำแนะนำ*	≤ 8	—	≥ 15	≤ 20	$\geq 3,000$
ถ่านไม้โกงกาง	6.59	44.82	48.15	0.44	6,140
5%	10.24 ± 1.57	25.62 ± 0.38	60.18 ± 1.11	3.95 ± 0.10	6403.33 ± 100.17
10%	12.27 ± 2.25	28.10 ± 0.75	55.50 ± 2.05	3.68 ± 0.23	6140.00 ± 260.00
20%	12.63 ± 2.02	28.81 ± 2.73	55.19 ± 0.77	3.36 ± 0.17	5963.33 ± 75.06

หมายเหตุ * กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ่านอัดแท่งมีค่าความชื้น 10.24 - 12.63 ซึ่งสูงกว่าคำแนะนำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) เล็กน้อย (ไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก) โดยค่าความชื้นคือ เปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุ ซึ่งค่าความชื้นที่เกิดขึ้นที่มากกว่าค่ามาตรฐาน ส่งผลต่อค่าความร้อนในกระบวนการเผาไหม้อาจไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งเพื่อให้ค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ควรมีการเพิ่มระยะเวลาในตากแดดมากขึ้น ส่วนการวิเคราะห์ค่าสารระเหย ซึ่งสารระเหยเป็นค่าที่บอกถึงการระเหยออกมาของสารอินทรีย์, สารอนินทรีย์ อาทิ ก๊าซไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรเจนคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอ้ น้ำ ที่มีการทดสอบเผาไหม้ถ่านในอุณหภูมิที่กำหนดในภาชนะปิด ซึ่งเชื้อเพลิงที่ดีต้องมีปริมาณสารระเหยได้ต่ำ ซึ่งจากผลการทดสอบด้านเชื้อเพลิงพารามิเตอร์ สารระเหยของทั้ง 3 อัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าถ่านไม้โกงกาง ส่วนคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ได้แก่ ถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนสูงจะมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนโดยภาพรวมแล้วจะพบว่า คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 5% จะมีปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนสูงกว่า ทั้ง 2 อัตราส่วน คือ 10% และ 20% ซึ่งมีค่าความชื้น สารระเหย และปริมาณถ่านคงตัวใกล้เคียงกัน

ผลการทดสอบค่าความร้อนสูง (High heating value) ซึ่งแสดงถึงปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์นั้น จะพบว่า ถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 5% จะมีค่าความร้อนสูงสุด (6403.33 ± 100.17 กิโลแคลอรี/กก.) ซึ่งจากค่าความร้อนที่สูงกว่าของอัตราส่วน 5% อาจเกิดจากปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่จับตัว หนาน้อยกว่า ทำให้การตากแดดมีโอกาสดังได้เร็วกว่า ส่งผลให้ค่าความชื้นมีค่าน้อยกว่าอีก 2 อัตราส่วน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีกว่าส่งผลให้ค่าความร้อนสูงกว่า ส่วนถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 10% จะมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับถ่านไม้โกงกางที่ยังไม่ผ่านการนำไปใช้ในการย่างไก่ (6140.00 ± 260.00 กิโลแคลอรี/กก.) และถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 20 % จะมีค่าความร้อนสูงต่ำสุด (5963.33 ± 75.06 กิโลแคลอรี/กก.) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ค่าความร้อนสูง (High heating value) ของถ่านไม้โก่งก้าง และถ่านอัดแท่ง

จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านใช้แล้วที่เหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่จะแปรผันผกผันกับอัตราส่วนผสมของตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง) ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มอัตราส่วนของตัวประสาน จะทำให้มีสัดส่วนของสารระเหยและความชื้นเพิ่มขึ้น (ดวงกมล บุญบำรุง, 2563) ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนต่ำลงได้ (กัณณณี แสงสุข, 2554 และ Obi, 2022) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้ คือ อัตราส่วนผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 0.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าความร้อนสูงสุด คือ 6403.33 กิโลแคลอรี/กก. และมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านไม้โก่งก้าง (6140.00 กิโลแคลอรี/กก.) จึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการย่างไก่ได้

สรุป

จากผลการวิจัยพบว่า เศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการย่างไก่ สามารถนำมาผลิตถ่านอัดแท่ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานให้ถ่านจับตัวกันเป็นก้อนได้ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษถ่านเหลือทิ้งจากการย่างไก่กับแป้งมันสำปะหลังในการผลิตอัดแท่ง คือ อัตราส่วนผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง 238/2547 (กานต์ วิรุณพันธ์, 2560) และผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมดังกล่าว พบว่า มีสารระเหย = 25.62% ถ่านคงตัว = 60.18 % เถ้า = 3.95 % และค่าความร้อนสูงเท่ากับ 6403.33 กิโลแคลอรี/กก.

นอกจากนั้น ยังพบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการย่างไก่ในการวิจัยนี้ จะมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้อื่น ๆ ดังนั้นคือ ต่ำกว่าถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาไหม้อูญ ซึ่งมีค่าความร้อน = 6,726 กิโลแคลอรี/กก.

(ปฐมศก วิไลพล, 2562) และสูงกว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ ซึ่งมีค่าความร้อน = 5,493.46 กิโลแคลอรี/กก. (ณัฐพล วิชาญ, 2562) ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าเศษถ่านเหลือทิ้งที่ผ่านการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตนั้น สามารถนำมาผ่านกระบวนการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงสำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาการจัดการของเสียเหลือทิ้งจากการเผาไหม้แล้ว ยังช่วยลดการตัดไม้และมลภาวะจากการผลิตถ่านได้ด้วย และจากคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงยังพบว่า ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านไม้โก่งกวางนั้น สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือเสริมจากการใช้ถ่านไม้โก่งกวางได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการย่างไก่ได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ จะนำถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ ไปตากให้แห้งเองโดยธรรมชาติ ซึ่งจะมีข้อจำกัดเรื่องสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยได้ จึงทำให้ถ่านอัดแท่งอาจมีความชื้นมาก ($10.24\% \pm 1.57$) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์หรือค่ามาตรฐานเล็กน้อย (8%) ดังนั้นจึงอาจจะต้องเพิ่มระยะเวลาการตากแดดให้นานขึ้น หรือเพิ่มมาตรการที่จะช่วยให้น้ำระเหยจากถ่านได้มากหรือเร็วขึ้น เพื่อให้ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งด้วย

นอกจากนี้ในกระบวนการย่างไก่มีการใช้ถ่านเพื่อวัตถุประสงค์สำคัญ คือ เพื่อให้เนื้อไก่มีกลิ่นที่น่ารับประทาน ดังนั้น อาจจะมีการศึกษาการนำส่วนผสมที่ทำให้เกิดกลิ่นหอม เช่น ใบเตย ตะไคร้ มาผสมเพิ่มเติมเพื่อให้ไก่ย่างที่ได้มีกลิ่นน่ารับประทานยิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากบุคคลที่มีพระคุณหลายท่านที่ได้ช่วยให้ความคิดเห็น ความรู้ และการช่วยเหลือ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยในครั้งนี้ จึงต้องกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชัยเจริญ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิรดี ศรีโอภาส, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุณพลสิทธิ์ บังคะดานรา และรองศาสตราจารย์ ดร. สุดาว เลิศวิสุทธิกรรมการที่ปรึกษาที่สละเวลาอันมีค่ามาเป็นทั้งที่ปรึกษาและกรุณาให้คำแนะนำ การตรวจพิจารณาแก้ไข ให้ความรู้ และการทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณอุตร ภู่อ่าง, คุณปรีชา ชลสุวัฒน์ ที่ให้คำปรึกษา สำนวญพื้นที่ และคำชี้แนะในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณณรงค์, คุณบังอร, คุณธีรพงษ์ พึ่งพรหม, คุณศุภฤกษ์, คุณอรรถกฤต, คุณราตรี เกิดสมบัติ ที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน และให้งบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **คู่มือและแนวทางเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน**. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- กัณณณี แสงสุข. (2554). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน, และสนธยา ทองอรุณศรี. (2560). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม**. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา**, 2(1), 1 – 15.
- ณัฐพล วิชาญ, กันยาพร ไชยวงศ์, พรพิมล พรหมรักษา, และอนันต์ กาน้อย. (2562). **การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ**. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม**, 3(2), 11-22.
- ดวงกมล บุญบำรุง. (2563). **ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านเปลือกไม้โกงกางอัดแท่งในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธนียา เกาศล, วัฒนา ศรีเกตุ, และวิชัยรัตน์ แก้วเจือ. (2562). **ถ่านอัดแท่งจากเล้าหมักของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากรากไม้ ยางพารา**. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24**, 10 - 12 กรกฎาคม 2562 จังหวัดอุดรธานี (หน้า 2770 – 2776).
- ปฐมศก วิไลพล, ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ, นพรัตน์ สีหะวงษ์, จิราณุวัฒน์ เม่นเกิด, ปรากรณ์ ประกอบกสิกรรม และปิยะวัต คำบุญ. (2562). **การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอญ**. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีล้านนา**, 4(1), 43 – 50.
- วีระ พันอินทร์. (2561). **การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ**. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 23(1), 146 – 163.
- หาญณรงค์ บำรุงศิริ. (2553). **สมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านไม้อัดก้อนที่ผลิตจากเศษถ่านไม้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., & Marchand, C. (2008). Organic Carbon Dynamics in Mangrove Ecosystems: A Review. **Aquatic Botany**, 89 (2008), 201 – 219.
- Obi, O.F., Pecenka, R. & Clifford, M. (2022). A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. **Energies** 2022, 15, 2426, 1 – 22.

การศึกษาสมรรถนะเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สำหรับเกษตรกรฐานรากในครัวเรือน

ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต^{1*} ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล² อาทิตย์ คำตาย³

Received : May 26, 2023

Revised : January 26, 2024

Accepted : February 23, 2024

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการทำงานเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ และ 2) วิเคราะห์สมรรถนะเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ในพื้นที่แปลงเกษตร โครงสร้างส่วนทางลากใบตัด มีขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร และความยาว 140 เซนติเมตร ประกอบด้วยเครื่องยนต์แก๊สโซลีนแบบ 4 จังหวะ ขนาดกำลังเครื่องยนต์ 6.3 กิโลวัตต์ ส่งกำลังผ่านไปยังสายพานชนิดร่อง B เบอร์ 47 และ 48 เพื่อไปหมุนใบตัดขนาดความกว้าง 42 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ สามารถปรับระดับความสูงของใบมีดจากระดับพื้นระหว่าง 3-26 เซนติเมตร ล้อเคลื่อนที่งานประกบขนาด 6 นิ้ว ขนาดยาง 4.10/3.50-6 ทดสอบสมรรถนะการทำงาน โดยติดตั้งใช้งานร่วมกับรถเครื่องยนต์ขนาดเล็กขนาด 125 ซีซี ในพื้นที่ขนาด 1 ไร่ หาค่าเฉลี่ย 3 ครั้ง ด้วยการเคลื่อนที่ของรถลากความเร็วเฉลี่ย 5-7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.86 ลิตรต่อไร่ ระยะเวลาที่ใช้ในการตัดหญ้าเท่ากับ 21.52 นาทีต่อไร่ หรือทำงาน 1 ชั่วโมง จะสามารถตัดหญ้าได้พื้นที่ 2.79 ไร่ต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าสะพายบ่า มีสมรรถนะการทำงานมากกว่าร้อยละ 52.18 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เมื่อลงทุนจัดสร้างเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ 29,000 บาท เมื่อทำงาน 12 วันต่อปี จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 9.09 ไร่ต่อปี และสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.80 ปี หรือประมาณ 1 ปี 9 เดือน 18 วัน

คำสำคัญ: เครื่องตัดหญ้าทางลาก ใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สมรรถนะ

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
อีเมล: teerawat.c@rbru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
อีเมล: sarayut.c@rbru.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
อีเมล: Chachoengsao_2@hotmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: teerawat.c@rbru.ac.th

STUDY OF THE PERFORMANCE OF TWIN CENTRIFUGAL IMPELLER TAIL MOWER FOR FOUNDATION FARMERS AT THE HOUSEHOLD LEVEL

Teerawat Chuenatsadongkot^{1*} Sarayut Chitphutthanakul² Artit Kamtai³

Abstract

The purpose of this research was to 1) study the operation of twin centrifugal impeller tail mowers and analyze their performance in agricultural areas, and 2) The twin centrifugal impeller tail mower had dimensions of 120 cm width and 140 cm length. It was equipped with a 6.3 kW 4-stroke gasoline engine that transmitted power to B-groove belts No. 47 and 48, rotating two cutting blades each measuring 42 cm in width and 6 cm in length. The blade height could be adjusted within the range of 3-26 cm. The mower's wheels had a tire size of 4.10/3.50-6, moving on a 6-inch plate. The performance test involved installing the twin centrifugal impeller tail mower with a 125-cc engine vehicle, running within 1 rai, 3 times on average, at speeds of 5-7 km per hour. The results showed an average fuel consumption of 0.86 liters per rai and an operational time of 21.52 minutes per rai, equivalent to 2.79 rai per hour. Furthermore, the twin centrifugal impeller tail mower exhibited a higher capacity than the shoulder mower by 52.18%. An engineering economic analysis revealed that the price of the twin centrifugal impeller tail mower was 29,000 baht, with a working period of 12 days per year. The break-even point was 9.09 rai per year, with a payback time of 1.8 years (1 year, 9 months, and 18 days).

