

ส่งเสริม เผยแพร่ และแลกเปลี่ยนความรู้ด้านการวิจัย
ระหว่าง คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป



สถาบันวิจัยและพัฒนา



มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180
โทรศัพท์ : 0-2909-3036 โทรสาร : 0-2909-3036
<http://rd.vru.ac.th>



วารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal // ISSN 2351-0366

Science and Technology

ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน - เดือนธันวาคม 2565)

Volume 17 Number 3 (September - December 2022)



ISSN 2351-0366 ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม 2562

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์ และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีสารสนเทศ สู่นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย เพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้านหรือชุมชน แก่นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไปได้เสนองานผลงานวิจัยสู่สาธารณะ
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์ และสุขภาพ 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

ผศ.ดร.สุพจน์ ทรายแก้ว

รศ.ดร.นฤมล ธนารักษ์

บรรณาธิการ

ผศ.ดร.บุญยง นิลแสง

รองบรรณาธิการ

อาจารย์กุลชาติ พันธวรกุล

คณะผู้จัดทำวารสารและเผยแพร่

ผศ.ดร.วีระวัฒน์ อุณหงส์หา

อาจารย์ปวิช เรียงศิริ

น.ส.ปรียา ยอดจันทร์

น.ส.อัคราภรณ์ เขี่ยมสถาน

นางปิยนันท์ ลิ้มชาติ

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 2. รศ.ดร.ธีระชัย ธนารักษ์ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 3. รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง |
| 4. รศ.ดร.สุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. รศ.ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ |
| 6. รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร |
| 7. รศ.ดร.ดวงใจ บุญกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี |
| 8. ผศ.ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 9. ผศ.ดร.เจษฎา มิ่งฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

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

E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th

Website: <http://rd.vru.ac.th>

โรงพิมพ์

ศูนย์เรียนรู้การผลิตและจัดการธุรกิจสิ่งพิมพ์ดิจิทัล
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2529 0674 7, 0 2909 1633

Website: www.vru.ac.th

จำนวน 40 เล่ม

ข้อความและบทความในวารสารนี้
เป็นความคิดเห็นของผู้นิพนธ์โดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหา
และข้อคิดเห็นอื่นๆ แต่อย่างใด

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal

Science and Technology

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่นักวิจัย และผู้สนใจทั่วไป 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) สำหรับนักวิจัยที่มีความประสงค์จะส่งต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา สามารถส่งบทความวิจัยดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการได้โดยตรง ทั้งนี้บทความวิจัยที่เสนอขอตีพิมพ์จะต้องไม่เคยหรือได้อยู่ในระหว่างขอเสนอลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวจะต้องได้รับการอ่านและประเมินคุณภาพพร้อมได้รับความเห็นชอบให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ของวารสารวิจัยและพัฒนา จำนวน 3 ท่านก่อนลงตีพิมพ์ บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรหรือมีการอ้างอิงอย่างถูกต้องชัดเจน โดยเนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา เป็นความรับผิดชอบของผู้พิมพ์บทความวิจัยเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ปัจจุบันวารสารวิจัยและพัฒนา ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม 2565) ฉบับนี้ได้รับรวบรวมบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 9 เรื่อง เผยแพร่ผ่าน 3 ช่องทางได้แก่ การจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มวารสาร การเผยแพร่ออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ <http://rd.vru.ac.th> และเว็บไซต์ <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ
ประจำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 17 ฉบับที่ 3

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษฏางค์	ศุภระมูล
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงศ์	ไชยนอก
รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ	ชาวเมฆ
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณทิดา	เศวตบวร
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชร	เพิ่มชาติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกมลวรรณ	ศรีจันทเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณพัทธ์	บัวฉวน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์	จันทูฟ้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร	มีมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์	ฐปณพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัททิรา	หอมหวล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวภา	แสงพยัค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนพล	มงคลรัตนสิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลิศชาย	สถิตย์พนาวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์	จันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์	บุญเจริญ
ดร.จุฑามาศ	มณีวงศ์
ดร.ตะวัน	ไชยวรรณ
ดร.นพมาศ	ประทุมสูตร
ดร.วุฒิไกร	ศิริผล

สารบัญ

	หน้า
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาดรากหนอนตายหยาก ณพัชร บัวฉวน เศกพร ต้นศรีประภาศิริ	1
ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของโคโคโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยเอนไซม์โคโตซานเอสที่สกัด จากต้นอ่อนก้ามปู มานะ ขาวเมฆ	17
การศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับโรงเรือนปลูก ผักสลัด ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล	33
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมฤทธิ์การต้าน อนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล เวธกา เข้าเจริญ	47
การคำนวณหาฟังก์ชันประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้า ของตัวนำทรงกลมที่มีความ หนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรฟังก์ชันไซน์ ปิยรัตน์ มุลศรี เจษฎาพร ปาคำวัง อาทิตย์ หูเต็ม	61
การพัฒนาผ้าทอผสมเส้นใยกันขูดอกขก ธวัชชัย จิตวารินทร์ ลภัสรดา จิตวารินทร์ บุญชัย เมฆแก้ว เบญจกาญจน์ นิรัตติย กัญญาภักดิ์ นันทชัย ภักทรวรรต ศรีบุญจิต ชุฟเพียณี สนิ	75
การศึกษาการย้อมสีใบตะขบด้วยผงเพื่องานพิมพ์สีธรรมชาติด้วยเทคนิคการถ่ายโอนสี สู่ผ้าฝ้าย เกชา ลาวงษา สุจาริณี สังข์วรรณะ วีระศักดิ์ ศรีลารัตน์	87
แบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ ระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม ยุทธพงษ์ จำปาแก้ว ปิยรัตน์ มุลศรี เจษฎาพร ปาคำวัง อาทิตย์ หูเต็ม	97
การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ผนังอาคาร สมคณ เกียรติก้อง ศุภลักษณ์ ใจเรือง วิวัฒน์ คลังวิจิตร	113

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยากพรกหนอนตายหยาก

ณพัฐอร บัวฉวน^{1*} เสกพร ต้นศรีประภาศิริ²

Received : May 5, 2022

Revised : October 5, 2022

Accepted : October 7, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยากพรกหนอนตายหยาก โดยสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอลและเมทานอล พบว่า สารสกัดหยากพรกหนอนตายหยากที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงมีปริมาณเท่ากับ 16.12 ± 0.53 mg GAE/g และ 23.19 ± 0.69 QE/g ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABST และ FRAP assay พบว่าสารสกัดหยากพรกหนอนตายหยากที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดโดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 13.21 ± 0.38 mg/mL 6.45 ± 0.41 mg/mL 182.18 ± 0.28 μ mol/g extract และการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* TISTR746 พบว่า สารสกัดหยากพรกหนอนตายหยากในตัวทำละลายเฮกเซนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* TISTR746 ได้ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยบริเวณที่ยับยั้งอยู่ที่ 8.54 ± 0.87 มิลลิเมตร ซึ่งสารสกัดหยากพรกหนอนตายหยากในตัวทำละลายเฮกเซนสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่า MIC และ MBC อยู่ระหว่าง 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ข้อมูลการศึกษานี้จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการพัฒนาสมุนไพรพื้นบ้านให้เกิดมูลค่าต่ออุตสาหกรรมการรักษาต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย หยากพรกหนอนตายหยาก สารสกัดหยาก

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
อีเมล: napattaorn@vru.ac.th

² อาจารย์คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อีเมล: sekporn@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: napattaorn@vru.ac.th

ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL ACTIVITIES OF CRUDE EXTRACT FROM THE ROOTS
OF *STEMONA COLLINSAE* CRAIBNapattaorn Buachoon^{1*} Sekporn Tansriprasiri²

ABSTRACT

This research aimed to study total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity, and antimicrobial activity of crude extract from the roots of *Stemona collinsae* Craib extracted by 4 different solvents: hexane, ethyl acetate, ethanol, and methanol. It was found that crude extract from the roots of *Stemona collinsae* Craib had the total phenolic content and total flavonoid content of 16.12 ± 0.53 mg GAE/g and 23.19 ± 0.69 QE/g respectively. According to the test of antioxidant activity using DPPH ABTS and FRAP assay methods, the crude extract from the roots of *Stemona collinsae* Craib extracted by ethanol had the highest antioxidant activity; EC_{50} of 13.21 ± 0.38 mg/mL 6.45 ± 0.41 mg/mL 182.18 ± 0.28 μ mol/g extract. The study on antimicrobial activity on *Staphylococcus aureus* TISTR746 showed that the hexane-extracted crude extract from the roots of *Stemona collinsae* Craib was the most effective at inhibiting *Staphylococcus aureus* TISTR746, with the average zone of inhibition area of 8.54 ± 0.87 millimeters. The crude extract from the roots of *Stemona collinsae* Craib extracted by hexane could completely inhibit the growth of bacteria, MIC and MBC values ranged between 25 and 50 mg/mL. The study results shall be considered basic knowledge for developing local herbs to establish value added to medical treatment industry in the future.

Keywords: Antioxidant activity, Antimicrobial activities, *Stemona collinsae* Craib, Crude extract

¹ Lecturer of Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: napattaorn@vru.ac.th

² Lecturer of Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: sekporn@vru.ac.th

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

บทนำ

สารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ หรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจาก อนุมูลอิสระประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิด ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และ ไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำ และสารประกอบที่ละลาย ในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging) การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน (Singlet oxygen quenching) จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Metal chelation) หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Chain-breaking) เสริมฤทธิ์ (Synergism) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (บุหริน พันธุ์สรรค์, 2556; ณพัชร บัวฉวน, 2558)

ผิวหนังเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายมีหน้าที่ปกป้องร่างกายปกป้องรังสียูวีและเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย อีกทั้งยังมีหน้าที่ในการรักษาสมดุลของน้ำ และอุณหภูมิในร่างกายอีกด้วย ในกรณีที่มีการบาดเจ็บที่ผิวหนังเป็นบริเวณกว้าง และลึกนั้น ผลที่ตามมาคือการเสียสมดุลต่าง ๆ ของร่างกายตามมาเช่นการสูญเสียน้ำจากการระเหยออกจากบาดแผลจนอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในร่างกายเป็นสาเหตุให้เกิดการช็อกได้ หากปล่อยทิ้งไว้ไม่ได้รับการรักษาอย่างรวดเร็วอาจทำให้การหายของแผลเกิดเป็นแผลเป็นนูนและดิ่งรังในที่สุด นอกจากนี้การรักษาบาดแผลที่ใช้เวลานานยังเพิ่มโอกาสทำให้เกิดการติดเชื้อและทำให้แผลแย่ลงไปอีก ซึ่งผิวหนังของมนุษย์นั้นจะมีเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นอาศัยอยู่หลายชนิดโดยชนิดที่พบบ่อย ได้แก่ *Staphylococcus epidermidis* และ *Staphylococcus aureus* บนผิวหนังของมนุษย์ซึ่งสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อที่ผิวหนังชั้นตื้นหรือติดเชื้อที่รุนแรงได้ (นิธิ ตั้งศิริทรัพย์, 2555) สาเหตุที่สำคัญและพบบ่อยที่สุดถึงร้อยละ 80 ของโรคผิวหนัง เช่น โรคผิวหนังอักเสบจากสารระคายเคือง โรคผิวหนังอักเสบจากภูมิแพ้ โรคลมพิษ โรคผิวหนังอักเสบจากสารร่วมกับแสง และยังพบปัจจัยทางชีวภาพทำให้เกิดโรคผิวหนังติดเชื้อจากแบคทีเรีย โรคผิวหนังจากเชื้อรา โรคผิวหนังจากเชื้อไวรัสและโรคผิวหนังจากพยาธิ (พิชญพรพรค ทองสุข และคณะ, 2555) และจากการศึกษาพบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Staphylococcus epidermidis* สามารถถูกยับยั้งการเจริญได้ด้วยสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทยหลายชนิด (อัฐญาพร ชัยชมภู และณฤมล ทองไว, 2555)

หนอนตายหยาก (*Stemona collinsae* Craib.) เป็นไม้พุ่มกึ่งเลื้อยในตระกูล Stemonaceae หัวเป็นพวงคล้ายกระชายขึ้นในป่าทั่ว ๆ ไปมีมากแถบภาคกลางและภาคเหนือในประเทศไทยพบอย่างน้อย 7 ชนิดซึ่งแต่ละท้องถิ่นเรียกชื่อแตกต่างกันไป รากของหนอนตายหยากมีฤทธิ์ฆ่าหนอนชาวบ้านจึงนำไปใส่ไหปลาร้าเพื่อฆ่าแมลง เป็นไม้เถาเลื้อยลูกเลื้อยพันต้นไม้อื่น เถากลมสีเขียว มีรากอยู่ใต้ดินคล้ายกระชาย เป็นไม้เลื้อยใบเดี่ยว รากออกเป็นกระจุก ใบ ออกเรียงสลับ ใบรูปหัวใจ กว้าง 4-6 เซนติเมตร ยาว 6-10 เซนติเมตร โคนใบเว้า ปลายใบเรียวแหลมเส้นใบแตกออกจากโคนใบ ขนานกันไปทางด้านปลายใบ แผ่นใบเป็นคลื่น ขอบใบเรียบหรือบิด เป็นคลื่น เล็กน้อย ก้านใบยาว ดอก เป็นดอกเดี่ยว ออกตามซอกใบ ดอกสีแดงเข้ม กลีบดอกมี 4 กลีบ กลีบดอก ด้านนอกมีสีเขียวปนเหลืองโคนกลีบดอกติดกัน ผล ลักษณะเป็นฝัก ปลายแหลม ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร ในรากหนอนตายหยากจะพบกลุ่มสารสำคัญ ได้แก่ Stemonine, Stemonidine, IsoStemonidine, Isotuberostemonine, Tuberostemonine, Hypotuberostemonine, Oxtuberostemonine, Protostemonine เป็นต้น ส่วนสารอื่น ๆ ที่พบ เช่น stemonacetal, stemonal, stemonone, rotenoid compound จากการทดลองกับสัตว์ทดลองพบว่า สมุนไพรหนอนตายหยากสามารถ