Keywords: Tail mower, Twin Centrifugal Impeller, Performance

¹ Lecturer of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, e-mail: teerawat.c@rbru.ac.th

² Lecturer of Energy Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, e-mail: sarayut.c@rbru.ac.th.com

³ Lecturer of Energy Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, e-mail: Chachoengsao_2@hotmail.com

* Corresponding author, e-mail: teerawat.c@rbru.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันวัชพืชเป็นปัญหาสำคัญของเกษตรกรชาวสวนผลไม้ จึงต้องมีการกำจัดวัชพืช เพื่อลดปัญหาการแย่งสารอาหารกับพืชหลัก อีกทั้งยังมีผลเสียกับผลผลิตหลัก โดยการกำจัดวัชพืชจะใช้วิธีการตัดออกให้สั้นลงมากกว่าการใช้สารเคมี เนื่องจากถ้าใช้สารเคมีอาจพบสารเคมีตกค้างในผลผลิต และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในบริเวณพื้นที่ทางการเพาะปลูก ทำให้เกิดผลเสียต่อการเพาะปลูกในระยะยาวได้ ธนัสสันท์ พูนไพบุลย์พิพัฒน์ และมณจิตา วะชู (2562) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารกำจัดวัชพืชบางชนิดต่อการควบคุมหญ้าหมุยและความเป็นพิษต่อข้าวโพด ซึ่งพบว่าสารเคมีสำหรับกำจัดวัชพืชในปัจจุบันมีความเป็นพิษต่อพืชทางเกษตรกรรมที่น้อยลงเป็นอย่างมาก แต่ยังคงมีสัดส่วนความเป็นพิษอยู่ จึงอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางเกษตรได้ นอกจากนี้ทางกลุ่มเกษตรกรได้มีการจัดทำผลผลิตให้ถูกต้องตามหลัก GMP (Good Manufacturing Practice) เพื่อเป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการผลิตคุณภาพอาหารที่ดี คุณภาพของผลผลิตที่ได้สามารถจัดอยู่ในหมวดหมู่มาตรฐานการส่งออก จึงต้องควบคุมคุณภาพตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกผลผลิต การดูแลรักษาผลผลิต และการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยการตัดวัชพืชจะอยู่ในกระบวนการดูแลรักษาผลผลิตนั่นเอง

การนำเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่มาช่วยในการกำจัดวัชพืชยังลดปัญหาด้านแรงงานที่นับวันยังมีจำนวนน้อยลง และเป็นแนวทางการลดค่าใช้จ่ายสำหรับการจ้างเหมาตัดหญ้าของเกษตรกร จากประโยชน์ดังกล่าวมาข้างต้น จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ในพื้นที่แปลงเกษตร โดยใช้รถเครื่องยนต์ขนาดเล็ก 4 ล้อมาเป็นอุปกรณ์ลากจูง โดยเป็นการส่งเสริมให้ชาวสวนผลไม้มีแนวทางการลดต้นทุนการผลิตลง เนื่องจากเทคโนโลยีเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่มีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สะดวกต่อการบำรุงรักษา แต่ยังคงต้องมีความรู้ด้านสมรรถนะการใช้งาน ที่ต่อยอดให้เกิดผู้ประกอบการที่ผลิตสินค้าและบริการที่มีมูลค่าเพิ่มสูงหรือนวัตกรรมที่ต่อยอดจนเกิดประโยชน์ได้จริงต่อผู้ประกอบการ และเพื่อกำหนดขอบเขตและแนวทางในการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดย ไกรสร รวยป้อม และสุรพงษ์ โช้ทอง (2557) ได้ทำการศึกษาเครื่องตัดหญ้าแบบใบมีดทรงกระบอกติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ได้เปรียบเทียบการใช้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,000 และ 2,000 รอบต่อนาที พบว่า ระดับความเร็วรอบของเพลาคูที่ 1000 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที สามารถตัดหญ้าได้ประมาณ 0.93 ไร่ต่อชั่วโมง โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาวิจัยนี้บ่งชี้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่ส่งผลต่อความเร็วในการตัดมากนัก นอกจากความเร็วในการตัดแล้วคุณภาพในการตัดก็เป็นสิ่งสำคัญ ขนาธิป กาลจักร และคณิศร ภูนิคม (2562) ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการตัดหญ้าเนเปียร์ ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ความเร็วการเคลื่อนที่ตัด และความเร็วรอบชุดหัวตัด เพื่อตรวจสอบการส่งผลต่อความยาวชิ้นหญ้าตามต้องการ ผลจากการทดลองพบว่า ความเร็วการเคลื่อนที่และความเร็วรอบชุดหัวตัดมีอิทธิพลต่อความยาวชิ้นหญ้าที่ทำการตัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับ 0.05 การเลือกความเร็วรอบใบตัดจึงมีความสำคัญต่อการตัดวัชพืชแต่ละชนิด นอกจากนั้น ชัยณรงค์ หนูช่างคำ และคณะ (2565) ได้พัฒนาารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ผลการทดสอบสมรรถนะ พบว่า ขนาดความสูงของหญ้าที่ 6 เซนติเมตร สามารถตัดหญ้าได้มากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มขนาดความยาวของหญ้าเป็น 9 และ 12 เซนติเมตร ความสามารถในการตัดหญ้าจะลดลงตามลำดับ โดยความสามารถในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ± 0.47 ไร่ต่อชั่วโมง งานวิจัยนี้ยังชี้ได้ว่าการออกแบบระดับความสูงของใบตัดส่งผลต่อสมรรถนะการตัด นอกจากนั้น กนกกัญญากรรณ์ พรพราชจรกุล และคณะ (2563) ได้พัฒนาารถตัดหญ้าบังคับวิทยุ และได้ทดสอบสมรรถนะด้านความแม่นยำในการเคลื่อนที่ พบว่า การเคลื่อนที่ของรถตัดหญ้ามีความแม่นยำร้อยละ 100 ความราบเรียบของหญ้าในการตัดมีความสม่ำเสมอ งานวิจัยของ คมกริช จิตตา และคณะ (2565) ได้พัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามขั้วเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สายเพื่อช่วยลดภาระการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน จากการทดสอบพบว่า เครื่องตัดหญ้าเดินตามขั้วเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย ช่วยลดการใช้แรงทางกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยไม่ต้องออกแรงผลักในขณะตัดหญ้า เนื่องจากมีชุดสไปรอลคลัตช์ ช่วยในการบังคับเลี้ยว ทำให้การบังคับเลี้ยวทำได้ง่ายขึ้นจึงสามารถลดภาระการทำงานของผู้ปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวไป บ่งชี้ว่าการใช้รถเป็นตัวขับเคลื่อนสำหรับตัดหญ้าเป็นทางยาวนั้นสามารถควบคุมความยาวของหญ้าที่ตัดได้ดี ความยาวของหญ้ามีความใกล้เคียงกันตลอดระยะการตัด ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญเพราะการใช้แรงงานคนใช้เครื่องตัดหญ้าแบบสะพายบนบ่า ความยาวของหญ้าที่ตัดได้อาจจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ตัดแต่ละคน แต่ถ้าความยาวของหญ้าก่อนตัดมากเกินไปอาจส่งผลต่อสมรรถนะในการตัดได้ นอกจากนั้นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการเปรียบเทียบระหว่างการใช้รถตัดหญ้ากับการใช้แรงงานคนตัดหญ้าก็คือระยะเวลาในการตัด สุวิพงษ์ เหมะธูลิน และณัฐดนัย พรณูเจริญวงศ์ (2561) ได้พัฒนาชุดขับเคลื่อนใบมีดตัดของเครื่องตัดใบข้าว โดยเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าสายพาน ผลการทดสอบ พบว่า สามารถลดเวลาการทำงานได้ 30.90 นาทีต่อไร่ จากการศึกษางานวิจัยนี้บ่งชี้ว่าการนำเทคโนโลยีมาใช้นั้นสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้จริงจากการใช้แรงงานคน นอกจากนั้น สุวิพงษ์ เหมะธูลิน (2561) ยังได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดใบข้าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดใบข้าว โดยแบบเดิมใช้เครื่องตัดใบข้าวใช้เวลาเฉลี่ย 54.80 นาทีต่อไร่ เทียบกับการใช้เครื่องตัดใบข้าวใช้เวลาในการตัดใบข้าวเฉลี่ย 14.40 นาทีต่อไร่ ทำให้เกษตรกรสามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ถึง 43.61 % และเมื่อเทียบค่าใช้จ่ายในทางเศรษฐศาสตร์ต้นทุนการผลิตข้าวสามารถลดต้นทุนในการผลิตข้าวได้ 640 บาทต่อไร่ นอกจากนั้นงานวิจัยของ วรวิมล สุวรรณเรือง และคณะ (2564) ได้พัฒนาเครื่องตัดตอซังข้าวและวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องตัดตอซังข้าวพบว่ามีค่าใช้จ่ายผันแปร 21.14 บาทต่อไร่ ค่าต้นทุนเครื่องจักร 12,300 บาท เมื่อราคาฟางข้าวตามท้องตลาดเท่ากับ 25 บาทต่อ 20 กิโลกรัม จะมีจุดคุ้มทุนเท่ากับ 59.89 ไร่ต่อปี และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 9.4 วัน และยังมีงานวิจัยของ ศิริเจษฎ์ กองแก้ว และคณะ (2564) ได้พัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดวัชพืชในแปลงข้าวโพดหวาน และได้วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า

เมื่อทำงานปีละ 300 วัน วันละ 8 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 8 วัน และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 60 ไร่ต่อปี¹ จากการศึกษางานวิจัย บ่งชี้ชัดเจนว่าการนำเทคโนโลยีการตัดเข้ามาใช้ นอกจากระยะเวลาในการทำงานจะลดลงแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ลดต้นทุนได้เมื่อเทียบกับต้นทุนทางแรงงาน แต่อาจต้องใช้เวลาระยะยาวในการคืนทุนนั่นเอง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาพัฒนาสมรรถนะเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ โดยนำไปทดสอบสมรรถนะในพื้นที่แปลงเกษตรจริงของเกษตรกร ผลจากทดสอบจะสามารถทราบแนวทางการทำงานของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ และแนวทางการลดต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับ การจ้างเหมาบริการ ซึ่งสามารถส่งเสริมการนำเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตรมาประยุกต์ใช้กับสวนผลไม้ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สำหรับเกษตรกรฐานรากในครัวเรือน
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ในพื้นที่แปลง

เกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนโดยรวมทั้งตั้งแต่ศึกษาแปลงเกษตรที่มีความพร้อมต่อการทดสอบสมรรถนะของเครื่องตัดหญ้า ไปสู่การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ต่อยอดไปสู่การออกแบบผัง การเคลื่อนที่สำหรับทดสอบ การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ในพื้นที่แปลงเกษตร และสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม รายละเอียดได้แบ่งออกเป็น หัวข้อหลัก 5 ข้อ ดังนี้

1. ความพร้อมของพื้นที่ทำการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปลงใหญ่ทุเรียนตำบลวังโดนด อำเภอนายายอาม จังหวัดจันทบุรี โดยเป็นแปลงสาธิตระบบเกษตรอัจฉริยะด้วยระบบ IoT เป็นศูนย์เรียนรู้ให้กับเกษตรกรภายใน จังหวัด ซึ่งได้รับการส่งเสริมจากเกษตรจังหวัดจันทบุรี เหตุผลหลักที่ได้เลือกสถานที่แปลงเกษตรดังกล่าวมาจาก สภาพของภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นที่ราบบริเวณกว้าง มีความลาดชันที่ไม่มากนัก เพื่อที่ปัจจัยในด้านของความลาดชันของพื้นที่ไม่ส่งผลต่อการทำงานของรถขับเคลื่อนในแปลงเกษตร นอกจากนั้นแล้วสภาพของดินในแปลงเกษตรดังกล่าวมีความแข็ง ไม่ละเอียด และอุ้มน้ำจนเกินไป เพื่อที่ไม่ส่งผลต่อการขับเคลื่อนของรถ และไม่กระทบต่อความยาวของหญ้าที่ทำการตัดขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่

2. การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและติดตั้งเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ในพื้นที่แปลงเกษตร โดยใช้รถเครื่องยนต์ขนาดเล็ก 4 ล้อมาเป็นอุปกรณ์ลากจูง จากนั้นทำการติดตั้งหัวบอลสำหรับลากที่ตัวรถ แล้วนำชุดครอบ (คอปเปอร์) ของหางลากมาติดตั้งสำหรับลากเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ซึ่งมีอุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย ชุดใบมีดตัดจำนวน 2 ใบ รวมแล้วกว้าง 80 เซนติเมตร ส่งกำลังด้วยเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 6.3 กิโลวัตต์ ผ่านชุดสายพาน โดยความเร็วในการเหวี่ยงสัมพันธ์กับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ด้วย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่

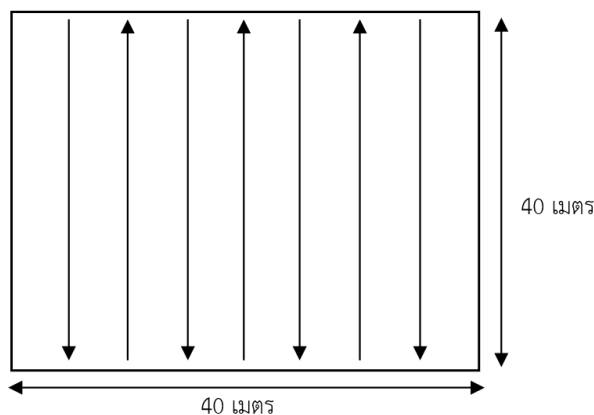
จากภาพที่ 1 ประกอบไปด้วยรถขับเคลื่อนขนาดเล็ก 125 cc สำหรับใช้ลากจูง หัวบอลลากขนาด 2 นิ้ว ที่สามารถรับแรงได้ 3,500 ปอนด์ หรือรับน้ำหนัก 1,590 กิโลกรัม เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ กำลังขับเคลื่อน 6.3 กิโลวัตต์ หรือประมาณ 9 แรงม้า ยี่ห้อ Honda รุ่น GX270T2 QHT1 ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง สามารถใช้ได้น้ำมันแก๊สโซลีนที่ผสมแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 10 (E10) ได้ ส่วนประกอบต่อไปคือ สายพานสำหรับหมุนใบตัดคู่ด้วยแรงเหวี่ยง สายพานที่นำมาใช้เป็นสายพานวีคลาสสิกแบบร่องเรียบ รหัส B47 และ B48 เหมาะสำหรับการใช้งานเครื่องจักรกลการเกษตรได้เป็นอย่างดี ส่วนประกอบสุดท้ายคือ ล้อสำหรับเคลื่อนที่ และชุดกันกระแทก ล้อที่ใช้ คือ ล้อยางขนาด 4.10/3.50-6 จะมีความสูงของยางที่ระดับ 4.10 นิ้ว ความกว้างของหน้ายางขนาด 3.50 นิ้ว และใช้กับกระทะล้อขนาด 6 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างหางลากใบตัดแรงเหวี่ยงคู่