ยับยั้งการไอของสัตว์ทดลองได้ และมีฤทธิ์กระตุ้นประสาทส่วนกลางของระบบหายใจ ทำให้การหายใจได้ผลช้าลง สารสกัดที่ได้จากหนอนตายหยากมีฤทธิ์ฆ่าพยาธิหรือเชื้อโรคได้หลายชนิด จากการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันกับหนูถีบจักรทดลอง ด้วยการป้อนสารสกัดจากรากในขนาด 0.25-80 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ และขนาด 10 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวเป็นเวลาหนึ่งเดือน ไม่พบความเป็นพิษของสารสกัดหนอนตายหยาก ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่พบงานวิจัยที่นำสารสกัดรากหนอนตายหยากมาทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย *S. aureus* และจากข้อมูลข้างต้นของสารสำคัญที่ส่วนใหญ่จะถูกพบในรากและมีการนำสารสำคัญในรากหนอนตายหยากมาใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยาก และเป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยาก
2. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยาก
3. เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยาก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดหยาก

นำตัวอย่างรากหนอนตายหยาก จากตำบลนาดี อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 มาทำความสะอาดและนำมาตากให้แห้ง จากนั้นนำมาบดหยาบ และนำรากหนอนตาย หยากจำนวน 500 กรัม แล้วนำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอลและเมทานอล โดยใช้ตัวทำละลายชนิดละ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการแช่เย็น (Maceration) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นทำการกรองสารละลายโดยใช้เครื่องกรองแบบสุญญากาศ และนำสารละลายที่กรองได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 45 °C จะได้เป็นสารสกัดหยากชั้นเอทานอล ซึ่งน้ำหนักของสารสกัดหยากแต่ละตัวทำละลายที่ได้ และเก็บตัวอย่างไว้เพื่อตรวจสอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยาก

การคำนวณร้อยละของสารสกัดหยาก (%w/w) = (น้ำหนักสารสกัดหยาก × 100)/น้ำหนักแห้ง

1. การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยาก

การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Slinkard, & Singleton (1997) นำสารละลายตัวอย่างแต่ละชนิดมาอย่างละจำนวน 100 ไมโครลิตร เติมสารละลายฟอร์ลิน 500 ไมโครลิตร เขย่า และ เติมสารละลาย 20 % Na_2CO_3 1,000 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการชั่งสารละลายมาตรฐานแกลลิก 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเจือจางด้วยเอทานอล ให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร ได้ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) (เตรียมสารละลายมาตรฐานเหมือนสารละลายตัวอย่าง และเตรียม Blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน

กรดแกลลิก โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำและหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานแกลลิก (mg GAE /g extract)

2. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาบรากหนอนตายอยาก

การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoids content) เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Prommuak, D-Eknamkul, & Shotipruk, (2008) นำสารละลายตัวอย่างแต่ละชนิดมาอย่างละจำนวน 200 ไมโครลิตร เติมสารละลาย 1% $AlCl_3$ ปริมาตร 1,800 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader การเตรียมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีตินที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เตรียมสารละลายมาตรฐานเหมือนสารละลายตัวอย่าง และเตรียม Blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีติน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำและหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานเคอร์ซีติน (mg QE /g extract)

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

4.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging activity) โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Zhu et al. (2006) โดยเตรียมสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 50-300 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารสกัดแต่ละความเข้มข้นหรือสารละลายมาตรฐานปริมาณ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.1 โมล ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader โดยใช้ BHT, BHA, Vitamin C และ α -Tocopherol เป็นสารมาตรฐานทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้วิเคราะห์หาร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition DPPH) โดยคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(Abs_{Control} - Abs_{Sample}) \times 100] / Abs_{Control}$$

นำค่า % radical scavenging activity มาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหาค่า EC_{50}

4.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS radical scavenging activity) โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Re et al. (1999)

โดยเตรียมสาร ABTS ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิโมล ผสมกับ potassium persulfate (KPS) ที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมล (2:1) ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 10 ชั่วโมง นำมาเจือจางและ วัดค่าการดูดกลืนแสงให้มีค่าเท่ากับ 0.700 ± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เตรียมสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 50-300 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และนำสารละลายของสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิดมา 20 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงให้มีค่าเท่ากับ 0.70 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader โดยใช้ BHT, BHA, Vitamin C และ α -Tocopherol เป็นสารมาตรฐานทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้วิเคราะห์หาร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (% Inhibition ABTS) โดยคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(Abs_{Control} - Abs_{Sample}) \times 100] / Abs_{Control}$$

นำค่า % radical scavenging activity มาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหาค่า EC_{50}

4.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie & Strain, (1996) เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยผสม Acetate buffer pH 3.5 มิลลิโมลาร์ $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ และ สารละลาย TPTZ ใน 40 มิลลิโมลาร์ HCl อัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ

ทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และนำเตรียมสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิดมาเติมสาร FRAP reagent ดังนี้

A (Test sample) : สารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสม FRAP reagent 9 มิลลิลิตร

B (Blank) : สารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสม Acetate buffer 9 มิลลิลิตร

C (Control) : Ethanol 1 มิลลิลิตร ผสม FRAP reagent 9 มิลลิลิตร

หลังจากนั้นนำสาร A B และ C มาบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณค่าการดูดกลืนแสงจากสมการ

$$ABS = A - B - C$$

คำนวณความสามารถในการให้อิเล็กตรอน (FRAP value) โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate ($FeSO_4$) แสดงค่าในรูปของมิลลิโมลาร์สมมูลของ Fe^{2+} ต่อกรัมสารสกัด (mM Fe^{2+} equivalent/g sample extract)

5. การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยาก

5.1 การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากโดยวิธีการ Agar well diffusion method ดัดแปลงวิธีการของ Balouiri et al., (2016); Bagul, & Sivakumar, (2016) โดยนำสารสกัดตัวอย่างมาทดสอบทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ *S. aureus* TISTR746 นำเชื้อแบคทีเรียเลี้ยงในอาหาร Mueller Hinton broth ทำการบ่มเชื้อ 24 ชั่วโมง และปรับความเข้มข้นของเชื้อให้ได้ประมาณ 10^8 cfu/ml โดยทำการเทียบกับ McFarland standard # 0.5 ทำการกระจายเชื้อแบคทีเรียบนอาหาร Mueller Hinton agar เจาะหลุมโดยใช้ Cork borer ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และนำสารสกัดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ในจานอาหารปริมาตร 100 ไมโครลิตร นำไปเลี้ยงเชื้อบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใส (Zone of inhibition) ที่เกิดขึ้นในหน่วยมิลลิเมตร เปรียบเทียบกับ DMSO ความเข้มข้นที่ไม่แสดงฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ และสารปฏิชีวนะมาตรฐานสำหรับแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ Streptomycin และ Tetracycline ทำการประเมินผลการยับยั้งของสารสกัด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5.2 การศึกษาความเข้มข้นขั้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Minimum Inhibition Concentration; MIC)

การศึกษาความเข้มข้นขั้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบโดยวิธี Tube dilution method (Balouiri et al., 2016; Lalitha, 2004) นำสารสกัดแต่ละตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น (1.562, 3.125, 6.25, 12.5, 25 และ 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ด้วยอาหาร Mueller Hinton broth เติมเชื้อ *Staphylococcus aureus* TISTR746 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (v/v) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาตรวจสอบผลในการยับยั้ง โดยใช้เข็มเขี่ยเชื้อจากหลอดอาหารที่ผ่านการบ่มเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปขีดเชื้อแบบง่ายลงบนผิวหน้าอาหารแข็งและบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำจานเพาะเชื้อมา ตรวจสอบการเจริญ โดยค่า MIC คือค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ไม่ปรากฏการเจริญของเชื้อบนจานอาหาร ทั้งนี้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5.3 การศึกษาค่าความเข้มข้นที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (Minimal bactericidal concentration: MBC)

การศึกษาค่าความเข้มข้นที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Plate dilution ดัดแปลงวิธีการของ Bagul, & Sivakumar, (2016); Jorgensen, & Ferraro, (2009) โดยนำความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมาใช้ในการทดสอบ นำสารสกัดตัวอย่างมาทำการเจือจางลงในอาหาร Mueller Hinton broth เพาะเชื้อแบคทีเรียโดยบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาตรวจสอบผลการทำลายเชื้อทดสอบโดยการกระจายเชื้อบนผิวอาหาร Mueller Hinton agar ในปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญของเชื้อเพื่อตรวจสอบฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรีย ตรวจสอบการเจริญของเชื้อและอ่านค่า MBC โดยค่า MBC ที่อ่านได้คือค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ทำให้ไม่ปรากฏการเจริญของเชื้อในจานอาหารที่ทดสอบ ทั้งนี้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. ผลการสกัดสารจากรากหนอนตายหยาก

จากการนำรากหนอนตายหยากมาทำให้แห้ง ทำการบดให้ละเอียด และชั่งน้ำหนัก 500 กรัม แล้วทำการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล โดยแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นทำการกรองและระเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) จะได้เป็นส่วนสกัดหยากที่มีลักษณะข้นเหนียว และพบว่าสารสกัดจากรากหนอนตายหยากจากตัวทำละลายทั้ง 4 มีน้ำหนักสารสกัดหยากและร้อยละสารสกัดหยาก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักและร้อยละของสารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยากในตัวทำละลายแต่ละชนิด

ชนิดตัวทำละลาย	น้ำหนักสารสกัดหยาก (กรัม)	ร้อยละสารสกัดหยาก (กรัม)
n-hexane	24.21	4.84
ethyl acetate	20.82	4.16
ethanol	25.68	5.13
methanol	22.12	4.42

จากตารางที่ 1 เมื่อนำรากหนอนตายหยากไปทำการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล พบว่า สารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีน้ำหนักสารสกัดหยากสูงที่สุด (25.68 กรัม) คิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาก 5.13 กรัม รongลงมาคือ สารสกัดหยากจากรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (24.21 กรัม) ตัวทำละลายเมทานอล(22.12 กรัม) และตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท (20.82 กรัม) คิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาก 4.84 4.42 และ 4.16 กรัม ตามลำดับ

2. ผลการหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาบราก หนอนตายหยากในตัวทำละลายแต่ละชนิด

จากการนำสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล และนำไปหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีสารปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (16.12 ± 0.53 mg GAE/g extract) และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด (23.19 ± 0.69 mg QE/g extract) รองลงมาคือ สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีสารปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 15.45 ± 0.24 mg GAE/g extract และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 22.61 ± 0.82 mg QE/g extract สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีสารปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 14.95 ± 0.68 mg GAE/g extract และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 20.43 ± 0.18 mg QE/g extract และสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทมีสารปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 14.39 ± 0.56 mg GAE/g extract และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 19.39 ± 0.35 mg QE/g extract ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาบราก
หนอนตายหยากในตัวทำละลายแต่ละชนิด

สารสกัดหยาบจากพืช	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g extract)
Crude n-hexane	15.45 ± 0.24	22.61 ± 0.82
Crude ethyl acetate	14.39 ± 0.56	19.39 ± 0.35
Crude ethanol	16.12 ± 0.53	23.19 ± 0.69
Crude methanol	14.95 ± 0.68	20.43 ± 0.18

การทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABST และ FRAP assay และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทำการทดสอบโดยวิธีการ Agar well diffusion method ของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล จากการทดลองพบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีน้ำหนักสารสกัดหยาบสูงที่สุด และเมื่อทำการปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความเป็นขี้ผึ้งจึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขี้ผึ้งที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขี้ผึ้ง ดังนั้นเมื่อใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นขี้ผึ้งแตกต่างกันจึงได้ปริมาณฟีนอลิกที่แตกต่างกัน (Loudon, 2002) และผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของวสันต์ สุมนิธิ์ และคณะ (2557) และงานวิจัยของธนศักดิ์ แซ่เลี้ยว และคณะ (2551) สารสกัดหยาบที่ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลพบว่ามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด และจะพบว่าการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เพราะทั้งสารประกอบฟีนอลิกต่างก็เป็นสารอินทรีย์เหมือนกันที่จะเกิดการละลายตามหลักการละลายกันได้

(Like dissolves like) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้สำหรับสกัดสารฟีนอลิกทั้งหมดได้แก่ เมทานอล เอทานอล และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน เอทิลอะซิเตท นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังสามารถละลายในน้ำได้ นอกจากนี้ในการหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีขั้ว ดังนั้นเมื่อใช้เอทานอลในการสกัดจึงได้ปริมาณฟลาโวนอยด์สูง เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้สูง (Loudon, 2002) ผลจากการทดลองหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีปริมาณสูงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของสารฟีนอลิกจากผลการทดลองที่ได้พบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในช่วง 16.12–14.39 mg GAE/g extract และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในช่วง 23.19–19.39 mg QE/g extract โดยมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Boonjira et al., (2018) ที่ทำการศึกษากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า สารสกัดรากหนอนตายหยากมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 15.58 mg GAE/g extract และมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในช่วง 22.12 mg QE/g extract

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล ด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP assay พบว่า สารสกัดหยากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลและทำการทดสอบด้วยวิธี DPPH assay มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 13.21 ± 0.38 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี ABTS assay สารสกัดหยากหนอนตายหยาก มีค่า EC_{50} เท่ากับ 6.45 ± 0.41 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดหยากหนอนตายหยาก เท่ากับ 182.18 ± 0.28 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยากหนอนตายหยาก รองลงมาคือ สารสกัดหยากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 13.89 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี ABTS assay สารสกัดหยากหนอนตายหยาก มีค่า EC_{50} เท่ากับ 7.39 ± 0.38 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดหยากหนอนตายหยาก เท่ากับ 204.29 ± 0.22 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด สารสกัดหยากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 14.06 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี ABTS assay สารสกัดหยากหนอนตายหยาก มีค่า EC_{50} เท่ากับ 8.52 ± 0.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดหยากหนอนตายหยาก เท่ากับ 221.68 ± 0.22 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด ตามลำดับ สารสกัดหยากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 14.54 ± 0.43 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี ABTS assay สารสกัดหยากหนอนตายหยาก มีค่า EC_{50} เท่ากับ 9.11 ± 0.47 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดหยากหนอนตายหยาก เท่ากับ 243.38 ± 0.31 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 แสดงว่า สารสกัดหยากหนอนตายหยาก มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานได้แก่ BHT BHA Vitamin C และ α -Tocopherol

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP assay ของสารสกัดหยาบ รากหนอนตายหยากในตัวอย่างแต่ละชนิด

การทดสอบ	DPPH assay EC ₅₀ (mg/mL)	ABTS assay EC ₅₀ (mg/mL)	FRAP assay (μ mol/g extract)
สารมาตรฐาน			
BHT	13.56 $\pm$ 0.32	8.45 $\pm$ 0.35	222.45 $\pm$ 0.24
BHA	13.76 $\pm$ 0.75	8.79 $\pm$ 0.22	218.39 $\pm$ 0.48
Vitamin C	13.60 $\pm$ 0.40	8.72 $\pm$ 0.35	209.80 $\pm$ 0.68
α -Tocopherol	12.83 $\pm$ 0.63	6.21 $\pm$ 0.39	168.22 $\pm$ 0.63
สารสกัด			
Crude n-hexane	13.89 $\pm$ 0.25	7.39 $\pm$ 0.38	204.29 $\pm$ 0.22
Crude ethyl acetate	14.54 $\pm$ 0.43	9.11 $\pm$ 0.47	243.38 $\pm$ 0.31
Crude ethanol	13.21 $\pm$ 0.38	6.45 $\pm$ 0.41	182.18 $\pm$ 0.28
Crude methanol	14.06 $\pm$ 0.21	8.52 $\pm$ 0.79	221.68 $\pm$ 0.22

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH ABTS และ FRAP assay) ของสารสกัดหยาบ รากหนอนตายหยาก พบว่าสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonjira et al., (2018) ที่ทำการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการสกัดรากหนอนตายหยากด้วยเมทานอล พบว่า สารสกัดรากหนอนตายหยากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 0.118 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และผลการทดลองยังพบว่าสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่พบว่าสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลในการสกัดมีปริมาณสูงที่สุด เนื่องจากเอทานอลเป็นตัวละลายมีขั้วและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้ทำให้มีความสามารถในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเป็นสารที่ขั้ว (Loudon, 2002) ซึ่งมีรายงานที่แสดงให้เห็นว่า ความมีขั้วของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดอาจมีผลต่อการละลายของสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compound) ที่มีฤทธิ์เป็นสารที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้มากยิ่งขึ้น (Mohsen, & Ammar, 2009) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่มีขั้วจะละลายได้ดีในเฮกเซน นอกจากนี้สารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้วมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบในพืช โดยทั้งสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ (นันทวัน บุญยะประภัศร และคณะ, 2545) ซึ่งมีผลในการทำงานเกี่ยวกับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้

จากผลการทดสอบ จะพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด รวมทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะพบว่ามีความสัมพันธ์กัน โดยถ้าสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงและมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง สารสกัดจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากเนื่องจากสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารในกลุ่มที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (ลือชัย บุตุคุป, 2555)

4. ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยาก

เมื่อทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล โดยเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *S. aureus* TISTR746 ทำการเทียบกับยาปฏิชีวนะมาตรฐานได้แก่ สเตรปโตมัยซิน และ เตตราซัยคลีน ทำการทดสอบโดยวิธีการ Agar well diffusion method ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยในการทดสอบการยับยั้งจะดูบริเวณที่แบคทีเรียถูกยับยั้งและการเกิดบริเวณโซนใสที่สุด ซึ่งพบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากในตัวทำละลายเฮกเซนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* TISTR746 โดยมีค่าเฉลี่ยบริเวณที่ยับยั้งแบคทีเรียเท่ากับ 8.54 ± 0.87 มิลลิเมตร มากที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากในตัวทำละลายเอทานอล ตัวทำละลายเมทานอล ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท โดยมีค่าเฉลี่ยบริเวณที่ยับยั้งแบคทีเรียเท่ากับ 8.52 ± 0.28 , 8.28 ± 0.27 และ 7.03 ± 0.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากในตัวทำละลายแต่ละชนิด

การทดสอบ	ผลฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัด (Inhibition zone, mm $\pm$ SD)
สารปฏิชีวนะมาตรฐาน	
Streptomycin	13.95 ± 0.49
Tetracycline	22.35 ± 0.52
สารสกัดจากพืช	
Crude n-hexane	8.54 ± 0.87
Crude ethyl acetate	7.03 ± 0.42
Crude ethanol	8.52 ± 0.28
Crude methanol	8.28 ± 0.27

ตารางที่ 5 ค่า Minimal inhibitory concentration (MIC) และค่า Minimal bactericidal concentration (MBC) ของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากในตัวอย่างแต่ละชนิด

สารสกัดจากพืช	<i>S. aureus</i> TISTR746	
	MIC	MBC
	(มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	(มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
Crude n-hexane	25	50
Crude ethyl acetate	50	50
Crude ethanol	50	50
Crude methanol	50	50

จากตารางที่ 5 จากการทดลองเปรียบเทียบฤทธิ์ยับยั้งของสารสกัดของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากในตัวอย่างละลาย 4 ชนิด โดยเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *S. aureus* TISTR746 ทำการเทียบกับยาปฏิชีวนะมาตรฐานได้แก่ สเตรปโตมัยซิน และ เตตราไซคลิน โดยจะพบว่าเชื้อ *S. aureus* TISTR746 เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดการอักเสบ ในการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยวิธีการ Agar well diffusion method แล้ววัดโซนการยับยั้งพบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากในตัวอย่างละลายเฮกเซนมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อได้ดีที่สุด โดยสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* TISTR746 ได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่า MIC ของสารสกัดอยู่ที่ 25-50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากในตัวอย่างละลายเฮกเซนมีฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด โดยมีค่า MIC ของสารสกัดอยู่ที่ 25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนสารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากในตัวอย่างละลาย เอทิลอะซิเตท เอทานอล และเมทานอล พบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทำการทดสอบได้ โดยมีค่า MIC ของสารสกัดอยู่ที่ 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อทำการทดสอบหาค่า MBC ที่สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* TISTR746 ได้ พบว่าสารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากในตัวอย่างละลายทั้ง 4 ชนิดที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* TISTR746 ได้ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหายากสามารถที่จะยับยั้งเชื้อที่ทำให้เกิดการอักเสบได้ และจากการศึกษาของ นาทยา มนต์รี และคณะ (2014) ที่ทำการศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากหนอนตายหายากต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราโรคพิษบางชนิดคือ *P. deliense*, *P. parasitica*, และ *F. oxysporum* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) พบว่า อาหารที่ผสมสารสกัดจากหนอนตายหายากทุกระดับความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราทั้ง 3 ชนิด โดยที่ระดับความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใย *P. parasitica* ได้ 100 % ที่ระยะเวลา 4 วัน ระดับความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใย *P. deliense* และ *F. oxysporum* ได้ 100 % ที่ระยะเวลา 1 และ 5 วันตามลำดับ

สรุป

การทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABST และ FRAP assay และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทำการทดสอบโดยวิธีการ Agar well diffusion method ของสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง และพบว่าสารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และ สารสกัดหยาบรากหนอนตายหยากในตัวทำละลายเฮกเซนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* TISTR746 ได้ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดนำไปต่อยอดเพื่อศึกษาในโมเดลทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป เช่น การยับยั้งแบคทีเรีย การต้านอัลไซเมอร์และการยับยั้งมะเร็ง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาในส่วนอื่นของหนอนตายหยากด้วย เช่น ใบ รวมถึงการศึกษาสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบของหนอนตายหยาก รวมทั้งศึกษาในส่วนฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมยาในลำดับต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ณพัชร บัวฉวน. (2558). สารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากชะเอมไทย. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 10(2), 78-95.
- ธนศักดิ์ แซ่เลี้ยว, ศศิธร จันทนวางกูร และวรรณิ จิรภาคย์กุล. (2551). ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชันของกระชายเหลือง (*Boesenbergia pandurata*). การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (538-545). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นัตยา มนต์รี, ชนิกานต์ ขวัญช่วย และ พรประพา คงตระกูล. (2557). ผลของสารสกัดหยาบจากหนอนตายหยากต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราโรคพืชบางชนิด. **แก่นเกษตร**, 42(3), 649-653.
- นิตี ตั้งศิริทรัพย์. (2555). การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยหอมดิบต่อการยับยั้งแบคทีเรียก่อสิวและการติดเชื้อผิวหนังที่พบได้บ่อย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- นันทวัน บุญยะประภัศร, วิมล ศรีสุข, อรุณญา จุติวิบูลย์สุข, ประพินศรา สอนเล็ก, วิไลวรรณ ทองใบน้อย, วงศ์สถิต ฉั่วกุล, Fong, H.S., Pezzuto, J. และ Kosmeder, J., (2545). ผักพื้นบ้านในป่าชายเลน. **วารสารสมุนไพร**, 9(1), 1-12.
- บุหรัน พันธุ์สุรงค์. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 21(3), 275-286.
- พิชญา พรรคทองสุขและคณะ. (2555). แนวทางการวินิจฉัยโรคและภัยจากการประกอบอาชีพเบื้องต้นสำหรับหน่วยบริการสาธารณสุข. กลุ่มสื่อสารสาธารณะและพัฒนา พฤติกรรมสุขภาพ สำนักงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

- ลือชัย บุตรคุป. (2555). สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ทางชีวภาพ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**, 31(4), 443-455.
- วสันต์ สุมินทิลี, ปณิดา บรรจงสินศิริ, จันทนา ไพโรจน์ และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2557). กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) สาหร่ายหุ่น (*Sargassum oligocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*). **วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม**, 9(1), 63-75.
- อัฐยาพร ชัยชมภูและณณมล ทองไว. (2555). การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดโดยใช้สารสกัดสมุนไพรพื้นบ้าน. 28-30 มกราคม 2558 การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. (หน้า 792-801). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Bagul, U.S. and Sivakumar, S. M. (2016). Antibiotic susceptibility testing: a review on current practices. **International Journal of Pharmaceutics**, 6(3), 11-17.
- Balouiri, M., Sadiki, M. and Ibensouda, K.S. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: a review. **Journal of Pharmaceutical Analysis**, 6(2), 71-79.
- Benzie IFF, & Strain JJ. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, 239(1), 70-76.
- Boonjira Rutnakornpituk Chatchai Boonthip Waraporn Sanguankul Pimtawan Sawangsup and Metha Rutnakornpituk. (2018). Study in total phenolic contents, antioxidant activity and analysis of Glucosinolate compounds in cruciferous vegetables. **Naresuan University Journal: Science and Technology**, 26(2), 27-37.
- Jorgensen, J.H. and Ferraro, M. J. (2009). Antimicrobial susceptibility testing: a review of general principles and contemporary practices. **Clinical Infectious Diseases**, 49(11), 1749-1755.
- Lalitha, M.K. (2004). **Manual on antimicrobial susceptibility testing. Guide lines for antimicrobial susceptibility testing**. Pennsylvania: Twelfth Informational Supplement. pp. 6-20.
- Loudon, G. Mark. (2002). **Organic Chemistry 4th**. Oxford University Press.
- Mohsen, S. M. and Ammar, A. S. M. (2009). Total phenolic content and antioxidant activity of corn tassel extract. **Food chemistry**, 112(3), 595-598.
- Prommuak, C., D-Eknamkul, W. & Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from thai silk waste and antioxidant activity of extract. **Separation and Purification Technology**, 62(2), 444-448.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999), Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26(9-10), 1231-1237.
- Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1997). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, 28(1), 49-55.

Zhu, K., Zhou, H. & Qian, H. (2006). Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. **Process Biochemistry**, 41(6), 1296-1302.

ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยเอนไซม์ไคโตซานเนส ที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปู

มานะ ขาวเมฆ^{1*}

Received : March 3, 2022

Revised : November 3, 2022

Accepted : November 16, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตโดยเอนไซม์ไคโตซานเนสที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ด้วยอะซิเตตบัพเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 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 แบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วย *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วย *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

คำสำคัญ: ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ต้นอ่อนก้ามปู ฤทธิ์การต้านแบคทีเรีย เอนไซม์ไคโตซานเนส

¹ รองศาสตราจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

อีเมล: mana@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: mana@vru.ac.th

ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF CHITOLIGOSACCHARIDES PRODUCED BY CHITOSANASE EXTRACTED FROM *SAMANCA SAMAN* (JACQ) MERR.

Mana Kaomek^{1*}

Abstract

This research aimed to study the antibacterial activity of chitooligosaccharides produced by chitosanase extracted from two weeks seedlings of *Samanca saman* (Jacq) Merr. with 0.1 molar acetate buffer at pH 4.5. It was found that chitooligosaccharides obtained by hydrolysis of 1 percent by weight per volume of chitosan at 0.5 hour, containing percentages of total large molecules of (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇, and (GlcN)₈ was 94.99. It inhibited eight different bacterial strains; gram positive including *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus* and gram negative including *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica*, *Vibrio parahaemolyticus*. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) for the corresponding were 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 and 0.78/0.78 µg/ml, respectively.