3. การออกแบบผังการเคลื่อนที่สำหรับทดสอบ

การออกแบบแผนผังพื้นที่การทดสอบ มีขนาดพื้นที่ 1 ไร่ แบ่งตามอัตราส่วนขนาดความกว้าง 40 เมตร ยาว 40 เมตร หรือขนาด 1,600 ตารางเมตร โดยเหตุผลที่ทำการออกแบบขนาดของพื้นที่ทดสอบความกว้าง 40 เมตร ความยาว 40 เมตร เป็นลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อให้ขนาดเท่ากับ 1 ไร่ ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้งานของเครื่องตัดหญ้าแบบสะพายบ่าที่ทางผู้ผลิตกำหนดข้อมูลไว้เป็นหน่วยไร่ได้ง่าย ลักษณะดั้งเดิมของพื้นที่ทดสอบมีวัชพืชขึ้นสูงขนาด 30-40 เซนติเมตร โดยเป็นพื้นที่เรียบและดินมีขนาดค่อนข้างแข็ง การทำงานจะเคลื่อนที่รถตัดหญ้าหางลากใบตัดแรงเหวี่ยงคู่ ตามรูปแบบวิธีการตัดหญ้าทางยาว สลับหัวแปลงจากทางด้านขวาไปทางด้านซ้าย หรือสลับจากทางด้านซ้ายไปทางด้านขวา เนื่องจากกำหนดพื้นที่ขนาดเดียวกัน และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมต่อทุกพื้นที่ของการตัด ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังพื้นที่การทดสอบเครื่องตัดหญ้าหางลากใบตัดแรงเหวี่ยงคู่

4. การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ในพื้นที่แปลงเกษตร

การประเมินสมรรถนะการทำงานเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ จะประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรถขับเคลื่อนขนาดเล็ก อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่

ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ เป็นการทดสอบว่าเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่สามารถทำงานในพื้นที่แปลงเกษตรได้พื้นที่เท่าใดต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความสามารถเชิงพื้นที่} = \text{พื้นที่ที่ทำงานได้} / \text{เวลาทำงาน} \quad (1)$$

อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรถขับเคลื่อนขนาดเล็ก เป็นการทดสอบว่ารถขับเคลื่อนขนาดเล็กที่ทำหน้าที่ลากเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่าใดต่อหนึ่งหน่วยระยะเวลา และอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ เป็นการทดสอบว่าเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ที่ทำหน้าที่ตัดหญ้าในขณะที่รถเคลื่อนที่นั้นมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่าใดต่อหนึ่งหน่วยระยะเวลา โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{อัตราความสิ้นเปลือง} = \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลิตร)} / \text{พื้นที่ทำงาน (ไร่)} \quad (2)$$

5. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ในการสร้างเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ นั้น มีเพื่อประเมินค่าใช้จ่าย เพื่อทราบระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุนในการที่จะนำเครื่องจักรมาใช้ทดแทนแรงงานคน ซึ่งใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนที่จะนำเครื่องจักรมาใช้ โดยเน้นความคุ้มค่า และให้ก่อประโยชน์สูงสุด มีรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในสร้างเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ (บาทต่อปี) มีตัวแปรที่ใช้ประกอบการคำนวณ ดังนี้ มูลค่าซาก (S) ค่าเสื่อมราคา (D) ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R) ตัวแปรดังที่กล่าวมาข้างต้นคือ ต้นทุนคงที่ (FC) โดยกำหนดให้ราคาตั้งต้นของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่เป็นตัวแปร P

$$\text{มูลค่าซาก (S)} = 0.1 P \quad (3)$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (D)} = (P - S) / L \quad (4)$$

$$\text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} = [(P + S) / 2] \times I \quad (5)$$

$$\text{ต้นทุนคงที่ (FC)} = \text{ค่าเสื่อมราคา (D)} + \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} \quad (6)$$

โดย L คือ ระยะเวลาที่ใช้คำนวณ และ I คือ อัตราดอกเบี้ย

ค่าใช้จ่ายอีกส่วนหนึ่ง คือ ค่าต้นทุนแปรผัน (VC) ประกอบด้วย ค่าบำรุงรักษา ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าต้นทุนแปรผันเป็นค่าที่ไม่มีตัวแปรแน่ชัด และมีค่าแปรเปลี่ยนตามสภาพเศรษฐกิจ ทำให้ในการคำนวณค่าต้นทุนแปรผันจะต้องมีการกำหนดค่าราคาต่างๆ เป็นตัวแปรต้นที่คงที่ ซึ่งจะ

แสดงในผลการวิจัยและอภิปรายผล จากนั้นเมื่อนำค่าต้นทุนคงที่ต่อปีมารวมกับต้นทุนแปรผันที่เกิดขึ้นต่อปีจะส่งผลให้ได้ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อระยะเวลาหนึ่งปี (AC) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} = \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนแปรผัน} \quad (7)$$

ซึ่งจากค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อระยะเวลาหนึ่งปี สามารถนำไปคำนวณ จุดคุ้มทุน (Break Even Point) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{BEP} = \text{FC} / (\text{SU} - \text{VC}) \quad (8)$$

โดย SU คือ รายได้จากการรับจ้างตัดหญ้าหลังหักต้นทุนค่าใช้จ่าย

สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ราคาตั้งต้น} / (\text{รายได้} - \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด}) \quad (9)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลของการวิจัยได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการศึกษาพัฒนาทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1. ผลการศึกษาพัฒนาทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่

โครงสร้างทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นทางลากที่สามารถใช้รถเอทีวีขนาดเล็กหรือรถมอเตอร์ไซด์ 3 ล้อ พ่วงข้างมาเป็นส่วนลากไปยังพื้นที่ทำงาน โดยขนาดโครงสร้างมีความกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร โครงสร้างทำด้วยเหล็กเหลี่ยมขนาด $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4}$ นิ้ว ทั้งนี้ขนาดโดยรวมของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่จะมีขนาดความกว้าง 120 เซนติเมตร และความยาว 140 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบหลักของชุดทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ซึ่งการทำงานสามารถปรับระดับความสูง-ต่ำของใบตัดได้ เพื่อให้เข้ากับความสูงของหญ้าภายในแปลงเกษตร นอกจากนั้นยังมีการป้องกันเศษหญ้า หรือเศษกิ่งไม้เข้าไปขัดกับชุดใบตัดขณะทำงานด้วยการสร้างชุดกันเศษหญ้าเป็นกันชนไว้บริเวณด้านหน้าของโครงสร้าง ใบตัดคู่มีขนาดความกว้าง 42 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ ติดตั้งอยู่กับฐานบริเวณใต้ชุดทางลาก สามารถปรับระดับใบมีดตัดหญ้าให้มีระยะต่ำสุด 3 เซนติเมตรจากพื้นดิน การบำรุงรักษาทางลากเครื่องตัดหญ้าใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สามารถเติมจารบีเข้าไปยังจุดเติม เพื่อหล่อลื่นลดการฝืดของแกนใบตัด และทำความสะอาดชุดใบตัดโดยนำเศษหญ้าออกหลังการใช้งาน ซึ่งควรระมัดระวังขณะใช้งานไม่ให้ไปสัมผัสกับก้อนหิน หรือกิ่งไม้ขนาดใหญ่ เนื่องจากส่งผลเสียต่อใบตัดหญ้าได้ ทั้งนี้ควรบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อหยุดใช้งานควรนำไปเก็บรักษาในพื้นที่แห้งเพื่อลดโอกาสการเกิดคราบสนิมได้

เมื่อนำชุดทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ไปต่อเข้ากับรถขับเคลื่อนขนาดเล็กเพื่อใช้ในการลากจูง จะได้เป็น โครงสร้างพร้อมใช้งานจริง ดังแสดงในภาพที่ 4 การเคลื่อนที่สำหรับการตัดหญ้าจะทำการขับเคลื่อนที่ขนาดเล็กด้วยความเร็วประมาณ 5 – 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของทางลากนั้นสร้างจากเหล็กที่มีความหนา ซึ่งเป็นโครงสร้างจากวัสดุที่แข็งแรง รวมทั้งล้อมีขนาดใหญ่จึงสามารถไปใช้กับพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศไม่ราบเรียบได้ แต่เนื่องจากโครงสร้างเหล็กที่หนาทำให้น้ำหนักมาก จึงไม่ควรนำไปใช้กับพื้นแปลงเกษตรที่ค่อนข้างนุ่มและละเอียด เพราะจะส่งผลให้ล้อของทางลากจมดิน ซึ่งส่งผลให้ใบตัดกระแทกกับพื้นดินได้



ภาพที่ 4 เครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ พร้อมรถ ATV สำหรับลากจูง

2. ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่

จากการประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ที่ถูกแบ่งปัจจัยสำคัญออกเป็น 3 ปัจจัยหลัก คือ ผลของความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ ผลทดสอบอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรถขับเคลื่อนขนาดเล็ก และผลทดสอบอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ผลทดสอบทั้งหมดถูกแสดงผ่านการคำนวณดังต่อไปนี้

ผลทดสอบความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ กำหนดขอบเขตขนาดพื้นที่จริง 40×40 เมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีระยะเวลาในการเคลื่อนที่เท่ากับ 0.48 นาที โดยสามารถคำนวณหาความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่จริง (EFC) ได้เท่ากับ 66.67 ตารางเมตรต่อนาที เมื่อทำการแปลงหน่วย จะได้ 2.5 ไร่ต่อชั่วโมง หรือสามารถคิดเป็นค่าประมาณ 21.5 นาทีต่อหนึ่งไร่

ผลทดสอบอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรถขับเคลื่อนขนาดเล็ก รถขับเคลื่อนขนาดเล็กขนาด 125 ซีซี ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E10) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยสามารถคำนวณหาอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ได้เท่ากับ 0.38 ลิตรต่อไร่ ส่วนผลทดสอบอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ เครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ขนาด 6.3 กิโลวัตต์

ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E10) โดยใบตัดของเครื่องตัดหญ้าสามารถหมุนตัดได้ด้วยความเร็วรอบ 1,350 รอบต่อนาที (1,350 rpm) จากการทำงานของระบบกลไกการตัดสามารถคำนวณหาอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ได้ เท่ากับ 0.48 ลิตรต่อไร่ และจากผลการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถขับเคลื่อนขนาดเล็กและเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สามารถนำมารวมกันเป็นผลการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรวมได้ ผลที่ได้จะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรวมกันเท่ากับ 0.86 ลิตรต่อไร่

ในการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบค่าทั้งหมด 3 ครั้ง หรือคิดเป็น 3 ซ้ำ เพื่อที่สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของผลที่ได้ เพื่อเป็นค่าแทนของค่าทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง ทดสอบในสภาพแวดล้อมเดียวกัน พื้นที่ในแปลงเกษตรเดียวกัน และความยาวของหญ้าใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีปัจจัยภายนอก เช่น ดินอาจจะมีความแข็งต่างกันเล็กน้อย เพราะการรับน้ำของดินแต่ละช่วงฤดูกาลของแต่ละสถานที่จะแตกต่างกันออกไป ในพื้นที่เดียวกันแต่เป็นช่วงเวลาต่างก็ยังสามารถส่งผลกระทบต่อความแข็งของดินได้ จากอุณหภูมิบรรยากาศภายนอกที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ปัจจัยดังกล่าวก็ไม่ส่งผลต่อการทดสอบสมรรถนะมากนัก ทางผู้วิจัยจึงสามารถทำการทดสอบค่าออกมาได้ 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ สำหรับเกษตรกรฐานรากในระดับครัวเรือน

ครั้งที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ลิตรต่อไร่)		ระยะเวลาการตัดหญ้า (นาทีต่อไร่)
	รถ ATV	เครื่องตัดหญ้า	
1	0.38	0.48	22.50
2	0.40	0.48	20.65
3	0.37	0.49	21.40
ค่าเฉลี่ย	0.38	0.48	21.52

จากตารางที่ 1 ระยะเวลาในการตัดหญ้าต่อหนึ่งไร่ จากการทดสอบ 3 ครั้ง สามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้ 21.52 นาทีต่อไร่ ส่วนอัตราการใช้เชื้อเพลิง คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้ 0.86 ลิตรต่อไร่

นอกจากนั้นทางผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำงานของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ กับเครื่องตัดหญ้าแบบสะพายบ่า โดยใช้เครื่องตัดหญ้าแบบสะพายบ่ายี่ห้อ Makita รุ่น RBC-411U โดยเป็นค่าข้อมูลจำเพาะจากผู้ผลิต เพื่อเปรียบเทียบถึงระยะเวลาในการตัดที่และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของทั้ง 2 วิธีการ จากการเปรียบเทียบระยะเวลาในการตัดหญ้าในพื้นที่แปลงเกษตรเท่ากัน เครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ตัดหญ้าได้เฉลี่ย 21.52 นาทีต่อไร่ โดยใช้เวลาน้อยกว่าเครื่องตัดหญ้าแบบสะพายบ่ายี่ห้อ Makita รุ่น RBC-411U ซึ่งมีการทำงานอยู่ในช่วง 45 – 60 นาทีต่อไร่ ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ คิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ 0.86 ลิตรต่อไร่ มากกว่าการตัดหญ้าด้วยเครื่อง