Keywords: Chitooligosaccharides, *Samanca saman* (Jacq) Merr. Seedlings, Antibacterial activity, Chitosanase

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

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

บทนำ

โคโตซานเป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำที่พันธะเบตา 1,4 โกลโคซิดิกของโคโตซานตรงพันธะระหว่างกลูโคซามีนกับกลูโคซามีน (GlcN-GlcN) ได้เป็นกลูโคซามีน (GlcN) และโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (COS) เอนไซม์โคโตซานสพบในสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ นอกจากนี้ยังพบในพืชอีกหลายชนิด (Aam et al., 2010) เอนไซม์โคโตซานสมิการประยุกต์ใช้ในการป้องกันและยับยั้งเชื้อราในการเกิดโรคพืช (Chemin et al., 1997) โดยเอนไซม์โคโตซานสจากพืชจะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราดีกว่าเอนไซม์โคโตซานสจากแบคทีเรีย (Lievens et al., 2009) เอนไซม์โคโตซานสเป็นชนิดภายใน (Endo-Type) ที่มีการตัดพันธะครึ่งละหนึ่งพันธะ ทำให้ได้โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาดใหญ่ของโคโตเฮปโตส (Chitoheptose) และโคโตเฮกซอส (Chiothexose) (Aam et al., 2010)

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากโคโตซานมีจำนวนกลูโคซามีน 2-10 โมเลกุล ซึ่งต่อกันด้วยพันธะเบตา 1, 4 โกลโคซิดิก ที่เกิดจากการย่อยโคโตซานด้วยกรดหรือเอนไซม์โคโตซานส สามารถใช้ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาด 4-7 โมเลกุลจะสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี (Salgaonkar, et al., 2015) ใช้ในการต้านโรคไขข้ออักเสบ ใช้ควบคุมการปล่อยด้วยสำคัญ และใช้ลดคอเลสเตอรอลและไขมันในเส้นเลือด (Coelho et al., 2010) และใช้ยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราได้ดี (Silva et al., 2021; Ganan et al., 2021) โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีกลูโคซามีนจำนวน 2-10 โมเลกุล จะละลายน้ำและดูดซึมดีกว่าโคโตซาน จึงมีมูลค่ามากกว่าโคโตซาน ดังนั้น จึงมีการนำพืชที่ผลิตเอนไซม์โคโตซานสที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงมาเปลี่ยนโคโตซานไปเป็นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ เพราะพืชที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงจะเปลี่ยนโคโตซานเป็นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ดี เช่น เอนไซม์โคโตซานสจากต้นอ่อนก้ามปูและต้นอ่อนกระถินบ้าน (มานะ ขาวเมฆ, 2562ข)

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีกลูโคซามีนจำนวน 5-8 โมเลกุล ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซานสและเอนไซม์โคตินสจากต้นอ่อนพืชสามารถต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งเชื้อราได้ดี เช่น งานวิจัยของมานะ ขาวเมฆ (2562ก) ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคโตซานสจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ พบว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคโตซานสที่สกัดจากต้นอ่อนก้ามปูที่มีอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการย่อย 0.5 ชั่วโมง มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) โดยมีค่า EC_{50} ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์เท่ากับ 11.75 ± 0.1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่า EC_{50} ของสารมาตรฐาน BHT ที่มีค่าเท่ากับ 16.60 ± 0.1 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากงานวิจัยของ Silva et al. (2021) พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาด 6-8 หน่วย สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีที่ความเข้มข้น 250-1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากงานวิจัยของมานะ ขาวเมฆ (2563) ศึกษาโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของโคโตเตโตรส ((GlcNAc)₄) โคโตเพนโตส ((GlcNAc)₅) และโคโตเฮกซอส ((GlcNAc)₆) สามารถยับยั้งเชื้อราได้จำนวน 4 สายพันธุ์ คือ *Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata*, *Magnaporthe oryzae* และ *Setosphaeria oryzae* ที่ความเข้มข้น 5-10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากรายงานการวิจัยของรุ่งสรรค์ คำเสือ และสุภาณี ภาคารูป (2548) ที่มีการตรวจหาโคโตซานส จากเมล็ดพืชไทยจำนวน 20 ชนิด พบว่า พืชไทยทั้ง 20 ชนิด มีเอนไซม์โคโตซานส โดยก้ามปูเป็นพืชที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โคโตซานสสูงที่สุด และจากรายงานการวิจัยของวิชาญ ภูบึงพร้าว และ

สุภาพร ปุกระโทก (2548) พบว่าต้นอ่อนของก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ มีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โคโตซานเนสสูงกว่า เมล็ดและต้นอ่อนอายุ 1, 3 และ 4 สัปดาห์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจนำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์โคโตซานเนสที่ผลิตจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูง ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราและต้านอนุมูลอิสระ ได้ดีมาใช้ทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคโตซานเนสจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสกัดเอนไซม์โคโตซานเนสจากต้นอ่อนก้ามปูที่มีอายุ 2 สัปดาห์ โดยนำต้นอ่อนก้ามปู น้ำหนัก 10 กรัม มาบดให้ละเอียดและเติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่เติมฟีนิลเมธิลซัลโฟนิลฟลูออไรด์หนัก 0.017 กรัม และพอลิไวนิลพอลิไพร์โรลิโดนหนัก 0.50 กรัม นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 25,000 g เป็นเวลา 30 นาที จะได้สารละลายใสของสารสกัดเอนไซม์โคโตซานเนส (Pillai et al., 2009)

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

3. การหาปริมาณโปรตีน โดยปิเปตสารสกัดเอนไซม์โคโตซานเนสปริมาตร 10 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 ให้เป็น 500 ไมโครลิตร เติมสารละลายผสมของคอปเปอร์ซัลเฟต ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที เติมสารละลายฟอลินเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของโปรตีนมาตรฐานโบวีนซีรัมอัลบูมิน (Bovine Serum Albumin; BSA) (Lowry et al., 1951) ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน 3 รอบ

4. การเตรียมโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยปิเปตโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 800 ไมโครลิตร ผสมกับสารสกัดเอนไซม์โคโตซานเนสปริมาตร 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง นำไปต้มในน้ำเดือด 3 นาที และนำของผสมไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 g 10 นาที จะได้สารละลายใสของสารละลายโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Miller, 1959) ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน 3 รอบ

5. การหาปริมาณร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (HPLC) (Koga et al., 1998)

5.1 ปีเปตสารมาตรฐานของกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2-8 หน่วย ที่เข้มข้น 50, 100 และ 150 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้สารเคลื่อนที่ (Mobile Phase) เป็นน้ำและเมทานอล ในอัตราส่วน 60 : 40 โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที ใช้คอลัมน์ Shodex Asahipak NH2P-50 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำค่าพื้นที่ใต้กราฟและค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานกลูโคซามีนและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาสร้างกราฟมาตรฐาน

5.2 ปีเปตโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้การย่อยด้วยเอนไซม์โคโตซานเนส มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC หาปริมาณร้อยละโดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

6. การทดสอบฤทธิ์ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์กับแบคทีเรียจำนวน 8 สายพันธุ์ คือ แกรมบวกประกอบด้วย *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Listeria monocytogenes* ATCC 15313, *Propionibacterium acnes* ATCC 11828, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และแกรมลบประกอบด้วย *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella enterica* ATCC 14028, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802 ด้วยวิธีดิสก์ดีฟิวนซ์ของ Cockerill และคณะ (Cockerill et al., 2012A)

6.1 นำโคโลนีเดี่ยวของแบคทีเรียที่เลี้ยงไว้ในอาหารนิวเทรียนอาการ์ (Nutrient Agar) (ยกเว้น *V. parahaemolyticus* ใช้อาหารนิวเทรียนอาการ์ผสมโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อมูลเลอร์ฮินตันบรอต (Mueller Hinton broth; MHB) (ยกเว้น *V. parahaemolyticus* ใช้ทริปติกซอยบรอต (Tryptic soy broth; TSB) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เลี้ยงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเชื้อมาเจือจางให้ได้ความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland ใช้ไม้พันสำลีที่ปราศจากเชื้อชุบแบคทีเรียที่ปรับความขุ่นแล้วเกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อมูลเลอร์ฮินตันอาการ์ (Mueller Hinton Agar; MHA) (ยกเว้น *V. parahaemolyticus* ใช้ทริปติกซอยอาการ์ (Tryptic Soy Agar)) ทิ้งไว้ประมาณ 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) กับแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus* ใช้ยาปฏิชีวนะแวนมัยซิน (Vancomycin) ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อดิสก์ และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica*, *V. parahaemolyticus* ใช้ยาปฏิชีวนะเซฟตาซิดิม (Ceftazidime) ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อดิสก์ นำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ไม่มีการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Inhibition Zone) โดยวัดหน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

นำแบคทีเรียที่สามารถยับยั้งได้จากข้อ 6.1 มาใช้ทดสอบ โดยนำโคโลนีของเชื้อที่มีอายุประมาณ 24 ชั่วโมง มาเลี้ยงในอาหารเหลวมูลเลอร์ฮินตันบรอต (สำหรับ *V. parahaemolyticus* ใช้ทริปติกซอยบรอต)

บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เจือจางเชื้อให้ได้ความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland นำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อย 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ทำให้มีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 0, 0.195, 0.39, 0.78, 1.56, 3.125, 6.25, 12.5, 25 และ 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยชุดควบคุมผลบวกจะประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับแบคทีเรียปริมาตร 1 มิลลิลิตร ชุดควบคุมผลลบจะประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ละลายด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (MIC) โดยสังเกตหลอดสุดท้ายที่ไม่มีการเจริญของแบคทีเรียหรืออาหารเลี้ยงเชื้อในหลอดไม่ขุ่น อ่านความเข้มข้นของสารทดสอบของหลอดนี้เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

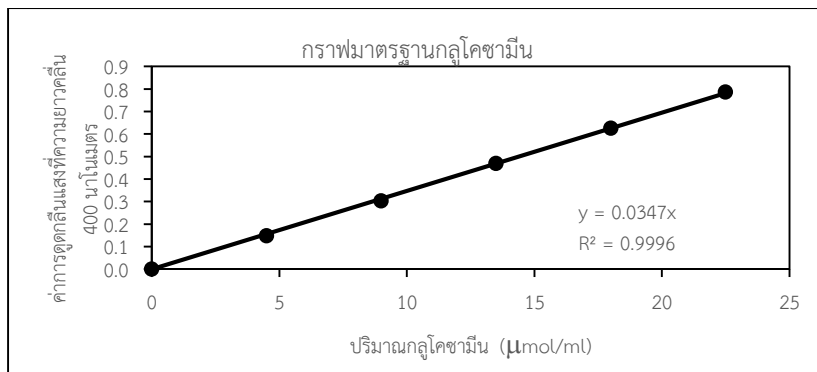
6.3 การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (Minimum Bactericidal Concentration: MBC) นำหลอดที่ไม่มี ความขุ่นจากข้อ 6.2 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เกลี่ย (Spread Plate) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจหาจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ความเข้มข้นต่ำสุดของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (MBC)

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

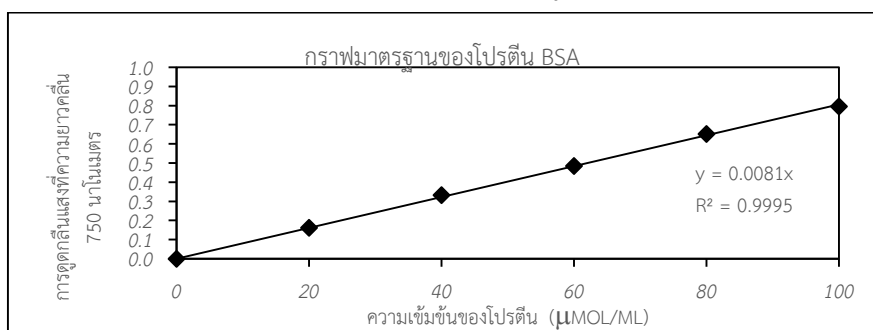
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การหาค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โคโตซานเนส

เอนไซม์โคโตซานเนสที่สกัดจากต้นก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ด้วยโซเดียมอะซิเตดบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4.5 เมื่อนำไปหาค่ากิจกรรมพบว่ามีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร เท่ากับ 0.6865 และนำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกลูโคซามีน (ภาพที่ 1) จะมีค่ากิจกรรมเท่ากับ 20.1926 ยูนิต/มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหาปริมาณโปรตีนโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.3725 และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของโปรตีนมาตรฐาน BSA (ภาพที่ 2) จะมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.9197 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เมื่อนำค่ากิจกรรมและปริมาณโปรตีนมาคำนวณค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โคโตซานเนสจะมีค่าเท่ากับ 21.9556 ยูนิต/มิลลิกรัม เมื่อเปรียบเทียบค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โคโตซานเนสจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ มีค่าสูงกว่าเอนไซม์โคโตซานเนสจากแหล่งอื่นๆ เช่น เอนไซม์โคโตซานเนสจากแบคทีเรีย *Bacillus* sp. Strain KCTC0377BP มีค่ากิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 0.9062 ยูนิต/มิลลิกรัม (Yeon et al., 2004) และเอนไซม์โคโตซานเนสจากเชื้อแบคทีเรีย *Paenibacillus fukunensis* มีค่ากิจกรรมจำเพาะเท่ากับ 0.8614 ยูนิต/มิลลิกรัม (Fukuda et al., 2007) ดังนั้น เอนไซม์โคโตซานเนสจากพืชมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงกว่าเอนไซม์โคโตซานเนสจากแบคทีเรียและเชื้อรา เนื่องจากเอนไซม์โคโตซานเนสจากพืชส่วนใหญ่จะเป็นชนิดภายใน จึงสามารถจับกับโครงสร้างโคโตซานได้ดีกว่า



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานของกลูโคซามีน

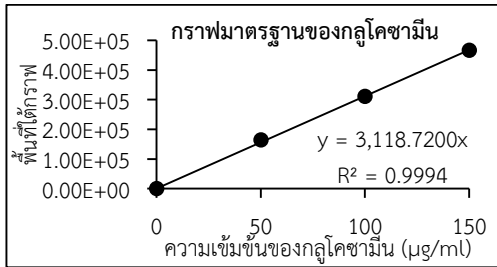


ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานของโปรตีน BSA

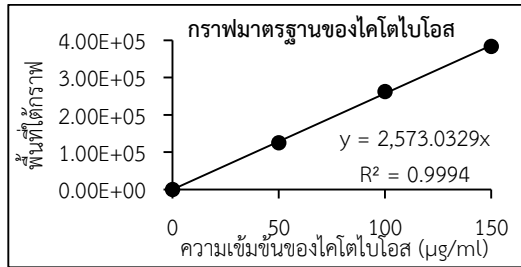
2. การหาปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์

ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยไคโตซาน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร้อยละต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์ไคโตซานเนส จากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูงและเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกลูโคซามีนและไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2 – 8 โมเลกุล (ภาพที่ 3-10) พบว่า ไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการบ่มในช่วงเวลา 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง มีพื้นที่ใต้กราฟของ (GlcN)₁, (GlcN)₂, (GlcN)₃, (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ เท่ากับ 1.22E+05 – 3.02E+06, 1.72E+05 – 2.88E+06, 2.58E+05 – 2.67E+06, 2.35E+05 – 8.92E+05, 3.44E+05 – 1.13E+06, 4.89 E+05 – 2.56E+06, 5.66E+05 – 2.82E+06 และ 8.44E+05 – 3.10E+06 ตามลำดับ เมื่อนำค่าพื้นที่ใต้กราฟไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของกลูโคซามีนและไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 2 – 8 โมเลกุล จะได้ปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการบ่มในช่วงเวลา 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง มี (GlcN)₁, (GlcN)₂, (GlcN)₃, (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ ร้อยละ 1.11-27.34, 1.56-26.03, 2.34-24.19, 2.13-8.08, 3.12-10.23, 4.43-23.16, 5.12-25.49 และ 7.64-28.03 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 โดยปริมาณของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ เมื่อใช้เวลาในการบ่มน้อย (0.5 ชั่วโมง) จะมีปริมาณมาก คือ 8.08, 10.23, 23.16, 25.49 และ 28.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่จะลดลงเมื่อใช้เวลาในการบ่มมากขึ้น ในขณะที่โมเลกุลขนาดเล็กของ (GlcN)₁, (GlcN)₂ และ (GlcN)₃ เพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณร้อยละของไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง รวมกันจะได้เท่ากับ 94.99 ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yan et al. (2007) ศึกษา

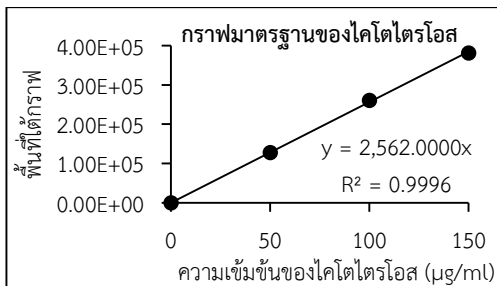
เอนไซม์โคโตซานเนส จากเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* CUY8 และนำเอนไซม์โคโตซานเนสมาย่อยโคโตซาน พบว่า เมื่อใช้ เวลาในการย่อยโคโตซานสั้น คือ 0.5 ชั่วโมง จะมีปริมาณของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ของ $(\text{GlcN})_6$, $(\text{GlcN})_7$ และ $(\text{GlcN})_8$ ที่มีขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก



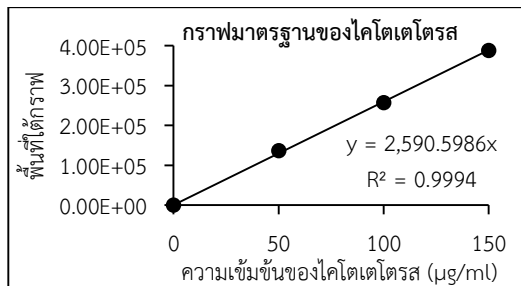
ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานของกลูโคซามีน



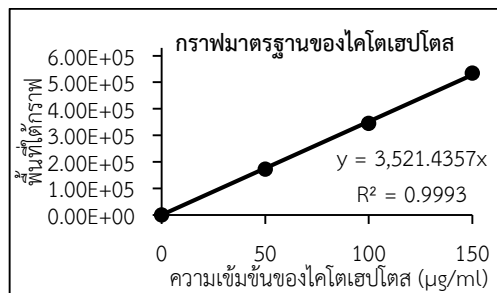
ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานของโคโตไบโอส



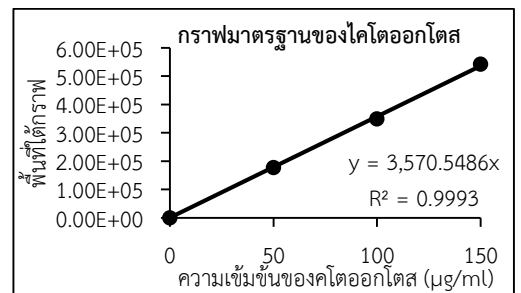
ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานของโคโตไตรโอส



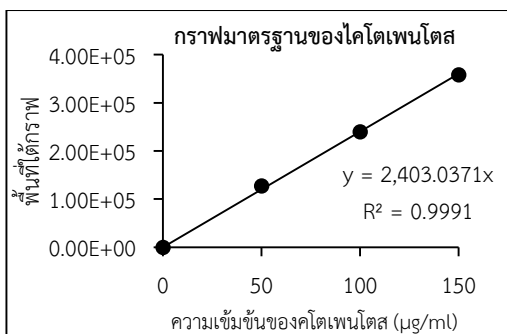
ภาพที่ 6 กราฟมาตรฐานของโคโตไบโอส



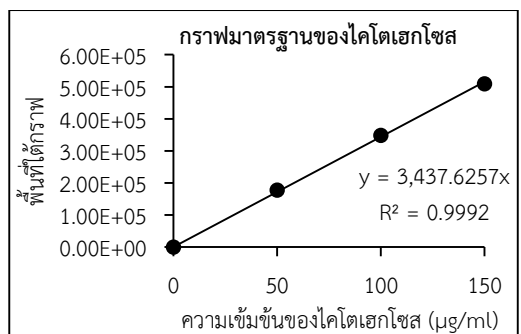
ภาพที่ 7 กราฟมาตรฐานของโคโตเพนโตส



ภาพที่ 8 กราฟมาตรฐานของโคโตเฮกโซส



ภาพที่ 9 กราฟมาตรฐานของโคโตเฮปโตส



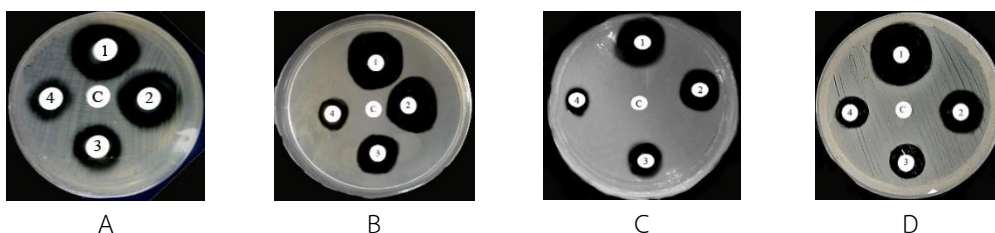
ภาพที่ 10 กราฟมาตรฐานของโคโตออกโตส

ตารางที่ 1 ปริมาณร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์แต่ละชนิดที่ได้จากการบ่มโคโตซาน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กับเอนไซม์โคโตซานจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่มต่างกัน

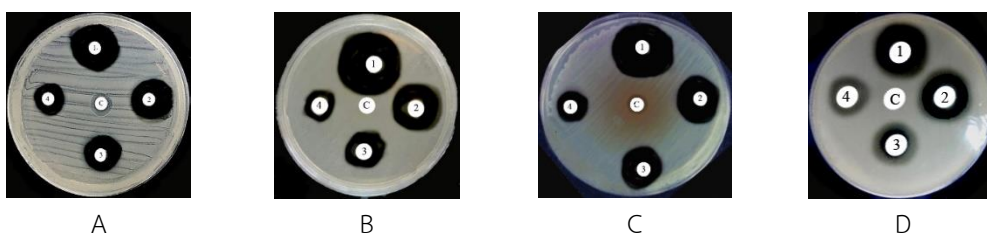
เวลาที่ใช้บ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณร้อยละของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์							
	(GlcN) ₁	(GlcN) ₂	(GlcN) ₃	(GlcN) ₄	(GlcN) ₅	(GlcN) ₆	(GlcN) ₇	(GlcN) ₈
0.5	1.11	1.56	2.34	8.08	10.23	23.16	25.49	28.03
1	14.09	11.48	10.09	6.32	8.67	14.14	16.98	18.23
2	25.69	22.13	16.93	4.44	5.41	7.14	8.87	9.39
4	27.34	26.03	24.19	2.13	3.12	4.43	5.12	7.64

3. ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์

เมื่อนำโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคโตซาน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์โคโตซานจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง มายับยั้งการเจริญของแบคทีเรียเบื้องต้นด้วยวิธีเทคนิคดิสก์ดีฟิฟูชัน (Disc Diffusion Technique) โดยใช้โคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 25 ไมโครลิตรต่อดิสก์ พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาในการบ่ม 0.5 ชั่วโมง ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดโดยยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus* มีความกว้างของ Clear Zone เท่ากับ 28.69, 24.22, 28.25, 27.58 มิลลิเมตร และยับยั้งแบคทีเรีย แกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica*, *V. parahaemolyticus* มีความกว้างเท่ากับ 22.27, 27.28, 23.95, 24.13 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 11, 12 และตารางที่ 2 ตัวควบคุมผลลบและตัวควบคุมผลบวกไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 8 สายพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 11 การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกด้วยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 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 = *P. acnes* และ D = *S. aureus*



ภาพที่ 12 การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบด้วยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่ได้จากการบ่ม 1 = บ่ม 0.5 ชั่วโมง 2 = บ่ม 1 ชั่วโมง 3 = บ่ม 2 ชั่วโมง และ 4 = บ่ม 4 ชั่วโมง A = *E. coli*, B = *P. aeruginosa*, C = *S. enterica* และ D = *V. parahaemolyticus*

ตารางที่ 2 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลารบ่ม 0.5, 1, 2 และ 4 ชั่วโมง

ชนิดแบคทีเรีย	COS จากการบ่ม (ชั่วโมง)	Inhibition Zone (mm)	MIC ($\mu\text{g/ml}$)	MBC ($\mu\text{g/ml}$)
แกรมบวก				
<i>B. cereus</i> ATCC 11778	0.5	28.69 ± 0.12	0.39	0.39
	1	17.12 ± 0.18	1.56	1.56
	2	10.44 ± 0.15	6.25	6.25
	4	8.27 ± 0.21	12.50	12.50
<i>L. monocytogenes</i> ATCC 15313	0.5	24.22 ± 0.12	0.78	0.78
	1	14.31 ± 0.12	3.125	3.125
	2	9.11 ± 0.12	12.50	12.50
	4	7.11 ± 0.12	25	25
<i>P. acnes</i> ATCC 11828	0.5	28.25 ± 0.19	0.39	0.39
	1	18.90 ± 0.15	1.56	1.56
	2	11.74 ± 0.23	6.25	6.25
	4	8.37 ± 0.29	12.50	12.50
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	0.5	27.58 ± 0.19	0.39	0.39
	1	17.93 ± 0.15	1.56	1.56
	2	10.44 ± 0.23	6.25	6.25
	4	7.31 ± 0.29	12.50	12.50
แกรมลบ				
<i>E. coli</i> ATCC 25922	0.5	22.27 ± 0.18	0.39	0.78
	1	14.16 ± 0.14	3.12	1.56
	2	8.61 ± 0.12	12.50	6.25
	4	6.74 ± 0.19	25	12.50
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	0.5	27.28 ± 0.19	0.39	0.39
	1	17.94 ± 0.15	1.56	1.56
	2	10.45 ± 0.23	6.25	6.25
	4	7.16 ± 0.29	12.50	12.50
<i>S. enterica</i> ATCC 14028	0.5	23.95 ± 0.28	0.78	1.56
	1	15.78 ± 0.25	3.12	3.12
	2	8.64 ± 0.20	12.50	12.50
	4	6.11 ± 0.19	25	25
<i>V. parahaemolyticus</i> ATCC 17802	0.5	24.13 ± 0.20	0.78	0.78
	1	16.98 ± 0.18	3.12	3.12
	2	10.14 ± 0.18	12.50	12.50
	4	7.28 ± 0.18	25	25

4. ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (MIC)

จากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำนวน 8 สายพันธุ์ คือ แบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica*, *V. parahaemolyticus* พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากยอยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคโตซานสที่ได้จากการใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (MIC) *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica* และ *V. parahaemolyticus* เท่ากับ 0.39, 0.78, 0.39, 0.39, 0.39, 0.39, 0.78 และ 0.78 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

5. ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (MBC)

จากการทดสอบฤทธิ์การฆ่าเชื้อแบคทีเรียจำนวน 8 สายพันธุ์ คือ แบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica*, *V. parahaemolyticus* พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากยอยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ได้จากการใช้เวลาบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถฆ่าแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica* และ *V. parahaemolyticus* เท่ากับ 0.39, 0.78, 0.39, 0.39, 0.78, 0.39, 1.56 และ 0.78 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ (ดังตารางที่ 2)

จากงานวิจัยของ Rios & Recio (2005) และ Van Vuuren (2008) ได้แบ่งกลุ่มการออกฤทธิ์ของสารโดยใช้ค่า MIC แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ 1. กลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งดีมีค่า MIC < 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 2. กลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งปานกลางมีค่า MIC อยู่ระหว่าง 1-2.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 3. กลุ่มที่มีฤทธิ์ยับยั้งอ่อนมีค่า MIC > 2.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการยอยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โคโตซานสจากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการบ่มทุกช่วงเวลาจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 คือมีฤทธิ์ยับยั้งดี เมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาในการบ่มน้อยคือ 0.5 ชั่วโมงจะยับยั้งแบคทีเรียได้ดีที่สุดคือ มีค่า MIC และ MBC น้อยที่สุด เนื่องจากโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการใช้เวลาในการบ่มน้อยจะมีโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่มาก (GlcN)₄, (GlcN)₅, (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ มาก คือรวมกันเท่ากับ 94.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsai et al. (2000) ศึกษาโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากยอยโคโตซานของเปลือกกุ้งด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด (GlcN)₆, (GlcN)₇ และ (GlcN)₈ จะยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำนวน 4 สายพันธุ์คือ *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium*, and *S. aureus* ได้ดีที่ความเข้มข้น 5-29 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และจากงานวิจัยของ Yamada et al. (1993) พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาด 6-8 หน่วยสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีที่ความเข้มข้น 100-500 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นอกจากนี้งานวิจัยของ Ikigai et al. (1993) ศึกษาเกี่ยวกับสารสกัดจากพืชเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ พบว่าแบคทีเรียแกรมลบมีความสามารถในการต้านทานต่อสารประกอบพอลิฟีนอลิกได้สูงกว่าแบคทีเรียแกรมบวกเนื่องจากในชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีสารลิโปพอลิแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharides) ซึ่งมีสมบัติในการปกป้องเซลล์แบคทีเรียจึงสามารถช่วยป้องกันความเสียหายจากสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ อีกทั้งแบคทีเรียแกรมลบมีโครงสร้างของผนังเซลล์ซับซ้อนกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก สอดคล้องกับงานลักษณะ สุวรรณพินิจและปรีชา สุวรรณพินิจ (2541) แบคทีเรียแกรมลบมีเยื่อหุ้มเซลล์สองชั้นและเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกมีโครงสร้างที่ไม่สมมาตร เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นในเป็นสารฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ในขณะที่เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกประกอบด้วย