ตัดหญ้าแบบสะพายป่าที่ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 0.85 ลิตรต่อไร่ ซึ่งเป็นค่าการสิ้นเปลืองที่ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องมาจากการตัดหญ้าด้วยเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ใช้เวลาในการทำงานที่น้อยกว่าเป็นอย่างมาก ระยะเวลาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จนวนน้อยกว่ามากตามไปด้วย ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์จะมีอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่อนาที่ที่มากกว่าการตัดหญ้าด้วยเครื่องตัดหญ้าแบบสะพายป่าก็ตาม

3. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ในการสร้างเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ขึ้น เพื่อประเมินค่าใช้จ่าย ทราบระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุนในการที่จะนำเครื่องจักรกลการเกษตรมาใช้ทดแทนแรงงานคน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนที่จะนำเครื่องจักรกลการเกษตรมาใช้ในกิจกรรมของตนเองโดยเน้นความคุ้มค่า และให้ก่อประโยชน์สูงสุด โดยในการคำนวณจะต้องมีการกำหนดราคาเป็นข้อมูลตั้งต้น มีรายละเอียดดังนี้ กำหนดให้ราคาเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่มีเท่ากับ 29,000 บาท มูลค่าซากเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือร้อยละ 10 ของราคาเครื่อง (กรมบัญชีกลาง, 2557) และอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 7.14 ต่อปี (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2566) นำไปคำนวณด้วยสมการที่ (3) – (6) จะได้ค่าดังนี้ ค่ามูลค่าซาก (S) เท่ากับ 2,900 บาท ค่าเสื่อมราคา (D) เท่ากับ 2,610 บาทต่อปี และค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R) เท่ากับ 1,138.83 บาทต่อปี ดังนั้น ต้นทุนคงที่ (FC) มีค่าเท่ากับ 3,748.83 บาทต่อปี

จากนั้นคำนวณค่าต้นทุนแปรผัน ด้วยการกำหนดอัตราค่าแรงงานเหมาตัดครั้งละ 300 บาท จำนวนคนทำงาน 1 คน ตัดหญ้าปีละ 12 ครั้ง เฉลี่ยตัดหญ้าเดือนละ 1 ครั้ง ในพื้นที่ 10 ไร่ อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงรวม 0.86 ลิตรต่อไร่ ค่าพลังงานเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ 91 หรือ E10 ราคา 36.58 บาทต่อลิตร ค่าบำรุงรักษาวัสดุภายในเครื่อง 120 บาท เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น 3 เดือนต่อครั้ง ประกอบด้วยเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ และรถเครื่องยนต์ขนาดเล็กจำนวน 4 ครั้งต่อปี รวม 200 บาทต่อครั้ง นำไปคำนวณค่าต้นทุนแปรผันดังนี้ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 3,775.06 บาทต่อปี ค่าน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ 800 บาทต่อปี ค่าจ้างแรงงานเท่ากับ 3,600 บาทต่อปี ค่าบำรุงรักษาประมาณ 120 บาทต่อปี ดังนั้น ค่าต้นทุนแปรผัน (VC) จึงมีค่าเท่ากับ 8,295.06 บาทต่อปี จากนั้นทำการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดจากสมการ (7) ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC) จึงมีค่าเท่ากับ 12,043.89 บาทต่อปี เมื่อมีการนำเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ไปทำงานรับจ้างเหมาตัดหญ้าในแปลงเกษตรจริงจะสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าจุดคุ้มทุนได้ โดยอัตราค่าจ้างตัดหญ้าเหมาจ่ายมีค่าเท่ากับ 700 บาทต่อไร่ เมื่อนำเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ไปรับจ้างเหมาหลังหักต้นทุนต่อไร่มีค่าเท่ากับ 618.54 บาทต่อไร่ ทั้งนี้ใช้เวลาทำงาน 21.52 นาทีต่อไร่ ทำงานพื้นที่ 10 ไร่ โดยทำงานเฉลี่ย 3.35 ชั่วโมงต่อวัน เท่ากับเดินเครื่องทำงานใน 1 ปีทำงาน 12 วัน สามารถทำงานได้ 40.20 ชั่วโมงต่อปี สามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้จากสมการ (8) ดังนั้น จะได้ค่าจุดคุ้มทุนเท่ากับ 9.09 ไร่ต่อปี และสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ โดยกำหนดรายได้จากการรับจ้างตัดหญ้าหลังหักต้นทุนค่าใช้จ่ายมีค่าเท่ากับ 618.54 บาทต่อไร่และใน

1 ปี เครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่สามารถทำงานได้ 40.20 ชั่วโมงต่อปี ทำให้มีรายได้เท่ากับ 28,140 บาทต่อปี สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุน ได้เท่ากับ 1.80 ปี หรือ 1 ปี 9 เดือน 18 วัน จากค่าต้นทุนและระยะเวลาคืนทุน เครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่จะช่วยลดค่าจ้างเหมาในการดำเนินงานกำจัดวัชพืช และลดรายจ่ายต่อภาคเกษตรกรรมสำหรับเกษตรกรฐานรากได้เป็นอย่างดี จึงมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ของเกษตรกรที่มีพื้นที่เพาะปลูกขนาดเล็กสำหรับสวนผลไม้ หรือของผู้ประกอบการรายย่อย

สรุป

จากการศึกษาพัฒนาสมรรถนะเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ ได้พัฒนาระบบตัดหญ้าโดยใช้งานร่วมกับรถเครื่องยนต์ขนาดเล็กขนาด 125 ซีซี ในพื้นที่ขนาด 1 ไร่ หาค่าเฉลี่ย 3 ครั้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.86 ลิตรต่อไร่ ระยะเวลาที่ใช้ในการตัดหญ้าเท่ากับ 21.52 นาทีต่อไร่ หรือทำงาน 1 ชั่วโมงจะสามารถตัดหญ้าได้พื้นที่ 2.79 ไร่ต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตัดหญ้าสะพายบามีสมรรถนะการทำงานมากกว่าร้อยละ 52.18 และได้คำนวณสมรรถนะความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เมื่อลงทุนจัดสร้างเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่ 29,000 บาท เมื่อทำงาน 12 วันต่อปี จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 9.09 ไร่ต่อปี และสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.80 ปี หรือประมาณ 1 ปี 9 เดือน 18 วัน ซึ่งเครื่องตัดหญ้าทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่จะช่วยลดค่าจ้างเหมาในการดำเนินงานกำจัดวัชพืช และลดรายจ่ายต่อภาคเกษตรกรรมสำหรับเกษตรกรฐานรากได้เป็นอย่างดี จึงมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ของเกษตรกรที่มีพื้นที่แปลงเพาะปลูกขนาดเล็กสำหรับสวนผลไม้

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยจะยังคงพบปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่อยู่บ้าง เนื่องจากการควบคุมเป็นการลากจูงส่งผลให้การควบคุมทิศทางหรือแนวการตัดหญ้าทำได้ยาก ในพื้นที่ที่มีความคดเคี้ยวจึงสามารถตัดการตัดให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้ยาก และเนื่องจากโครงสร้างทางลากใบพัดแรงเหวี่ยงคู่มีน้ำหนักมาก ถ้านำไปทำงานในพื้นที่ที่ดินไม่แข็งมากนัก ล้ออาจจะจมดินลงไปได้ และจะส่งผลให้ใบตัดกระแทกกับพื้นดิน จึงมีข้อจำกัดสำหรับพื้นที่ใช้งานควรเป็นแปลงเกษตรที่มีดินแข็ง ไม่อู้น้ำมาก และพื้นที่ลาดชันไม่มากนัก ในงานวิจัยต่อไปจึงควรทำการพัฒนาระบบลากจูงให้มีความสัมพันธ์กับรถลากได้ดีขึ้น เกิดการแกว่งน้อยลง ควรลดน้ำหนักโครงสร้างให้น้อยลง และพิจารณาความเร็วของใบตัดที่ส่งผลต่อความสมบูรณ์ในการตัดด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่ให้การสนับสนุนในด้านของอุปกรณ์ทดสอบ และวัสดุที่ใช้สำหรับการทดสอบ รวมทั้งให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- กนกกัญญากรณ์ พรพราชจรกุล, ชาญวิทย์ ราชกระโทก, เตมีย์ วงษ์ศรี, และศุภวัชร นิยมพันธุ์. (2563). รถตัดหญ้าบังคับวิทยุ. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 5(2), 51-60.
- กรมบัญชีกลาง. (2557). *หลักเกณฑ์การคำนวณราคาสินทรัพย์ถาวรสำหรับหน่วยงานภาครัฐ*. สืบค้นจาก <http://med.swu.ac.th/supplies/images/V238.pdf>
- ไกรสร รวยป้อม, และสุรพงษ์ โช้ทอง. (2557). *เครื่องตัดหญ้าแบบใบมีดทรงกระบอกติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก*. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.
- คมกริช จิตตา, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, และสิรินาญ น้อยพิทักษ์. (2565). การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไร้สาย. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 28(1), 15-24.
- ชนาธิป กาลจักร, และคณิศร ภูนิคม. (2562). การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการตัดหญ้าเนเปียร์. *วารสารเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 5(2), 20-26.
- ชัยณรงค์ หล่มช่างคำ, จักรพันธ์ ออบมา, และประสิทธิ์ โสภา. (2565). การออกแบบและพัฒนารถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 8(1), 12-20.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2566). *อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ*. สืบค้นจาก https://www.bot.or.th/thai/statistics/_layouts/application/interest_rate/in_rate.
- ธนัชสันต์ พูนไพบูลย์พิพัฒน์, และมณฑิตา วะชู. (2563). ประสิทธิภาพของสารกำจัดวัชพืชบางชนิดต่อการควบคุมเห็บหมัดและความเป็นพิษต่อข้าวโพด. *วารสารเกษตรนเรศวร*, 17(1), 48-57.
- วรวิมล สุวรรณเรือง, จารุพล สุริยวนากุล, ญญิวิวัฒน์ พลดี, เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต, และสุจินต์ บุรีรัตน์. (2564). *เครื่องตัดต่อซังข้าว*. *วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 21(4), 157-170.
- ศิริเชษฐ์ กองแก้ว, สิงห์รัฐ ชารี, ประไพพรรณ สิทธิกุล, บัณฑิต ทองสร้อย, และกฤษณ์ ผลโพธิ์. (2564). การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดวัชพืชในแปลงข้าวโพดหวาน. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 27(2), 12-18.
- สุวิพงษ์ เหมะจุลิน. (2561). *การพัฒนาเครื่องตัดใบข้าวแบบสะพายป่าขนาดเล็ก*. สกลนคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

สุวิพงษ์ เหมะอุธิน และณัฐดนัย พรพรรณเจริญวงศ์. (2561). การพัฒนาเครื่องตัดใบข้าวเพื่อลดการสั่นสะเทือน.
วารสารวิจัยราชชมงคลกรุงเทพ, 12(2), 60-72.

การผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ธนากร เมียงอารมณ^{1*} ธิติมา เกตุแก้ว²

Received : September 7, 2023

Revised : January 28, 2024

Accepted : February 27, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของธูปฤาษี และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัด 2) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และ 3) ประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์จากวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยศึกษาอัตราส่วนของธูปฤาษีและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัด 5 อัตราส่วน ได้แก่ 1) ธูปฤาษี 90 กรัม : กาวพีวีเอ 100 กรัม 2) ธูปฤาษี 50 กรัม : ฟางข้าว 30 กรัม : กาวพีวีเอ 100 กรัม 3) ธูปฤาษี 50 กรัม : ฟางข้าว 30 กรัม : แกลบ 10 กรัม : กาวพีวีเอ 100 กรัม 4) ธูปฤาษี 70 กรัม : ฟางข้าว 20 กรัม : กาวพีวีเอ 100 กรัม และ 5) ธูปฤาษี 70 กรัม : ฟางข้าว 20 กรัม : แกลบ 10 กรัม : กาวพีวีเอ 100 กรัม ผลการวิจัย พบว่า วัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทั้ง 5 อัตราส่วน มีลักษณะสีตาลอ่อนถึงเข้ม ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนที่ 3 มีความหนาแน่น 605.21 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความชื้นร้อยละ 12.78 การพองตัวตามความหนาร้อยละ 18.05 ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547 ส่วนความต้านทานแรงดึงต่ำกว่ากับผิวหน้ามีค่ามากที่สุดที่ 0.37 เมกะปาสคาล และนำวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้แก่ ที่วางโทรศัพท์มือถือ กล่องใส่ของของเนกประสงค์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับธูปฤาษีและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

คำสำคัญ: ธูปฤาษี ไม้อัด วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อีเมล: thanakorn.m@dru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อีเมล: thitima.k@dru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: thanakorn.m@dru.ac.th

PRODUCTION OF WOOD-SUBSTITUTED PARTICLE BOARD FROM CATTAIL AND AGRICULTURAL WASTES

Thanakorn Miengarrom^{1*} Thitima Ketkaew²

Abstract

The objectives of this research were to 1) study the optimum ratios of cattail and agricultural wastes in the production of wood-substituted particle board, 2) study the properties of wood-substituted particle board derived from cattail and agricultural wastes, and 3) develop wood-substituted particle board products by examining five ratios of cattail and agricultural wastes in the production process: 1) cattail 90 g : PVA glue 100 g, 2) cattail 50 g : rice straw 30 g : PVA glue 100 g, 3) cattail 50 g : rice straw 30 g : husk 10 g : PVA glue 100 g, 4) cattail 70 g : rice straw 20 g : husk 10g : PVA glue 100 g, and 5) cattail 70 g : rice straw 20 g : PVA glue 100 g. The results showed that wood-substituted particle board from cattail and agricultural waste in all five ratios possesses a light to dark brown appearance, smooth texture, strong adhesion, and no material fall-off. The best ratio was the third one, in which the properties of the particle boards were as follows: a density of 605.21 mg/m³, a moisture content of 12.78% , and a thickness swelling of 18.05% . These three properties meet the requirements of the Thai Industrial Standard (TIS. 966-2547). The internal bonding was found to be the highest at 0.37 MPa. The particle boards from cattail and agricultural wastes could be used as raw materials to produce prototype products including mobile phone holders and multipurpose boxes which are environmentally friendly and add value to cattail and agricultural wastes.