สารลิโปลิแซคคาไรด์ โครงสร้างดังกล่าวทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกมีประโยชน์ในการช่วยปกป้องเซลล์ จึงต้องใช้สารสกัดที่มีความเข้มข้นสูงในการยับยั้งแบคทีเรีย

เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากแหล่งต่าง ๆ พบว่า โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการการย่อยของเอนไซม์โคโตซานสที่ได้จากต้นอ่อนก้ามปูอายุ 2 สัปดาห์ที่ใช้เวลาในการบ่ม 0.5 ชั่วโมง สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 8 สายพันธุ์ โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 1.56-6.24 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งดีกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้มาจากแหล่งต่างๆ เช่น Benhabiles et al. (2012) ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 12 สายพันธุ์ ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซานด้วยเอนไซม์ปาเปนพบว่ามีค่า MIC เท่ากับ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร Laoluldilok et al. (2017) ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 4 สายพันธุ์ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซานด้วยเอนไซม์ปาเปนพบว่ามีค่า MIC อยู่ในช่วง 16-32 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร Tsai et al. (2000) ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบจำนวน 10 สายพันธุ์ของโคโตโอลิโกแซคคาไรด์จากการย่อยโคโตซานเปลือกกุ้งด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่ามีค่า MIC อยู่ในช่วง 5-29 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 6-8 หน่วย สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบได้ดี เพราะโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาด 6-8 หน่วย สามารถผ่านชั้นผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเข้าไปภายในเซลล์ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการแสดงออกของยีน (Gene Expression) (Tsai & Su, 1999)

สรุป

โคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโคโตซานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรด้วยเอนไซม์โคโตซานสจากต้นอ่อนก้ามปูที่มีอายุ 2 สัปดาห์ ที่ใช้เวลาในการบ่ม 0.5 ชั่วโมง จะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ของ $(GlcN)_4$, $(GlcN)_5$, $(GlcN)_6$, $(GlcN)_7$ และ $(GlcN)_8$ มากกว่าโมเลกุลขนาดเล็กของ $(GlcN)_1$, $(GlcN)_2$ และ $(GlcN)_3$ ซึ่งสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้ง 8 สายพันธุ์ คือแบคทีเรียแกรมบวก *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *P. acnes*, *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. enterica*, *V. parahaemolyticus* โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC) เท่ากับ 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 ตามลำดับและโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียดีกว่าโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก โดยโคโตโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ของ $(GlcN)_6$, $(GlcN)_7$ และ $(GlcN)_8$ สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. นำผลิตผลโคไโพลิโกลแซคคาไรด์ขนาดต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราโดยการผสมในอาหารบางชนิด
2. นำผลิตผลโคไโพลิโกลแซคคาไรด์มาแยกขนาดต่าง ๆ ออกจากกันให้บริสุทธิ์เพื่อเพิ่มมูลค่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เอกสารอ้างอิง

- นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, และปรีชา สุวรรณพินิจ. (2541). การแยกเชื้อบริสุทธิ์และลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อบริสุทธิ์. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานะ ขาวเมฆ. (2562ก). การต้านอนุมูลอิสระของโคไโพลิโกลแซคคาไรด์ที่ผลิตด้วยโคโตซานจากก้ามปู กระถินบ้าน 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).ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของโคไโพลิโกลแซคคาไรด์จากต้นอ่อนก้ามปู กระถินบ้าน ข้าว กข. 6 และข้าวฟ่าง เเคู 630 ที่ผลิตด้วยเอนไซม์โคติเนส. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 15 (2), 119-130.
- รุ่งสรรค์ คำเสือ, และสุภาณี ภาคารูป. (2548). การตรวจหาเอนไซม์โคโตซานจากเมล็ดพืช Graminea และ Leguminosae. โปรแกรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์: ปทุมธานี. 38 หน้า.
- วิชาญ ภู่งพรวัว, และสุภาพร ปุระโกทก. (2548). การหาเอนไซม์โคโตซานจากพืชไทย. โปรแกรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์: ปทุมธานี. 41 หน้า.
- Aam, B. B., Heggset, E. B., Norberg, A. L., Sorlie, M., Varum, K. M. & Eijsink, V. G. H. (2010). Production of Chitooligosaccharides and their Potential Applications in Medicine. **Marine Drugs**. 8(5), 1482-1517.
- 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.

- Chernin, 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.
- Ganan, M., Lorentzen, S. B., Gaustad, P. & Sorlie, M. (2021). Synergistic Antifungal Activity of Chito-Oligosaccharides and Commercial Antifungals on Biofilms of Clinical Candida Isolates. **Journal of Fungi**. 7(9), 718. <https://doi.org/10.3390/jof7090718>.
- 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.
- Lievens, B., Houterman, P. M. & Rep, M. (2009). Effector Gene Screening Allows Unambiguous Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Races and Discrimination from other Formae Specials. **FEMS Microbiology Letters**. 300(2), 201–215.
- Lowry, O. H., Rosebroughly N. J., Farr, A. L. & Randall, R. J. (1951). Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**. 193, 256-257.

- Miller, G. C. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Estermination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**. 31, 426-428.
- 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
- Salgaonkar, N., Prakash, D., Nawani, N. N., & Kapadnis, B.P. (2015). Comparative Studies on Ability of N-acetylated Chitooligosaccharides to Scavenge Reactive Oxygen Species and Protect DNA from Oxidative Damage. **Indian Journal of Biochemistry**. 14, 186-192.
- Silva, N. S. D, Araujo, N. K., Daniele-Silva, A., Oliveira, J. W. F., Medeiros, J. M., Araujo, R. M., Ferreira, L. S., Rocha, H. A. O., Silva-Junior, A. A., Silva, M. S., & Fernandes-Pedrosa, M. F. (2021). Antimicrobial Activity of Chitosan Oligosaccharides with Special Attention to Antiparasitic Potential. **Marine Drugs**. 19(2), 110. <https://doi.org/10.3390/md19020110>.
- 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.
- Yan, W., Peigen, Z., Jianxing, Y., Xiaorong, P., Pingping, W., Weiqing, L. and Shendan, T. (2007). Antimicrobial Effect of Chitooligosaccharides Produced by Chitosanase from *Pseudomonas* CUY8. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**. 16(1), 174-177.
- 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.
- Yeon, J. C., Eun, J. K., Zhe, P., Young, C. Y. & Yong, C. S. (2004). Purification and Characterization of Chitosanase from *Bacillus* sp. Strain KCTC 0377BP and Its Application for the Production of Chitosan Oligosaccharides. **Applied Environmental Microbiology**. 70(8), 439-446.

การศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับโรงเรือนปลูกผักสลัด

ธีรวัฒน์ ชื่นอัศตงค์ต^{1*} ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล²

Received : June 15, 2022

Revised : November 30, 2022

Accepted : December 8, 2022

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาและทดสอบสมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนระบบพ่นหมอกโดยอาศัยการพ่นหมอกเพื่อทำให้เกิดการระเหยน้ำด้วยความร้อนแฝงและใช้พัดลมช่วยในการระบายความร้อนสะสมออกจากโรงเรือน โดยใช้ตัวอุปกรณ์เปิดและปิดไฟฟ้า SONOFF WiFi เป็นโมดูลสำหรับควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงเรือนผ่านทางสมาร์ตโฟน การเปิดและปิดหัวพ่นหมอกเพื่อให้น้ำกับผักสลัดใช้เซนเซอร์ตัววัดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อเป็นการตรวจสอบดูผลป้อนกลับที่ได้ เพื่อเป็นการควบคุมสมดุลของอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามที่ต้องการซึ่งทำการสั่งงานผ่านทางสมาร์ตโฟน การส่งกำลังของน้ำใช้ปั้มน้ำแรงดันสูงขนาด 24 โวลต์ 6.9 bar ติดตั้งร่วมกับหัวพ่นหมอกขนาด 0.6 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว และพัดลมระบายอากาศแบบขวางขนาด 4 นิ้ว ทำการระบายอากาศออกนอกโรงเรือนจำนวน 2 ตัว การตรวจสอบผลของอุณหภูมิและความชื้นที่ได้สามารถตรวจสอบผ่านทางแอปพลิเคชัน eWeLink ที่ทำเชื่อมต่อการทำงานผ่าน WiFi กับ SONOFF WiFi ผลการทดสอบพบว่า สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 26 ถึง 31 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมภายนอกสามารถลดได้สูงสุด 8 องศาเซลเซียส โรงเรือนสามารถควบคุมความชื้นได้ตั้งแต่ร้อยละ 70 ถึง 87 ดังนั้น การควบคุมสมดุลของอุณหภูมิและความชื้นสามารถทำได้ในขอบเขตที่กำหนด แต่ในการสั่งงานจากสมาร์ตโฟนไปสู่ SONOFF WiFi นั้นยังคงพบปัญหาในด้านระยะเวลาการตอบสนองที่มีความช้าในช่วงเวลาที่มีความขัดข้องทางอินเทอร์เน็ต

คำสำคัญ: การปลูกผักสลัด โมดูล SONOFF WiFi โรงเรือนเพาะปลูกผักสลัด

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

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี อีเมล: sarayut134@gmail.com

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

STUDY AND DEVELOPMENT OF HUMIDITY AND TEMPERATURE CONTROL SYSTEM BY USING SMARTPHONES FOR LETTUCE GREENHOUSES

Teerawat Chuenatsadongkot^{1*} Sarayut Chitphutthanakul ²

Abstract

This research article aimed at studying and testing the temperature and humidity control performance of a greenhouse fogging system. It used fogging to evaporate water with latent heat and used fans to help dissipate the accumulated heat from the greenhouse. The SONOFF WiFi was used as a module for turning the electrical devices in the greenhouse on and off via a smartphone. A temperature and humidity sensor was used for turning the fogging nozzles on and off to water the lettuce and to monitor the feedback. This is to control the balance of temperature and humidity as desired, which can be operated via a smartphone. A 24 V 6.9 bar high-pressure water pump was installed for water transmission with 4 fogging nozzles of 0.6 millimeters and a 4 inch cross section ventilation fan. Two fan to ventilate the greenhouse. Temperature and humidity results could be were used checked via the eWeLink application that was connected via WiFi to SONOFF WiFi. Temperature can be controlled in the range of 26 to 31 °C, and the temperature from the outside environment can be reduced by a maximum of 8 °C. The greenhouse could control humidity in the range 70% to 87%. Therefore, the balance of temperature and humidity can be controlled within certain limits. In order to work from smartphone to SONOFF WiFi, there was still a problem of delay response time during some internet interruptions.

Keywords: Lettuce cultivation, SONOFF WiFi module, Greenhouse

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

² Lecturer of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, e-mail: sarayut134@gmail.com

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

บทนำ

ในปัจจุบันมีการเพาะปลูกผักกันได้หลายวิธี ทั้งการปลูกแบบบนดินตามปกติ การปลูกแบบไม่ใช้สารเคมี การปลูกแบบใช้น้ำเป็นหลัก ซึ่งการปลูกแต่ละวิธีก็จะมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การปลูกในเชิงธุรกิจก็จะมีการวางระบบโครงสร้างในการดูแลผักชนิดนั้นๆ ที่มีขนาดใหญ่ แต่ถ้าเป็นการปลูกของเกษตรกรรายย่อย การปลูกของกลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก หรือการปลูกภายในครัวเรือนก็จะมี การวางโครงสร้างที่มีขนาดเล็กลงให้เหมาะสมกับปริมาณผลผลิตที่ต้องการ และต้นทุนที่ต้องใช้ การปลูกผักในโรงเรือนก็เป็นอีก 1 วิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมาก การปลูกผักในโรงเรือนมีข้อดีอยู่มาก ทั้งสามารถควบคุมธาตุอาหารให้เหมาะสมกับผักได้ดี ลดปัญหาในการที่ผักไปปนเปื้อนเชื้อโรคได้มาก นอกจากนั้นการมีโรงเรือนครอบคลุมบริเวณเพาะปลูกจะป้องกันแมลงหรือศัตรูพืชได้ และที่สำคัญยังสามารถควบคุมสภาพอากาศให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักชนิดนั้น ๆ ได้ง่าย (เฉลิมชาติ เสาวรัง และคณะ, 2561) จากเหตุผลที่ว่าพืช และผักแต่ละชนิดก็จะมีความต้องการสภาวะ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันออกไป การสร้างโรงเรือนจึงต้องมีการพัฒนาเพื่อตอบสนองสภาวะแวดล้อมเหล่านั้น

ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตของผักส่วนใหญ่ ประกอบไปด้วย อุณหภูมิ โดยรอบในการเพาะปลูก ความชื้นของสภาพอากาศและความชื้นของดิน รังสีของแสงอาทิตย์ที่มากกระทบบสู่ผัก ธาตุอาหารภายในดิน ความบริสุทธิ์ของอากาศโดยรอบ เป็นต้น (ปิตุพร พิมพาเพชร, 2564) การพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกผักส่วนใหญ่ในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อควบคุมปัจจัยเหล่านี้ โดย ธนากร น้ำหอมจันทร์ และอดิกร เสรีพัฒนานนท์ (2557) ได้พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ ผลจากการพัฒนาโรงเรือนสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ในบริเวณโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิได้ไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการปลูกพืชไร้ดินในโรงเรือน โดยอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ย 30.45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยร้อยละ 80.54 แต่ในงานวิจัยนี้ยังประสบปัญหาในบางช่วงเวลาค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิยังมีค่าเกินกว่าที่กำหนด อาจเกิดจากสภาพอากาศภายนอกที่มีความแปรปรวนมากเกินไป นอกจากนั้น อัมภูวงศ์ บุญศรี และคณะ (2563) ได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าด้วยระบบสมาร์ตโฟน ผลที่ได้รับระบบควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนสามารถตอบสนองต่อการสั่งงานได้เป็นอย่างดี โรงเรือนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนให้มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ 26.46 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยของความชื้นในโรงเรือนร้อยละ 91.19 สิ่งที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ระบบการสั่งงานด้วยแอปพลิเคชันสมาร์ตโฟนสามารถใช้ในการควบคุมสภาวะของอุณหภูมิและความชื้นภายในระบบโรงเรือนเพาะปลูกขนาดกลางได้เป็นอย่างดี โดยมีการตอบสนองที่ไวต่อคำสั่ง

ทั้งนี้การพัฒนาระบบเพาะปลูกในโรงเรือนเพาะปลูกโดยควบคุมการดูแลรักษาผ่านทางไกลยังคงมีข้อกังขาบางส่วนว่าคุณภาพของผลผลิตที่ได้จะยังคงมีคุณภาพสูงเหมือนกับดูแลรักษาด้วยวิธีปกติหรือไม่ โดยงานวิจัยของ ปิยวัตร มากศรี และคณะ (2564) ได้มีการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลผลิตที่ได้จากการควบคุมด้วยระบบเทคโนโลยี กับผลผลิตที่ได้จากการเพาะปลูกแบบปกติด้วย พบว่า ผักที่ดูแลผ่านเทคโนโลยีสามารถเจริญเติบโตได้ตามมาตรฐานเมื่อเทียบกับการปลูกในแปลงปลูกในดินแบบปกติ จำนวนใบและความเข้มของสีใบมีไม่น้อยกว่าแบบปลูกในดินแบบปกติ แต่จะยังไม่คงที่ตลอดแปลงที่ดูแลด้วยเทคโนโลยี จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการปลูกในโรงเรือนด้วยเทคโนโลยีสามารถผลิตพืชผักได้คุณภาพใกล้เคียงกับการปลูกในดินแบบปกติ แต่จะต้องมีการพัฒนาเพื่อควบคุมคุณภาพของผลผลิตในแปลงให้ได้เท่ากันทั่วทั้งแปลงมากขึ้น ในงานวิจัยของ เทพ เกื้อทวีกุล และคณะ (2564) ได้มีการพัฒนาระบบรดน้ำแบบน้ำหยดโดยควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติและควบคุมการทำงานผ่านสมาร์ทโฟนสำหรับชุมชน ซึ่งได้มีการนำระบบที่พัฒนาขึ้นแล้วนั้นไปทดลองเพื่อใช้งานจริงกับชุมชนขนาดเล็ก ผลที่ได้พบว่าระบบที่พัฒนานั้นสามารถควบคุมการรดน้ำได้เป็นอย่างดี และมีผลตอบรับจากชุมชนผู้ใช้งานจริงเป็นอย่างดี จากงานวิจัยนี้ทำให้เห็นได้ว่าระบบการควบคุมด้วยสมาร์ทโฟนได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานจริง ถ้าระบบควบคุมมีประสิทธิภาพสูง และการใช้งานระบบควบคุมนั้นไม่ยากจนเกินไป

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาไปทั้งหมดนั้นแสดงให้เห็นได้ว่าในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผักภายในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยสมาร์ทโฟนอย่างแพร่หลาย และในระบบที่มีคุณภาพสูงจะได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานจริงเป็นอย่างดี นอกจากนั้นโรงเรือนเพาะปลูกที่พัฒนาขึ้นมายังสามารถใช้ได้กับพืชหลายจำพวกตั้งแต่ผลไม้ขนาดเล็ก เห็ด และพืชผักสวนครัวต่าง ๆ เนื่องจากทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดสอบโรงเรือนภายในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งมีอากาศที่ขึ้นเป็นอย่างมาก ทางผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมโรงเรือนด้วยพืชผักที่ต้องการน้ำในการเจริญเติบโตเป็นหลัก ซึ่งผักสลัดเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม เพราะมีการเจริญเติบโตด้วยน้ำเป็นหลัก ส่วนปัจจัยด้านอุณหภูมิและแสงแดดจะส่งผลต่อสีของใบ ละขนาดความกว้างของใบเป็นหลัก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) เพื่อเป็นการยืนยันถึงการปลูกผักสลัดด้วยระบบควบคุมที่มีการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี ทางผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการนำเทคโนโลยีมาใช้ดูแลการเจริญเติบโตของผักสลัดเพิ่มเติม โดยในงานวิจัยของ ศุภฤกษ์ เชาวลิตรระกูล (2560) ได้ทำการพัฒนาระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติโดยการใช้เซนเซอร์วัดแสงรับส่งไปยังชุดควบคุมอาตุรีโนแบบเรียลไทม์เพื่อประมวลผลและสั่งรีเลย์เปิด-ปิดไฟ LED ทดแทนแสงแดด ใช้เซนเซอร์วัดระดับน้ำรับค่าจากปริมาณน้ำในระบบส่งไปยังอาตุรีโนแบบเรียลไทม์ โดยผลการทดสอบพบว่า การควบคุมแสงด้วยเซนเซอร์ควบคุม LED สามารถควบคุมแสงได้ดีกว่าการปลูกด้วยวิธีแบบธรรมดาที่แสงแดดมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ส่วนการควบคุมน้ำสามารถควบคุมให้อยู่ในสภาวะสมดุลได้ดี ทำให้ผักสลัดที่ปลูกในระบบสามารถเติบโตได้อย่างเต็มที่และเติบโตได้

เร็วกว่าวิธีปลูกแบบธรรมดา 10 วันและมีขนาดใบที่ใหญ่ผักสลัดที่ปลูกด้วยวิธีธรรมดา จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้สามารถยืนยันได้ว่าสามารถปลูกผักสลัดโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งได้ผลผลิตที่มีคุณภาพไม่ด้อยไปกว่าการปลูกในวิธีปกติ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบเพื่อทดสอบสมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นภายในโรงเรือนเพาะปลูกขนาดเล็กโดยใช้ระบบควบคุมผ่านสมาร์ตโฟนที่ทำการเชื่อมต่อกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน เพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนที่มีความเหมาะสมกับการเพาะปลูกผักสลัด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกผักสลัดผ่านสมาร์ตโฟนด้วยโมดูล SONOFF WIFI
2. เพื่อทดสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยระบบควบคุมผ่านสมาร์ตโฟน

วิธีดำเนินการวิจัย

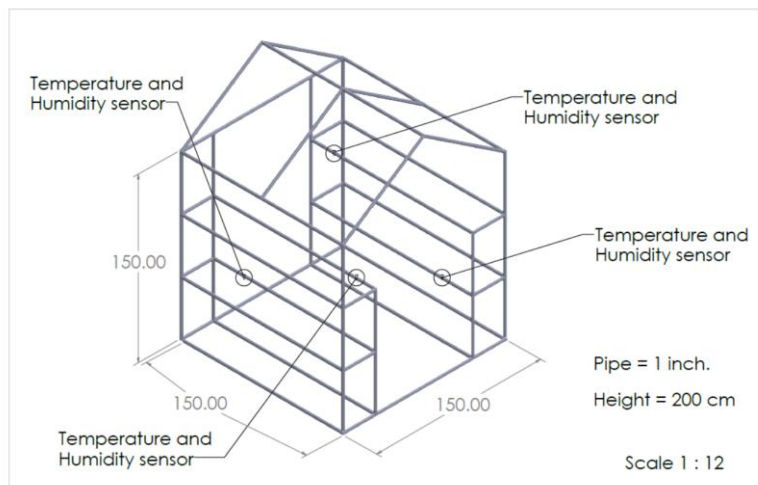
การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนโดยรวมทั้งตั้งแต่ศึกษาข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการเพาะปลูกผักสลัดไปสู่การพัฒนาโรงเรือนเพื่อนำมาใช้เพาะปลูก ต่อยอดไปสู่การนำระบบการควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนเข้ามาใช้งานกับโรงเรือนเพาะปลูก และสุดท้ายเป็นการทดสอบสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้นมา รายละเอียดได้แบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก 4 ข้อ ดังนี้

1. สภาพที่เหมาะสมต่อการปลูกผักสลัด

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์แบบไร้ดิน ไม่ว่าจะเป็นผักสลัดชนิดใด ควรมีการควบคุมปัจจัยภายในโรงเรือนให้เหมาะสมอยู่เสมอ เนื่องจากปัจจัยภายในเหล่านี้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของผักสลัด หรือระยะเวลาโดยรวมที่สามารถเก็บผักสลัดเหล่านี้ได้ ปัจจัยภายในโรงเรือนที่ควบคุมได้ประกอบไปด้วยอุณหภูมิโดยรวมภายในโรงเรือน ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน และสถานะแสงแดดที่กระทบกับโรงเรือน ในการเพาะปลูกผักสลัดในโรงเรือนเพาะปลูกระบบปิด จะต้องมีการควบคุมให้มีอุณหภูมิภายในโรงเรือนอยู่ในช่วง 20-27 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดมากที่สุด และมีความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 เพื่อไม่ให้ใบเกิดความชื้นมากเกินไปจนเน่า และความชื้นไม่น้อยเกินไปจนใบเหี่ยว (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2554)

2. โรงเรือนเพาะปลูก

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน ดังนั้นโครงสร้างของโรงเรือนที่ใช้จะมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากนัก และมีน้ำหนักที่เบาเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายสถานที่เพาะปลูก โดยขนาดของโครงสร้างโรงเรือน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดของโครงสร้างโรงเรือนปลูกผักสลัด

จากภาพที่ 1 ได้ทำการออกแบบโครงสร้างโรงเรือนสำหรับปลูกผักสลัดที่ใช้ในครัวเรือน ในการออกแบบจะใช้ท่อเหล็กกลวงขนาด 1 นิ้ว มีความหนาของขอบท่อ 0.8 เซนติเมตร ขนาดโดยรวมจะมีด้านกว้าง 150 เซนติเมตร ด้านยาว 150 เซนติเมตร ความสูงโดยรวมของโรงเรือนประมาณ 200 เซนติเมตร เมื่อทำการประกอบโครงสร้างของโรงเรือนทั้งหมดแล้ว ทำการติดตั้งผ้าใบคลุม โดยเลือกใช้ผ้าพีอี ที่มีความเหนียวทนทานต่อการฉีกขาดเมื่อโดนลม และยังช่วยกรองแสงแดดได้ร้อยละ 20 กันฝน กันรังสียูวีร้อยละ 7 และทนต่อสารเคมี ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โรงเรือนปลูกผักสลัดเมื่อคลุมผ้าใบแล้ว

3. ระบบการควบคุมสมดุลภายในโรงเรือนเพาะปลูก

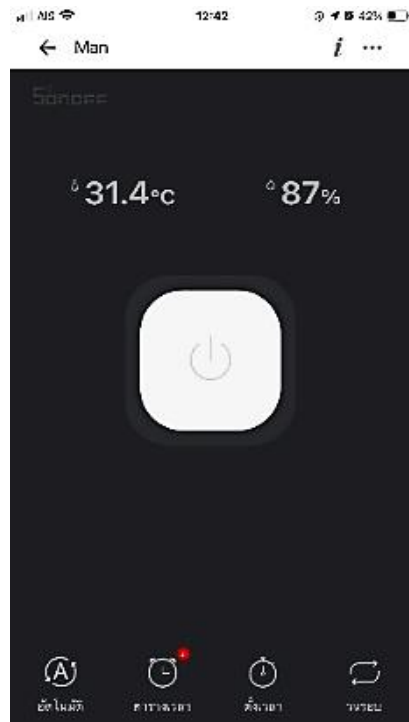
สำหรับระบบการทำงานเพื่อควบคุมสมดุลของอุณหภูมิและความชื้นจะใช้การพ่นหมอกด้วยหัวพ่นหมอก fogging การส่งกำลังหรือเพิ่มแรงดันของน้ำใช้ปั้มน้ำความดันสูงขนาด 24 โวลต์ 6.9 bar ดังภาพที่ 3 ติดตั้งร่วมกับหัวพ่นหมอกขนาด 0.6 มม. ปริมาณน้ำ 7.5 ลิตร/ชม. จำนวน 4 ตัว ดังภาพที่ 4 เพื่อความทั่วถึงของการปรับสมดุลทั่วทั้งโรงเรือน และได้ทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศแบบขวาง 4 นิ้ว เพื่อทำการช่วยระบายอากาศออกนอกโรงเรือนจำนวน 2 ตัว การวัดค่าของอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนจะใช้โมดูลเซ็นเซอร์ DHT22 ซึ่งใช้ร่วมกับบอร์ดควบคุม ซึ่งได้มีการนำโมดูลวัดค่าดังกล่าวมาเทียบวัดเพื่อทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ก่อนนำมาติดตั้งใช้งานกับโรงเรือน ระบบการทำงานเบื้องต้นของโรงเรือนเพื่อควบคุมสมดุลภายในโรงเรือนเป็นการใช้โมดูลควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสาร์ทโฟนโดยทำการควบคุมและตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ด้วยแอปพลิเคชัน eWeLink ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 3 ปั้มน้ำความดันสูงขนาด 24 โวลต์ 6.9 bar



ภาพที่ 4 พ่นหมอกขนาด 0.6 มม.