Keywords: Cattail, Particle board, Agriculture wastes

¹ Lecturer of Industrial Management Technology Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, e-mail: thanakorn.m@dru.ac.th

² Lecturer of Environmental Management Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, e-mail: thitima.k@dru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: thanakorn.m@dru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันการผลิตไม้อัดหรือไม้บาง มีความต้องการในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์อย่างมาก โดยมีการผลิตควบคู่กันกับไม้จริงเพื่อใช้งานทั้งในประเทศและการส่งออก โดยอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์จะใช้ไม้จริงเป็นวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ไม้สัก ไม้ยาง ไม้ชิงชัน ไม้ประดู่ ไม้ตองจิง ไม้จำปา ไม้สยา และไม้กะบาก (สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลผลิตป่าไม้, 2548) ซึ่งส่งผลให้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัดถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว ทั้งยังมีแนวโน้มความต้องการบริโภคไม้เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการ แม้ว่าไม้จะเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถปลูกเพิ่มและฟื้นฟูได้ แต่ต้องใช้ระยะเวลานานในการเจริญเติบโต ซึ่งจากการค้นคว้าผลงานทางวิชาการพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านพยายามนำวัสดุชนิดอื่นมาใช้ทดแทนไม้ เช่น ขยะประเภทกระดาษและพลาสติก วัชพืช และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นแผ่นไม้อัด (ณัชกรภรณ์ จรรย์การพัฒน์ และสาลินี อาจารย์, 2561) เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ และใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติอย่างคุ้มค่า ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวมด้วยโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Bio-Circular-Green (BCG) Economy)

รูปถ่ายหรือที่เรียกว่าหญ้าปรีอ (ภาคกลาง), หญ้าสลาบลวง หญ้าสะลาบลวง (ภาคเหนือ), ปรีอ (ภาคใต้) พบในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ในประเทศไทยพบได้ในทุกภาค ขึ้นตามหนองน้ำหรือทะเลสาบ และขึ้นหนาแน่นตามหนองน้ำที่เปิดโล่ง (สำนักงานหอพรรณไม้, 2559) โดยรูปถ่ายมีข้อดี คือ ระบบรากที่ดีช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดินในไม้ยืนต้น เพื่อลดการสูญเสียน้ำออกจากผิวดินหรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ ใบเหนียวนิ่มใช้มุงหลังคา ใช้ทำเครื่องจักสาน แต่เนื่องจากรูปถ่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้ในปัจจุบันมีการแพร่กระจายทั่วประเทศไทย จึงเป็นวัชพืชที่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านนิเวศวิทยา ด้านเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องหาวิธีการกำจัดรูปถ่ายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อชุมชน ซึ่งจากข้อดีของรูปถ่าย จึงได้มีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ รวมไปถึงการนำมาพัฒนาเป็นแผ่นอัด (ทศพร โพธิ์เนียม, 2559)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม นิยมเพาะปลูก ข้าว อ้อย ข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ ซึ่งมีมูลค่า 7.63 แสนล้านบาท (กองวิจัยและพัฒนาางส่งเสริมการเกษตร, 2563) โดยในกระบวนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวจะมีเศษเหลือทิ้งหรือเศษเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิเช่น เศษไม้ ยางพารา ทะลาย กะลาปาล์มน้ำมัน กะลามะพร้าว แกลบ ฟางข้าว กากอ้อย ชังข้าวโพด และเห้งมันสำปะหลัง จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ (สุวภัทร ศรีสังข์, 2560) จากการศึกษาการผลิตไม้อัดจากตะไคร้และฟางข้าว พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้ไม่มีกลิ่นและสีของการไหม้ ผิวแผ่นเนียนเรียบ ไม่มีการกระจุกตัวของวัสดุ ไม่มีการโก่งตัวหรือบิดงอ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติ

ทางกลของแผ่นเทียบกับมาตรฐานมีค่าผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐาน มอก.876-2547 (จารุณี เข้มพิลา และคณะ, 2562) จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปธูปยี่สิบสามวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และศึกษาคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการเพิ่มมูลค่ารวมทั้งช่วยลดการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของธูปธูปยี่สิบสาม และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปธูปยี่สิบสามและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
3. เพื่อประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์จากวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปธูปยี่สิบสามวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แผนการวิจัย

1.1 จัดเตรียมวัสดุทดลอง ได้แก่ ต้นธูปธูปยี่สิบสาม ฟางข้าว แกลบ และกาวโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly vinyl alcohol หรือ PVA)

1.2 เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปเครื่องชั่งละเอียด แบบดิจิตอล เตาให้ความร้อน ตู้อบลมร้อน ตู้ดูดความชื้น เครื่องสับย่อย เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์ อุปกรณ์เครื่องแก้ว ได้แก่ บีเกอร์ แท่งแก้ว กระจกบด และอุปกรณ์สำหรับเตรียมวัตถุดิบ

1.3 ออกแบบและทดลองโดยกำหนดอัตราส่วนการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปธูปยี่สิบสามวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจำนวน 5 อัตราส่วน ซึ่งแต่ละอัตราส่วนทำการทดลองซ้ำ

1.4 ทดสอบคุณสมบัติวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปธูปยี่สิบสามและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวตามความหนา และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งชุดข้อมูลที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ รวมทั้งเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 966-2547

2. การดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของต้นธูปธูปยี่สิบสาม ทำการเลือกต้นธูปธูปยี่สิบสามที่โตเต็มที่จะมีลักษณะต้นสีเขียวเข้มสดโดยใช้เฉพาะส่วนก้านของต้นธูปธูปยี่สิบสาม

2.2 ทดลองอัตราส่วนการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปธูปยี่สิบสามวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกำหนดอัตราส่วนผสมของต้นธูปธูปยี่สิบสาม แล้วทำการแปรผันปริมาณธูปธูปยี่สิบสาม ฟางข้าว และแกลบ (ทศพร โพธิ์เนียม, 2559) ในการทดลองใช้กาวโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly vinyl alcohol) เป็นตัวประสาน

เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย มีคุณสมบัติการเกิดฟลัม มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ความชื้นต่ำ และทนการกัดกร่อนได้ดีกว่ากาวลาเท็กซ์ (Polyvinyl acetate) (Ramaraj, 2007)

2.3 การเตรียมต้นรูปภาชี ฟางข้าว และแกลบ มีขั้นตอนการเตรียมวัสดุจากธรรมชาติดังนี้ ตัดต้นรูปภาชีให้มีความยาว 2 นิ้ว ตัดฟางข้าวยาว 5 นิ้ว และแกลบ ใส่เครื่องสับย่อยจากนั้นนำวัสดุทั้ง 3 ชนิด จากนั้นนำไปเข้าตูบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำใส่ถุงซิปล็อคไว้ในตู้ดูดความชื้น ดังแสดงในภาพที่ 1

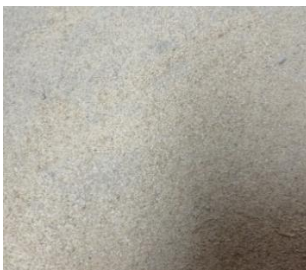
2.4 การเตรียมกาวโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly vinyl alcohol หรือ PVA) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น สามารถละลายน้ำได้หลากหลาย และมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะ โดยทำการชั่งสารโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 กรัม ผสมกับน้ำ 80 มิลลิลิตร จากนั้นกวนสารโพลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำบนเตาให้ความร้อนจนได้ของเหลวที่มีลักษณะเหมือนกาว



(1)



(2)



(3)



(4)

ภาพที่ 1 วัสดุจากเกษตรกรรมต้นรูปภาชี ฟางข้าว แกลบ และกาวโพลิไวนิลแอลกอฮอล์

2.5 การผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปภาชีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทำการชั่งต้นรูปภาชี ฟางข้าว แกลบ และกาวโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมวัตถุดิบในอ่างผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำแผ่นรองอัดขึ้นรูปมารองด้วยแผ่นพลาสติกทนร้อน เทส่วนผสมลงแผ่นเตรียมอัดขึ้นรูปขนาด 20x20 เซนติเมตร เกลี่ยส่วนผสมให้กระจายเต็มแผ่น วางแผ่นพลาสติกทนความร้อน และแผ่นรองอัดปิดด้านบนบนแผ่นเพื่อเตรียมอัดขึ้นรูป นำแผ่นเตรียมอัดขึ้นรูปเข้าเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นเตรียมอัดออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง ทำการแกะแผ่นไม้อัดจากส่วนผสมของต้นรูปภาชี ฟางข้าว และแกลบ จากนั้นเก็บ

แผ่นขึ้นไม้อัดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เพื่อปรับสถานะแผ่นไม้อัดก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวตามความหนา และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

2.6 การทดสอบคุณสมบัติ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปาชีและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง มอก.966-2547 ดังนี้

2.6.1 ความหนาแน่น (Density)

- 1) ชั่งขึ้นทดสอบให้ได้มวลที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม
- 2) วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของขึ้นทดสอบด้วยไมโครมิเตอร์ตามภาพที่ 3
- 3) วัดความกว้างและความยาวของขึ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของขึ้นทดสอบประมาณ 45 องศา ดังแสดงภาพที่ 3

- 4) คำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสมการที่ (1)

$$\text{ความหนาแน่น (mg/m}^3\text{)} = \left(\frac{m}{v} \right) \times 10^{-3} \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลของขึ้นทดสอบ (กรัม)

v คือ ปริมาตรของขึ้นทดสอบ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

2.6.2 ความชื้น (Moisture Content)

- 1) ชั่งขึ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบความหนาแน่นแล้วให้ได้มวลที่แน่นอน ถึง 0.01 กรัม เป็นมวลของขึ้นทดสอบก่อนอบ

- 2) อบขึ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนได้มวลคงที่ คือ มวลของขึ้นทดสอบเมื่อชั่ง 2 ครั้งทีเวลาห่างกัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกินร้อยละ 0.1 ของมวลของขึ้นทดสอบ

- 3) นำแผ่นไม้อัดมาใส่ในตู้ดูดความชื้นปล่อยให้เย็น

- 4) นำขึ้นทดสอบซึ่งนำหนักมวลหลังอบแห้งเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้น

- 5) คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากสมการที่ (2)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ m_1 คือ มวลของขึ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

m_2 คือ มวลของขึ้นทดสอบหลังอบ (กรัม)

2.6.3 การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling)

- 1) ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามภาพที่ 3 วัดความหนาของขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำสะอาด

2) แซ่ขึ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส โดยตั้งขึ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

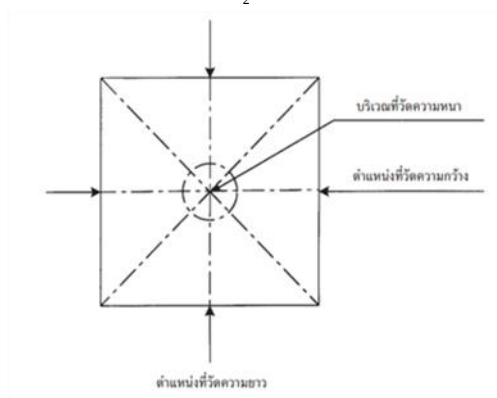
3) แซ่ขึ้นทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกด้วยผ้าหมาด จากนั้นวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

4) คำนวณหาค่าการพองตัวตามความหนาจากสมการที่ (3)

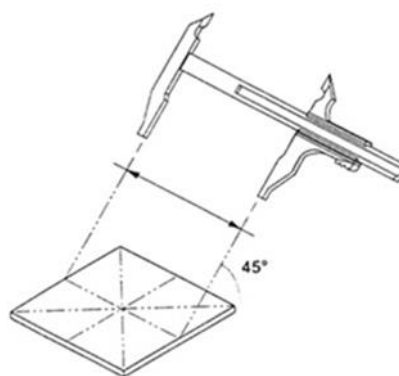
$$\text{การพองตัวตามความหนา (\%)} = \left(\frac{t_1 - t_2}{t_1} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ t_1 คือ ความหนาของขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 คือ ความหนาของขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)



(1)



(2)

ภาพที่ 3 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของขึ้นทดสอบ
(สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

2.6.4 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวน้ำ (Tensile strength perpendicular to internal bonding)

1) ตัดผิวน้ำทั้งสองของขึ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่ให้แรงยึดระหว่างขึ้นทดสอบกับแผ่นดึงได้มากกว่าแรงยึดตัวในขึ้นทดสอบ

2) นำขึ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ขึ้นทดสอบแยกออกจากกันอัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งขึ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 90 วินาที แต่ไม่มากกว่า 180 วินาที ด้วยความเร็วในการดึง 2 มิลลิเมตรต่อนาที

3) วิธีคำนวณหาความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวน้ำจากสมการที่ (4)

$$\text{ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa)} = \frac{F}{W \times L} \quad (4)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)

W คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

2.7 การประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์จากวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปยาธิผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.7.1 การประดิษฐ์ที่วางของโทรศัพท์มือถือ ทำการตัดแผ่นชิ้นวัสดุทดแทนไม้อัดเป็นแผ่นวางตามแบบขนาด 15.3×8.0 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น และเป็นฐานของที่วางขนาด 9.3×7.8 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น แล้วนำทั้ง 2 แผ่น มาประกอบกัน

2.7.2 การประดิษฐ์กล่องใส่ของอเนกประสงค์ ตัดแผ่นชิ้นวัสดุทดแทนไม้อัด เป็นฐานตามแบบขนาด 8.0×8.0 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น และเป็นด้านข้างของกล่องขนาด 4.5×8.0 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น แล้วนำมาประกอบกัน

3. การวิเคราะห์และสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปยาธิผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ลักษณะทั่วไป ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวตามความหนา และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มาเทียบกับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง มอก. 966-2547 และวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น ค่าการพองตัวตามความหนา โดยมีค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และสำหรับค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

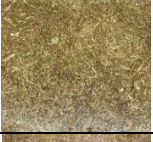
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปยาธิผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีกระบวนการในการศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประกอบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. ผลศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของธูปยาธิและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัด

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมของธูปยาธิและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดทั้ง 5 อัตราส่วนของปริมาณผสมวัสดุจากธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด ลักษณะทางกายภาพของแผ่นไม้อัด และภาพประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 1

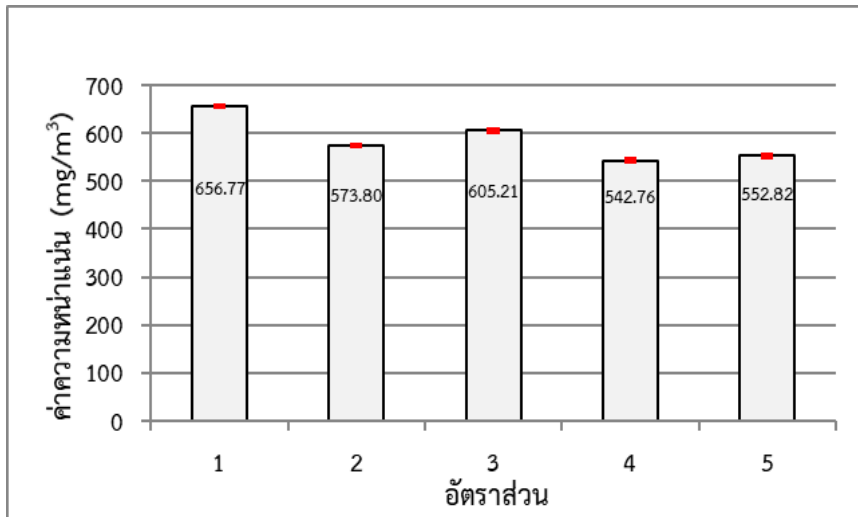
ตารางที่ 1 อัตราส่วนและลักษณะของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตไม้อัด

อัตราส่วน	ปริมาณผสมวัสดุจากธรรมชาติ (กรัม)				ลักษณะทางกายภาพ	ภาพแผ่นไม้อัด
	รูปถั่วลิสง	ฟางข้าว	แกลบ	กาวพีวีเอ		
1	90	-	-	100	สีน้ำตาลเข้ม ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา	
2	50	30	-	100	น้ำตาล ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา	
3	50	30	10	100	สีน้ำตาลเข้ม ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา	
4	70	20	-	100	สีน้ำตาลเข้ม ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา	
5	70	20	10	100	สีน้ำตาล ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา	

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปถั่วลิสงผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.1 ค่าความหนาแน่น

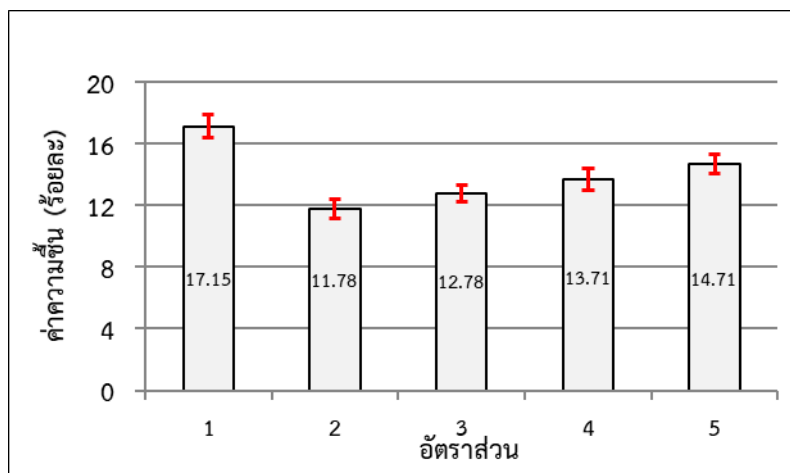
จากการนำวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปถั่วลิสงผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทั้ง 5 อัตราส่วน โดยมีความหนาของแผ่นวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปถั่วลิสงผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ขนาด 6 มิลลิเมตรมาทดสอบคุณสมบัติ (สมคณ เกียรติกิจ และคณะ, 2565) แล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง มอก.966-2547 มีผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่า วัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปถั่วลิสงผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อัตราส่วนที่ 1 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดรองลงมาอัตราส่วนที่ 3 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 656.77 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร 605.21 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ อัตราส่วนที่ 4 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุด 542.76 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณเส้นใยมากแต่ปริมาณกาวน้อยเกินไปทำให้การจับตัวของเส้นใยไม่ดี แต่ในอัตราส่วนที่ 5 เมื่อเพิ่มแกลบที่มีความละเอียดทำให้เกิดการจับตัวกันได้ดีขึ้น จากการทดสอบค่าความหนาแน่นของวัสดุพบว่าอัตราส่วนทั้ง 5 อัตราส่วน เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานมอก. 966-2547 ที่กำหนดเกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่น 400–800 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4 ค่าความหนาแน่นของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.2 ค่าความชื้น

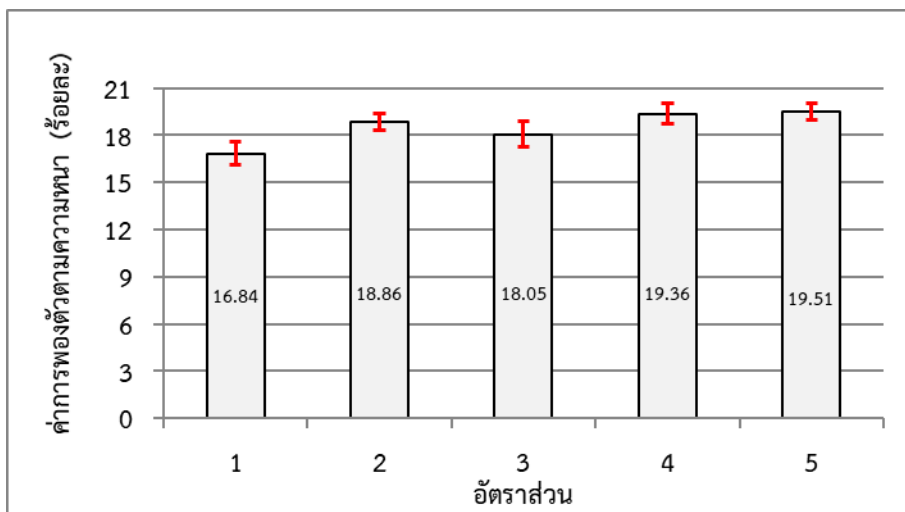
จากการทดสอบหาค่าความชื้น พบว่า วัสดุทดแทนไม้อัดอัตราส่วนที่ 1 มีความชื้นเฉลี่ยมากที่สุด ร้อยละ 17.15 รองมา คือ อัตราส่วนที่ 5 มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 14.71 ส่วนอัตราส่วนที่ 2 มีความชื้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ร้อยละ 11.78 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 เมื่อนำผลการทดสอบค่าความชื้นของวัสดุทดแทนไม้อัดเทียบกับมาตรฐาน มอก. 966-2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) พบว่า อัตราส่วนที่ 2 และ 3 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานซึ่งกำหนดค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 4-13 สำหรับอัตราส่วนที่ 1 4 และ 5 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด



ภาพที่ 5 ค่าความชื้นของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.3 ค่าการพองตัวตามความหนา

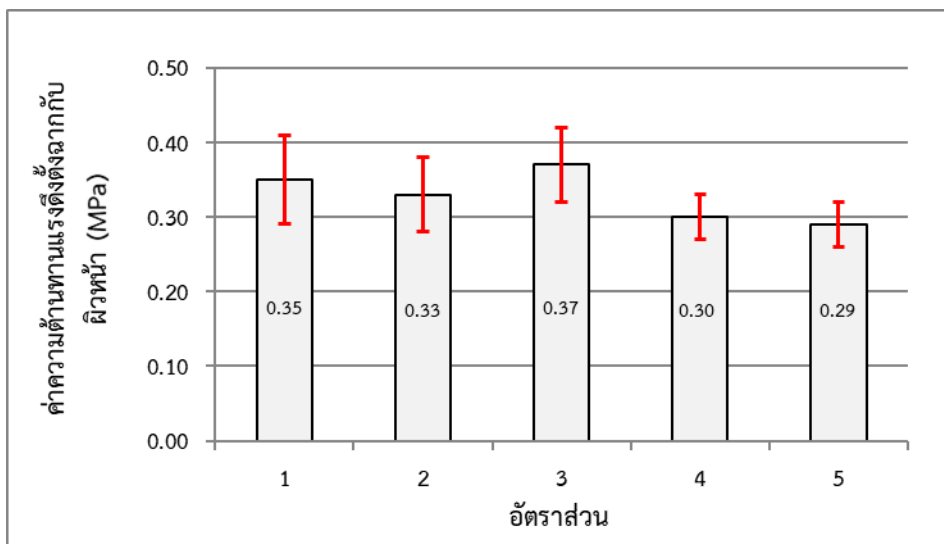
จากการทดสอบหาค่าการพองตัวตามความหนาของวัสดุ พบว่า วัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอัตราส่วนที่ 5 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยมากที่สุด ร้อยละ 19.51 รองลงมา คือ อัตราส่วนที่ 4 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 19.36 ส่วนอัตราส่วนที่ 1 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยน้อยที่สุดร้อยละ 16.84 ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งค่าการพองตัวตามความหนาของไม้อัดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของอัตราส่วนธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากขึ้น เมื่อนำผลการทดสอบค่าการพองตัวตามความหนาของวัสดุทดแทนไม้อัดเทียบกับมาตรฐานตามเกณฑ์มาตรฐานมอก. 966-2547 พบว่า อัตราส่วนวัสดุทดแทนไม้อัดทั้ง 5 อัตราส่วนเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ความหนาแผ่นตัวอย่างไม่เกินร้อยละ 30 เนื่องจากส่วนผสมจากกาวยาโพลิไวเนลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการเกิดฟิล์มในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำทำให้มีค่าการพองตัวตามความหนาที่ต่ำ



ภาพที่ 6 ค่าการพองตัวตามความหนาของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2.4 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

จากการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่า วัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอัตราส่วนที่ 3 มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยมากที่สุด 0.37 เมกะปาสคาล (MPa) รองลงมา คือ อัตราส่วนที่ 1 มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.35 MPa ส่วนอัตราส่วนที่ 5 มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.29 MPa ดังแสดงในภาพที่ 7 เมื่อนำผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของวัสดุทดแทนไม้อัดเทียบกับมาตรฐานตามเกณฑ์มาตรฐานมอก. 966-2547 พบว่า ไม้อัดทั้ง 5 อัตราส่วนผสมไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 0.65 MPa เมื่อทดสอบการดึงมีการหลุดของแผ่นไม้อัดบริเวณชั้นผิวหน้า เนื่องจากแผ่นไม้อัดมีลักษณะผิวหน้าหยาบทำให้การยึดติดได้ไม่ดี



ภาพที่ 7 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปภาซีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

การอัดขึ้นรูปแผ่นวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปภาซีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทั้ง 5 อัตราส่วน พบว่าอัตราส่วนที่ 3 รูปภาซี 50 กรัม ฟางข้าว 30 กรัม แกลบ 10 กรัม และกาวพีวีเอ 100 กรัม มีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าการพองตัวตามความหนา ผ่านมาตรฐาน ทำให้แผ่นวัสดุทดแทนไม้อัด มีความแข็งแรง และทนความชื้น ส่วนความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีค่ามากที่สุด ดังแสดงผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปภาซีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

อัตราส่วน	ความหนาแน่น (mg/m ³)	ความชื้น (%)	การพองตัวตาม ความหนา (%)	ความต้านทานแรง ดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa)
มอก. 966-2547	400 - 800	4.00 - 13.00	ไม่เกิน 30	ไม่น้อยกว่า 0.65
อัตราส่วนที่ 1	656.77	17.15	16.84	0.35
อัตราส่วนที่ 2	573.80	11.78	18.86	0.33
อัตราส่วนที่ 3	605.21	12.78	18.05	0.37
อัตราส่วนที่ 4	542.76	13.71	19.36	0.30
อัตราส่วนที่ 5	552.82	14.71	19.51	0.29

จากการนำผลทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทั้ง 5 อัตราส่วนมาวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: One-Way ANOVA) ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences : SPSS พบว่า ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น ค่าการพองตัวตามความหนา ค่าเฉลี่ยทางสถิติ $p < 0.05$ สำหรับค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ ดังแสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

การทดสอบ	แหล่งความแปรปรวน	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาอิสระ (df)	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (MS)	ค่าตัวสถิติ (F)	Sig.
ค่าความหนาแน่น	ระหว่างกลุ่ม	25,492.150	4	6,373.038	6,863.799	0.000
	ภายในกลุ่ม	9.285	10	0.928		
	ผลรวม	25,501.435	14			
ค่าความชื้น	ระหว่างกลุ่ม	50.902	4	12.726	29.214	0.000
	ภายในกลุ่ม	4.356	10	0.436		
	ผลรวม	55.259	14			
ค่าการพองตัวตามความหนา	ระหว่างกลุ่ม	14.551	4	3.638	8.661	0.003
	ภายในกลุ่ม	4.200	10	0.420		
	ผลรวม	18.751	14			
ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	ระหว่างกลุ่ม	0.012	4	0.003	1.397	0.303
	ภายในกลุ่ม	0.022	10	0.002		
	ผลรวม	0.034	14			

3. การประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์จากวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

จากการนำวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอัตราส่วนที่ 3 ซึ่งมีผิวสัมผัสเรียบ สีสนธรรมชาติ มีการยึดติดแน่น ไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา และมีคุณสมบัติของวัสดุที่เหมาะสมเพื่อนำมาประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้แก่ ที่วางโทรศัพท์มือถือและกล่องใส่ของอเนกประสงค์ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์จากวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษี

สรุป

การวิจัยเรื่องการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้ง 5 อัตราส่วน มีลักษณะทางกายภาพ คือ สีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ผิวสัมผัสเรียบ มีการยึดติดแน่นไม่มีเศษวัสดุหลุดออกมา และเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้อัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางตามมาตรฐาน มอก.966-2547 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 542.76–656.77 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยวัสดุทดแทนไม้อัดที่มีความหนาแน่นสูงเป็นผลมาจากการผสมของธูปฤาษีกับกาวพีวีเอในปริมาณที่เหมาะสม สอดคล้องกับงานวิจัยของไมมุน อินตัน และคณะ (2560) ที่ว่าการใช้อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเส้นใยและกาวที่เหมาะสมจะทำให้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นใยอัดที่มีความหนาแน่นสูง ค่าความชื้นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 11.78–17.15 ซึ่งอัตราส่วนที่ 2 และ 3 เป็นไปตามมาตรฐานเนื่องจากมีส่วนผสมของฟางข้าวที่มีคุณสมบัติการดูดซับน้ำทำให้มีค่าความชื้นต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทศพร โพธิ์เนียม (2559) พบว่าการเติมสารพาราฟินอิมัลชันซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้เกิดจากปฏิกิริยาของพาราฟินและสารลดแรงตึงผิวโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีและเป็นสารเคลือบผิวกันซึมช่วยลดการดูดซึมของน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับกาวพีวีเอที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้อัด ค่าการพองตัวตามความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 16.84–19.36 เป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากอัตราส่วนทั้ง 5 มีส่วนผสมของธูปฤาษีที่มีเนื้อเยื่อกลางลำต้นผสมทำให้อนุภาคน้ำเข้าไปแทรกในเส้นใยทำให้เกิดการพองตัวได้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของจารุณี เข้มพิลลา (2562) ที่ว่าต้นข้าวเป็นพืชที่มีเนื้อเยื่อกลางลำต้น ดังนั้นเมื่อมีฟางข้าวเป็นส่วนผสมในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้อนุภาคของน้ำเข้าไปแทรกในเส้นใยและสามารถพองตัวได้มาก และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของอัตราส่วนทั้ง 5 เฉลี่ย 0.29–0.37 MPa ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากความหยาบของวัสดุทำให้การยึดติดกันของแผ่นไม้อัดของขึ้นทดสอบไม่ดี เมื่อทำการดึงขึ้นทดสอบมีการหลุดบริเวณชั้นผิวหน้าขึ้นทดสอบเป็นผลจากความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าต่ำ เมื่อส่วนผสมของแกลบและฟางข้าวลดลงทำให้การยึดเกาะกันของวัสดุในโครงสร้างน้อยลง เป็นสาเหตุให้แผ่นไม้อัดที่มีความแข็งแรงดิ่งน้อยกว่าหรือมีความสามารถต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่าได้น้อย

ดังนั้นสำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนที่ 3 มีอัตราส่วนผสมของธูปฤาษี 50 กรัม ฟางข้าว 30 กรัม แกลบ 10 กรัม และกาวพีวีเอ 100 กรัม ซึ่งมีค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และการพองตัวตามความหนาแน่น ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง มอก.966-2547 และมีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีค่ามากที่สุด มาประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้แก่ ที่วางโทรศัพท์มือถือและกล่องใส่ของอเนกประสงค์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับธูปฤาษีและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากธูปฤาษีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรควรทำการศึกษาแผ่นไม้อัดจากธูปฤาษีจากวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติประเภทอื่น ๆ และปรับปรุงคุณสมบัติด้านค่าความต้านทาน

แรงดึงดูดจากกับผิวหน้าให้มีค่าสูงขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.966-2547 รวมถึงทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบในอัตราส่วนอื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลของอัตราส่วนผสมของรูปถาชี ฟางข้าว และแกลบ ที่ช่วยให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ในการประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากอัตราส่วนที่เหมาะสมของงานวิจัยเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปควรทดลองประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่

กิตติกรรมประกาศ

ทุนสนับสนุนงานวิจัยเรื่องการผลิตวัสดุทดแทนไม้อัดจากรูปถาชีผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สัญญาเลขที่ 38/2564

เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนางานส่งเสริมการเกษตร. (2563). สรุปผลการดำเนินงานโครงการรวมพลังสร้างมูลค่าจากไร่นาสู่สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน กิจกรรมเฉลิมพระเกียรติ เนื่องในโอกาสมหามงคลพระราชพิธีบรมราชาภิเษก กรมส่งเสริมการเกษตร. กรมส่งเสริมการเกษตร.

จารุณี เข้มพิลา, ชญานิศ นามไพร, และอลิษา แก้วใส. (2562). การผลิตไม้อัดจากตระไคร้และฟางข้าว.

วารสารวิชาการปทุมวัน, 9(24), 1-15.

ณัชชกรณณ์ จริญญาพัฒน์, และสาลินี อาจารีย์. (2561). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28(2), 469-476.

ทศพร โพธิ์เนียม. (2559). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นรูปถาชีและการประยุกต์ใช้สำหรับงานประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ไมมูน อินตัน, มัรณิ เล็ง, อาฟิซา คามิ, อุดุลย์สมาน สุขแก้ว, และดาริกา จาเอาะ. (2560). อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟางอัดจากเส้นใยฟางข้าว. การประชุมราชภัฏวิชาการ 2560: รายงานการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช (น. 383-387), นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

สุภัทธร ศรีสังข์. (2560). ศูนย์เรียนรู้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

สมคน เกียรติก้อง, ศุภลักษณ์ ใจเรือง, วิวัฒน์ คลังวิจิตร. (2565). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืชเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างผนังอาคาร. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 17(3), 113-125.

สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลผลิตป่าไม้. (2548). ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย. กรมป่าไม้.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). แผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง มอก.966-2547. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป. เล่มที่ 121 ตอนที่ 63ง, วันที่ 5 สิงหาคม 2547.

สำนักงานหอพรรณไม้. (2559). รูปถาชี. สืบค้นจาก <https://www.dnp.go.th/Botany/detail.aspx?words=group>.

Ramaraj, B. (2007). Crosslinked poly (vinyl alcohol) and starch composite films: physicochemical, thermal properties and swelling studies. *Journal of Polymer Science*, 103, 909-916.

ภาคผนวก

[ชื่อเรื่องบทความวิจัยภาษาไทย (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง)]

[ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]^{1*} [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]² [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]³

บทคัดย่อ

บทคัดย่อ ควรจะสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยใช้จำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 point จัดกระจายแบบไทย “ชื่อเรื่อง” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด และให้อธิบายสาระสำคัญของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ “ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลพร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก หากมีผู้นิพนธ์บทความมากกว่าหนึ่งท่านให้ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์พร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ และใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความไว้ในเชิงอรรถส่วนล่างของกระดาษ โดยระบุตำแหน่งทางวิชาการหรือตำแหน่งทางบริหาร(ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกคน เช่น ¹ นักศึกษาระดับ ... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ อาจารย์... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่.... อีเมล: ... * ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล:รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวเอียง ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ.....

คำสำคัญ : คำสำคัญ คำสำคัญ คำสำคัญ

¹ นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

³ เจ้าหน้าที่การเงิน บริษัท ธุรกิจการพิมพ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี อีเมล :

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล :

[First A. Author1]^{1*} [Second B. Author2]² [Third C. Author3]³

Abstract must be written in Thai and English, within a maximum of 350 words for each language.

language.

* Corresponding author, e-mail :

บทนำ

[บทนำ เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย].....
 (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

[วัตถุประสงค์ของการวิจัย เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การ
 ศึกษาวิจัย]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วิธีดำเนินการวิจัย

[วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่ม
 ตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์
 ข้อมูล]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

[ผลการวิจัยและอภิปรายผล ควรเสนอผลที่ชัดเจน ตรงประเด็น เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็น
 ลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย] ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มี
 เส้นขอบตารางด้านซ้ายและด้านขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5
 ตาราง และมีคำอธิบายตาราง เช่น

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ชื่อบทความ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
สถานที่ติดต่อ(ระบุในเชิงบรรณ)	TH SarabunPSK, 12	เอียง, ปกติ
บทคัดย่อ / Abstract	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
คำสำคัญ / Keywords	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
หัวข้อหลัก	TH SarabunPSK, 14	หนา
หัวข้อย่อย	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เนื้อความทั่วไป	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร (ต่อ)

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ตารางและภาพ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
กิตติกรรมประกาศ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เอกสารอ้างอิง	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจน มีขนาดของรูปภาพที่เหมาะสมและมีคำบรรยายใต้รูปภาพ

รูปภาพ

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการจัดรูปภาพ (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

สรุป

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็น.....
(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ข้อเสนอแนะ

[เนื้อหาข้อเสนอแนะ ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป] (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

กิตติกรรมประกาศ

[กิตติกรรมประกาศ ให้เขียนถึงข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ]
(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

เอกสารอ้างอิง

[การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ให้ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

โทรศัพท์ 0 2909 3036 โทรสาร 0 2909 3036 E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th Website http://rd.vru.ac.th

แบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้าพเจ้าชื่อ (นาย, นาง, น.ส., ยศ) นามสกุล
2. วุฒิกศศึกษาสูงสุด ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
คุณวุฒิ สาขา
สถาบัน
☐ สำเร็จการศึกษา ☐ กำลังศึกษา ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่
3. สถานะภาพของผู้นิพนธ์บทความวิจัย ☐ อาจารย์ ☐ นักศึกษาปริญญาเอก ☐ นักศึกษาปริญญาโท ☐ บุคคลทั่วไป
ตำแหน่งทางวิชาการ ตำแหน่งทางบริหาร
4. ชื่อหน่วยงาน/สถานที่ทำงาน
เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
โทรศัพท์ โทรสาร
E-mail
5. ที่อยู่สำหรับติดต่อและจัดส่งเอกสาร
เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
โทรศัพท์ โทรสาร
E-mail
มือถือ
6. มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง
ชื่อบทความ(ภาษาไทย)
ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ)

เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร วิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ยังไม่เคยนำลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับใดๆ มาก่อน ทั้งนี้ ข้าพเจ้าได้ศึกษากฎเกณฑ์และคำแนะนำในการส่งบทความวิจัยเพื่อนำลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แล้ว และยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขทุกประการ พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ☐ บทความภาษาไทย จำนวน 4,500 บาท ☐ บทความภาษาอังกฤษ จำนวน 6,000 บาท เรียบร้อยแล้ว

โดยชำระเป็น ☐ โอนเงินผ่านทางธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนวนคร ชื่อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3

ลงชื่อ.....ผู้นำส่งบทความวิจัย
(.....)
วันที่/...../.....

ระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัย วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ในการส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เพื่อให้การตีพิมพ์บทความวิจัยเป็นไปโดยเรียบร้อยได้มาตรฐาน TCI และเป็นประโยชน์ทั้งผู้ส่งบทความวิจัย ผู้ใช้ประโยชน์จากบทความวิจัย รวมทั้งสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในการจัดทำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ตลอดจนคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ ดังนี้

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร

1. เป็นบทความวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
 2. บทความวิจัยที่ส่งมาพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารต้องเป็นบทความวิจัยที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อนและไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
 3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกเลียนหรือดัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
 4. ผู้ส่งบทความวิจัยต้องชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ บทความภาษาไทย บทความละ 4,500 บาท และบทความภาษาอังกฤษ บทความละ 6,000 บาท โดยสามารถโอนเงินผ่านบัญชี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาอยุธยา ชื่อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3 พร้อมส่งสำเนาหลักฐานการชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารฯ ได้ 2 ช่องทาง ดังนี้
 - 4.1 ไปรษณีย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 1 หมู่ที่ 20 กม.48 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180 โดยวงเล็บมุมซองว่า (ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์)
 - 4.2 E-mail address: rdi_journalsci@vru.ac.th
หรือเว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index>
- ค่าธรรมเนียมวารสาร** จะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมเมื่อบทความของผู้นิพนธ์ ผ่านการตรวจความถูกต้องของบทความเบื้องต้นเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้หากผู้นิพนธ์ยกเลิกบทความ ทางวารสารขอสงวนสิทธิ์ไม่คืนค่าธรรมเนียม
5. ผู้เขียนบทความวิจัยต้องดำเนินการปรับแก้ไขบทความตามผลการอ่านประเมินของกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อย่างต่อเนื่องตลอดการตีพิมพ์ หากผู้เขียนบทความวิจัยซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าผู้นิพนธ์บทความไม่ปฏิบัติตามระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัย วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ กองบรรณาธิการมีสิทธิ์แจ้งยกเลิกการพิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยโดยไม่คืนเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
 6. บทความวิจัยที่ส่งมาจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการประเมินเห็นสมควรให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ แต่งตั้งขึ้น จำนวน 3 ท่าน

คำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. **การเตรียมต้นฉบับ** ต้นฉบับบทความวิจัยต้องจัดทำสำหรับกระดาษขนาด B5(JIS) (18.2 ซม. X 25.7 ซม.) ความยาว 15 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word เวอร์ชัน 2007 ขึ้นไป
2. **การตั้งค่าหน้ากระดาษ** ระยะขอบกระดาษด้านบน (Top Margin) 2.54 เซนติเมตร ด้านซ้าย (Left Margin) ด้านขวา (Right Margin) และด้านล่าง (Bottom Margin) 2 เซนติเมตร
3. **รูปแบบตัวอักษร** ใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น ชื่อหัวข้อพิมพ์เป็นตัวหนา ขนาด 14 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ และเนื้อหาพิมพ์เป็นตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
4. **องค์ประกอบบทความวิจัยประกอบด้วย**
 - 4.1 **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด สามารถอธิบายสาระของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4.2 **ชื่อผู้รับผิดชอบบทความ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุตำแหน่งหน้าที่ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้รับผิดชอบและใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้บนเลขยกเพื่อแสดงว่าเป็นผู้รับผิดชอบหลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้รับผิดชอบและอีเมลผู้รับผิดชอบหลักในเชิงอรรถ
 - 4.3 **ที่อยู่ผู้รับผิดชอบบทความ** ใส่รายละเอียดในเชิงอรรถข้อความที่เขียนไว้ส่วนล่างของหน้ากระดาษและมีเส้นคั่นระหว่างเชิงอรรถกับตัวบทคัดย่อ (Abstract) อย่างชัดเจน โดยขีดเส้นคั่นจากริมกระดาษด้านซ้าย ไปทางด้านขวาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 7 ตัวอักษร ใส่ตัวเลขกำกับไว้เหนือตัวอักษรตัวแรกเล็กน้อย ตัวเลขต้องตรงกับตัวเลขที่กำกับไว้กับชื่อผู้รับผิดชอบ ให้ระบุตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้รับผิดชอบบทความทุกท่าน เช่น นักศึกษาระดับ.... สาขา.... คณะ มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ อาจารย์.... สาขา..... คณะ..... มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่... อีเมล... รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
 - 4.4 **บทคัดย่อ(Abstract)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ โดยใช้จำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
 - 4.5 **คำสำคัญ(Keyword)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่ใต้บทคัดย่อ(Abstract) คำสำคัญภาษาไทย จำนวน 3 – 5 คำเรียงตามลำดับอักษรระหว่างคำวรรค 2 วรรค ส่วน Keyword หรือคำสำคัญภาษาอังกฤษให้เรียงตามคำสำคัญภาษาไทยคั่นระหว่างคำด้วยจุลภาค (.)
 - 4.6 **เนื้อหาของบทความวิจัย** ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้
 - 4.6.1 **บทนำ** เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย
 - 4.6.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย
 - 4.6.3 **วิธีดำเนินการวิจัย** ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
 - 4.6.4 **ผลการวิจัยและอภิปรายผล** เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายใต้รูป จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้

- 4.6.5 **สรุป** เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยและควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
- 4.6.6 **ข้อเสนอแนะ** ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป
- 4.6.7 **กิตติกรรมประกาศ** (ถ้ามี) ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ
- 4.6.8 **เอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง** การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

4.7 การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิงในระบบ APA (American Psychological Association)

- 4.7.1 ชื่อวารสาร ชื่อหนังสือ และปีที่ (Volume) ไม่ใช่ชื่อย่อ
- 4.7.2 ชื่อภาษาอังกฤษ เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วย Last name ตามด้วยจุลภาค (,) และชื่อย่อตามด้วยมหัพภาค (.)
- 4.7.3 ชื่อไทย เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วยชื่อตัว ตามด้วยนามสกุล
- 4.7.4 กรณีผู้แต่งมากกว่าหนึ่งคน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้งหมดทุกคน คั่นระหว่างชื่อด้วยจุลภาค (,) และมีคำว่า “and” หรือ “&” ในกรณีชื่อภาษาอังกฤษ หรือ “และ” ในกรณีชื่อภาษาไทยก่อนชื่อสุดท้าย
- 4.7.5 ถ้าไม่มีชื่อผู้แต่ง ให้ขึ้นต้นด้วยชื่อเรื่อง หรือชื่อวารสาร หรือชื่อหนังสือ ตามด้วยปีที่พิมพ์
- 4.7.6 ถ้าผู้แต่งเป็นหน่วยงาน หรือองค์กร ให้ใช้ชื่อหน่วยงานหรือองค์กรแทนชื่อผู้แต่ง
- 4.7.7 เรียงลำดับรายการตามตัวอักษรชื่อผู้แต่ง รายการที่มีทั้งเอกสารภาษาไทยและอังกฤษ ให้นำข้อมูลภาษาไทยขึ้นก่อน
ตามด้วยข้อมูลภาษาอังกฤษ พิมพ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างบรรทัด อย่างน้อย (At least) 12 Point
- 4.7.8 บรรทัดที่สองและบรรทัดต่อไปของแต่ละรายการให้ย่อหน้าเข้ามา 7 ตัวอักษร หรือ 1.25 เซนติเมตร
- 4.7.9 การอ้าง – อ้างโดย(ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
- 4.7.10 ไม่อ้างโดยใช้คำว่า “และคณะ” หรือ “และคนอื่นๆ” หรือ et al. ยกเว้นกรณีอ้างในเนื้อเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่สามคนขึ้นไปและหลังจากได้มีการอ้างครั้งแรกไว้ก่อนหน้านี้แล้ว หรือการอ้างที่มีผู้แต่งตั้งแต่หกคนขึ้นไป
- 4.7.11 การอ้างจากวารสารและนิตยสารให้ระบุหน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย โดยไม่ใช่คำย่อ “p.” หรือ “pp.” นอกจากหนังสือ
- 4.7.12 การติดต่อส่วนตัวโดยสื่อใดๆ ก็ตาม สามารถอ้างอิงได้ในเนื้อเรื่อง แต่ต้องไม่มีการระบุไว้ในรายการเอกสารอ้างอิง เพราะผู้อื่นไม่สามารถติดตามข้อมูลเหล่านั้นได้
- 4.7.13 การอ้างอิงจาก Website ให้ระบุวัน เดือน ปีที่พิมพ์ ถ้าไม่ปรากฏให้อ้างวันที่ทำการสืบค้น และระบุ URL ให้ชัดเจน ถูกต้อง เมื่อจบ URL address ห้ามใส่จุด (.) ข้างท้าย
- 4.7.14 Website ไม่บอกวันที่ ให้ระบุ n.d.
- 4.7.15 หลัง มหัพภาค “.” (period) เว้น 2 บรรทัด
- 4.7.16 หลัง จุลภาค “,” (comma) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.17 หลัง อัฒภาค “;” (semicolon) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.18 หลัง ทวิภาค “:” (colons) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.19 รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงจากสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ

- รูปแบบ: 1. หนังสือหรือตำรา
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี). //เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
ไพรัช รัชพงษ์, และกฤษณะ ช่างกล่อม. (2541). **งานพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศแห่งชาติ
เพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา.
Mitchell, T. R., & Larson, J. R., Jr. (1987). **People in organizations: An introduction to
organizational behavior** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- รูปแบบ: 2. หนังสือหรือตำราที่มีบรรณาธิการ
ตัวอย่างเช่น ชื่อบรรณาธิการ(ผู้รวบรวม). //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
อดุลย์ วิริยเวชกุล, (บก.). (2541). **คู่มือจัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา**. นครปฐม:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
Gibbs, J. T., & Huang, L. N. (Eds.). (1991). **Children of color: Psychological
interventions with minority youth**. San Francisco: Jossey-Bass.
- รูปแบบ: 3. วิทยานิพนธ์
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับวิทยานิพนธ์./มหาวิทยาลัย.
พรพิมล เฉลิมพลาภาพ. (2535). **พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการ
สื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์
วารสารศาสตรมหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
Almeida, D.M. (1990). **Fathers' participation in family work: Consequences for
fathers' stress and father-child relations**. Unpublished master's thesis,
University of Victoria, Victoria British Columbia, Canada.
- รูปแบบ: 4. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //ปีที่พิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม./วัน เดือน ปี สถานที่จัด.
เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
กรมวิชาการ. 2538. **การจัดกิจกรรมส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน**. การประชุมปฏิบัติการณรงค์เพื่อ
ส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน, 25-29 พฤศจิกายน 2528 ณ วิทยาลัยครูมหาสารคาม
จังหวัดมหาสารคาม. กรุงเทพฯ: ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1991). **A motivational approach to self:
Integration in personality**. In R. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on
Motivation: Vol. 38. Perspectives on Motivation* (pp. 237-288). Lincoln:
University of Nebraska Press. *Motivation: Vol. 38. Perspectives on
Motivation* (pp. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press.
- รูปแบบ: 5. พจนานุกรม
ตัวอย่างเช่น พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. (2546). กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชัน.
Shorter Oxford English dictionary (5 th ed.). (2002). New York: Oxford
University Press.

6. วารสาร/นิตยสาร

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่อง.// ชื่อวารสารหรือนิตยสาร, ปีที่ (ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
- ตัวอย่างเช่น ชำนิ กิ่งแก้ว, และอุษา คณ. (2551). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์. *วารสารเทคโนโลยีภาคใต้*, 1(2), 27-35.
- Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 45(2), 10-36.

7. บทความจากหนังสือพิมพ์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์, เดือน, วันที่).// ชื่อเรื่อง.// ชื่อหนังสือพิมพ์, หน้าที่นำมาอ้าง.
- ตัวอย่างเช่น สายใจ ดวงมาลี. (2548, มิถุนายน 7) มาลาเรียลาม3จว.ได้ตอนบน สธ.เร่งคุมเข้มกันเชื้อแพร่หนัก. *คม-ชัด-ลึก*, 25.
- Di Rado, A. (1995, March 15). Trekking through college: Classes explore modern society using the world of Star Trek. *Los Angeles Time*, p. A3.

8. สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่อง.// สืบค้นจาก// URL
- Author, A. A. (Year). **Title of post**. Retrieved from URL
- ตัวอย่างเช่น สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ กระทรวงวัฒนธรรม. (2545). **ประเพณีใส่กระเจดชาวไทยพวนสอนให้รู้จักแบ่งปัน มีน้ำใจ**. สืบค้นจาก http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight_id=114&lang=th
- Lynch, T. (1996). **DS9 trials and tribble-ations review**. Retrieved from <http://www.bradley.edu/psiphi/DS9/ep/503r.html>

5. **การส่งต้นฉบับ** ผู้มีพันธบัตรความต้องการส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในรูปแบบ Word Document (.docx) และ PDF File (.pdf) พร้อมแนบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์และสำเนาหลักฐานการชำระเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index> บทความวิจัยที่ปฏิบัติตามคำแนะนำจะได้รับพิจารณาดำเนินการโดยทันที

6. การประเมินบทความวิจัย และลิขสิทธิ์ในการตีพิมพ์เผยแพร่

- 6.1 **การอ่านประเมินต้นฉบับ** บทความวิจัยต้นฉบับที่ส่งเข้ามาเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะได้รับการอ่านประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ อย่างน้อยจำนวน 2 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้ที่มีพันธบัตรความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้มีพันธบัตรความจะได้รับหนังสือแจ้งพิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

- 6.2 **ลิขสิทธิ์บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์** ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร

- 6.3 **ความรับผิดชอบ** เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นความรับผิดชอบของผู้มีพันธบัตรความหรือผู้เขียนเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

รูปแบบบทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

	2.54 ซม.		
ย่อหน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร		ชื่อเรื่องภาษาไทย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง) (เว้น 14 point) ชื่อผู้พิมพ์ภาษาไทย¹//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาไทย²//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาไทย³ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง) (เว้น 14 point) บทคัดย่อ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย) บทคัดย่อควรสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยมีเนื้อหาครอบคลุมถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ผลวิจัยและสรุปผลของการวิจัย กำหนดให้มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ เพื่อให้ บทความของท่านได้รับการจัดพิมพ์อย่างถูกต้อง ครบถ้วน ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ หมายเหตุ เครื่องหมาย / หมายถึง การเว้นวรรค 1 วรรค	
2 ซม.			2 ซม.
		เชิงอรรถ สำหรับระบุสถานะและที่อยู่ของผู้พิมพ์บทความ (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย) (เว้น 14 point) คำสำคัญ: (3 -5 คำ) (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย) (เว้น 14 point)	
		¹(ระบุสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้พิมพ์บทความที่ 1 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย) ตัวอย่างเช่น นักศึกษาหลักสูตรดุริยางค์บัณฑิต สาขาวิชาบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อีเมล: rdi_journalsci@vru.ac.th ²(ระบุสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้พิมพ์บทความที่ 2 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย) ³(ระบุสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้พิมพ์บทความที่ 3 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย) *ผู้พิมพ์หลัก อีเมล:	
	2 ซม.		

2.54 ซม.

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ¹//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ²//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ³// (ตัวหนาขนาด 12 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

Abstract (ตัวหนาขนาด 14 point ชิดซ้าย)
Abstract must be written in Thai and English, within a maximum of 350 words for each language

ย่อหน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร

2 ซม. 2 ซม.

..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)
(เว้น 14 point)

Keyword: (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
(เว้น 14 point)

.....

¹Position, Office address, Email address: author 1
²Position, Office address, Email address: author 2
³Position, Office address, Email address: author 3
*Corresponding author, e-mail:

2 ซม.

2.54 ซม.

บทนำ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

วิธีดำเนินการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายใต้รูป กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

2 ซม.

สรุป (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

2 ซม.

ข้อเสนอแนะ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

กิตติกรรมประกาศ(ถ้ามี) (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

(เว้น 14 point)

เอกสารอ้างอิง (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อกับเอกสารภาษาต่างประเทศ.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

2 ซม.

ขั้นตอนการตีพิมพ์บทความวิจัย

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