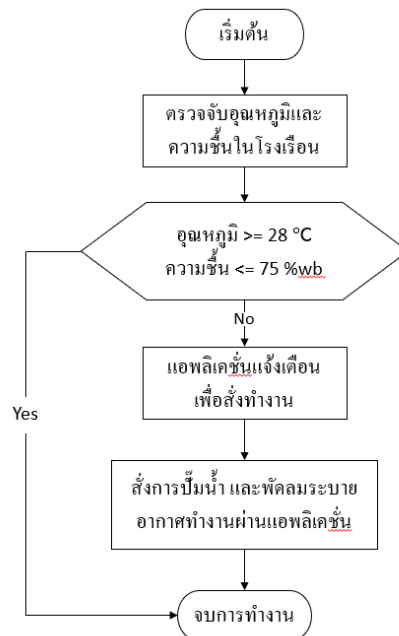


ภาพที่ 5 แอปพลิเคชัน eWeLink สำหรับตรวจสอบผลของอุณหภูมิและความชื้น

การตรวจสอบผลของอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนจะทำได้โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดค่าเอาไว้ภายในบริเวณของโรงเรือนเพาะปลูก ทำการเชื่อมต่อระบบสั่งงานของหัวพ่นหมอก พัดลมระบายอากาศเข้ากับ SONOFF WiFi ดังภาพที่ 6 การทำงานของอุปกรณ์ SONOFF WiFi จะทำงานผ่านระบบเครือข่าย WiFi และสามารถเชื่อมต่อการทำงานเข้ากับแอปพลิเคชัน eWeLink ได้จึงสามารถสั่งการทำงานของหัวพ่นหมอก และระบายความร้อนด้วยพัดลมได้ผ่านสมาร์ทโฟน การทำงานของอุปกรณ์ SONOFF WiFi กับ แอปพลิเคชัน eWeLink สามารถทำได้โดยการตั้งเวลาเปิดและปิดการทำงานของหัวพ่นหมอก และพัดลมระบายอากาศให้เป็นไปตามเวลาที่ต้องการได้ตลอด 24 ชั่วโมง นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติได้โดยการตั้งค่าให้แอปพลิเคชัน eWeLink มีการแจ้งเตือนเมื่อค่าของอุณหภูมิ และความชื้นมีความแปรปรวนมากเกินไปเพื่อสามารถสั่งงานการทำงานของหัวพ่นหมอก และพัดลมระบายอากาศ สำหรับควบคุมสมดุลภายในโรงเรือนเพาะปลูกได้ทัน การสั่งงานจะเป็นไปตามแผนผัง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 อุปกรณ์สั่งเปิด-ปิดการทำงานของระบบ



ภาพที่ 7 แผนผังการสั่งงานผ่านแอปพลิเคชัน eWeLink

4. ปัจจัยที่ใช้ประเมินสมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในการประเมินสมรรถนะของระบบควบคุมสมดุลของอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนเพาะปลูก ได้ทำการกำหนดปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมสมดุลภายในโรงเรือนเพาะปลูก ได้แก่ การลดลงของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก และการควบคุมความชื้นเมื่อเทียบกับภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก สำหรับช่วงระยะเวลาของการเก็บผลจากการทดสอบ ทางผู้วิจัยได้เลือกช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 7.00 – 18.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีสภาวะแวดล้อมเหมาะสมเข้ามามากกระทบกับโรงเรือนเพาะปลูก ทำให้อากาศ

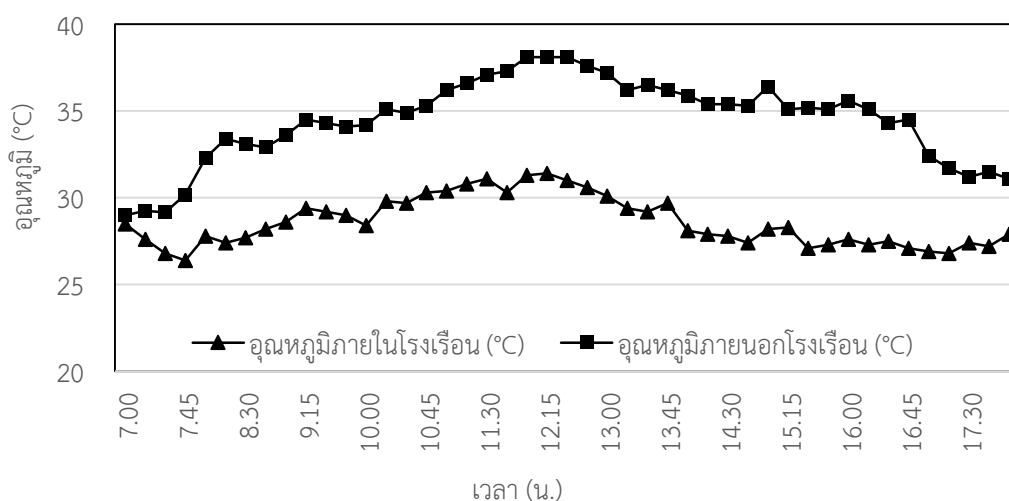
ภายในโรงเรือนและบริเวณโดยรอบค่อนข้างมีอากาศที่ร้อน ส่วนความชื้นจะแปรผันไปตามสภาพอากาศในแต่ละวัน เนื่องด้วยจังหวัดจันทบุรีซึ่งเป็นจังหวัดที่ถูกเลือกในการทดสอบ มีสภาพอากาศที่แปรปรวนตลอดทั้งปี เนื่องจากมีสวนผลไม้และป่าไม้ในปริมาณมาก ทำให้ฝนตกตลอดทั้งปี สำหรับช่วงเดือนที่เลือกทดสอบทางผู้วิจัยได้เลือกช่วงเดือนมีนาคม ซึ่งจะมีช่วงเวลาที่ฝนเว้นระยะการตกหรือไม่เกิดพายุรบกวนการทดสอบ นอกจากนั้นการทดสอบได้ทำการคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของระยะเวลาเดียวกันของแต่ละวันที่ทำการทดสอบ เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละวันแตกต่างกันออกไป การคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเป็นการคิดเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนจากหลายวันในช่วงเวลาที่ต้องการ เพื่อให้ผลที่ได้ไม่เฉพาะเจาะจงของวันหนึ่งมากเกินไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดสอบได้เลือกทดสอบตั้งแต่วันที่ 6 – 20 มีนาคม 2565 ในเวลา 7.00 น. – 18.00 น. ผลการทดสอบจะแสดงออกมาเป็นค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาในแต่ละวัน แสดงออกมาได้ดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิจากภายนอก

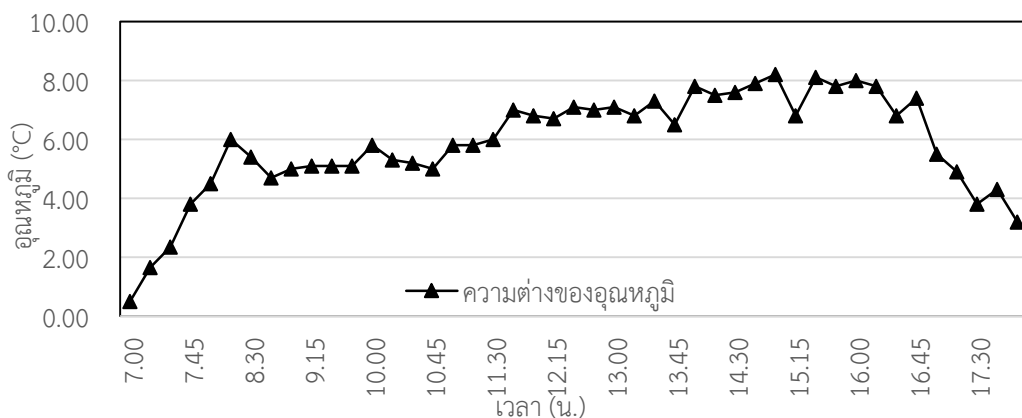
ในการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิจากบริเวณภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก เป็นการวัดค่าของอุณหภูมิที่บริเวณภายนอกโรงเรือนในตำแหน่งใกล้เคียงที่ตั้งโรงเรือน กับวัดค่าอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมสมดุลอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะปลูก โดยการเก็บค่าจะทำการเก็บค่าไปพร้อมกัน ในช่วงระยะเวลาเดียวกันเพื่อให้ได้ค่าที่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างได้จริงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 อุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะปลูกในช่วงเวลาเดียวกัน

จากภาพที่ 8 แสดงแนวโน้มของอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนอย่างชัดเจนตามช่วงเวลา โดยในช่วงเวลาเช้าที่ 7.00 น. อุณหภูมิยังคงมีค่าต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจนกระทั่งถึงช่วงเวลาที่ 12.00 น. อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนมีค่าสูงที่สุด

ในช่วงเวลาทดสอบประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อผ่านช่วงเวลาที่ 12.00 น. ไปแล้วนั้นแนวโน้มของอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนจะลดลงจนกระทั่งถึงช่วงเวลาที่ 18.00 น. อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนจะกลับมามีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส ในส่วนของค่าอุณหภูมิที่ทำการควบคุมภายในโรงเรือนเพาะปลูก ได้มีการเปิดหัวพ่นหมอก และพัดลมระบายอากาศเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิมีค่าไม่สูงจนเกินไป ซึ่งอุณหภูมิที่ทำการควบคุมได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 26 – 31 องศาเซลเซียส ตามสภาวะของอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนไม่สูงมากนัก การควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนสามารถทำได้ง่าย จึงสามารถควบคุมให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าที่ต่ำอยู่ที่ประมาณ 26 – 27 องศาเซลเซียสได้ดี แต่เมื่ออุณหภูมิภายนอกมีค่าสูงการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนทำได้ยากขึ้นอันเนื่องมาจากอุณหภูมิตกค้างภายในโรงเรือน จึงต้องมีการสั่งเปิดหัวพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศมากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. แต่อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาดังกล่าว ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้มีค่าอยู่ประมาณ 30 – 31 องศาเซลเซียสได้ ซึ่งถือว่าทำการลดอุณหภูมิจากบริเวณภายนอกโรงเรือนได้มากพอสมควร เพื่อความชัดเจนของการลดอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาจึงได้ทำการคำนวณเป็นค่าความต่างของอุณหภูมิภายนอก กับอุณหภูมิภายในที่ทำการควบคุม แสดงออกมามีค่าที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถลดอุณหภูมิได้สูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 8 องศาเซลเซียส โดยเกิดขึ้นในเวลาประมาณ 16.00 น. เป็นเวลาที่แสงจากแดดภายนอกเริ่มมีอุณหภูมิที่ลดลง และภายในโรงเรือนมีการระบายอุณหภูมิตกค้างจนภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิที่ต่ำมาก

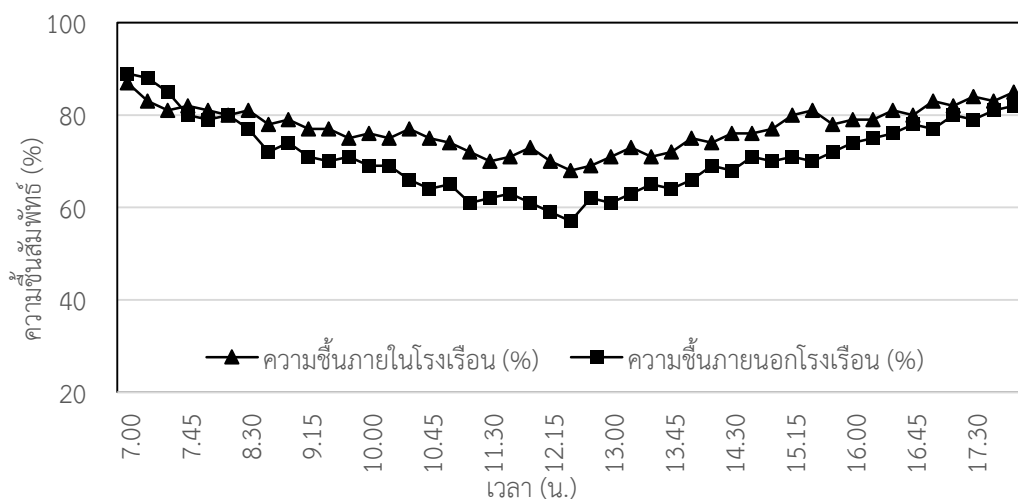


ภาพที่ 9 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในโรงเรือนเพาะปลูก

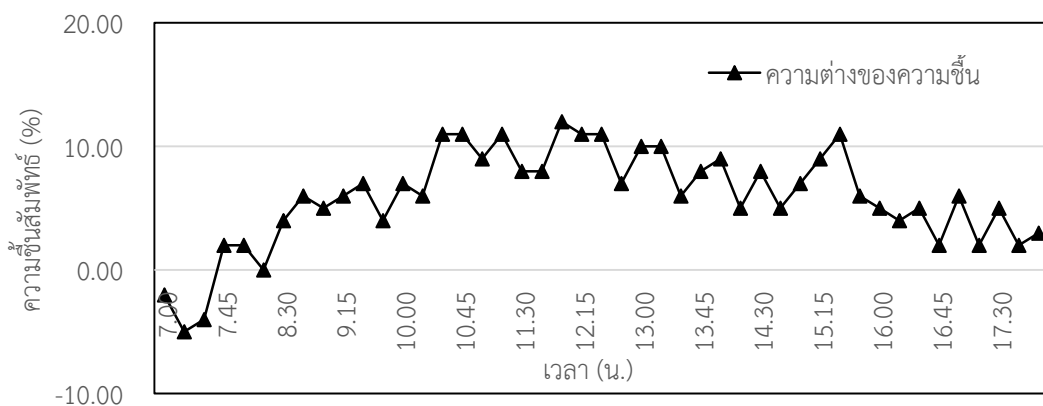
2. ผลการทดสอบการควบคุมความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

ในการทดสอบผลของความสามารถในการควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนเพาะปลูก เป็นการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่บริเวณภายนอกโรงเรือนในตำแหน่งใกล้เคียงที่ตั้งโรงเรือน กับวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะปลูก โดยการเก็บค่าจะทำการเก็บค่าไปพร้อมกัน ที่ช่วงระยะเวลาเดียวกันเพื่อให้ได้ค่าที่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างได้จริงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 10 ซึ่งแสดงแนวโน้มของความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนอย่างชัดเจนตามช่วงเวลา โดยในช่วงเวลาเริ่มต้นที่ 7.00 น. ความชื้นยังมีค่าสูงอยู่ที่ประมาณ 88% เนื่องจากอากาศยังมีความเย็นอยู่บ้างและยังคงมีความชื้นตกค้างจากน้ำค้างคงอยู่ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความชื้น

สัมพัทธ์จะมีค่าลดลงจนกระทั่งถึงช่วงเวลา 12.00 น. ความชื้นภายนอกโรงเรือนลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ 5 ประมาณ 57% จากนั้นเมื่อผ่านช่วงเวลา 12.00 น. ไปแล้วนั้นแนวโน้มของความชื้นภายนอกโรงเรือนจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงช่วงเวลา 18.00 น. ความชื้นจะเพิ่มขึ้นไปถึง 81% จากความชื้นภายนอกโรงเรือนที่ได้จะเห็นได้ว่าความชื้นอากาศบริเวณสถานที่ทดสอบมีค่าที่สูงมากพอสมควรอยู่แล้ว เนื่องมาจากที่บางช่วงเวลาที่ทดสอบมีฝนตก หรือมีเมฆมาก ทำให้มีความชื้นอากาศที่สูง ดังนั้นการควบคุมสมดุลของความชื้นภายในโรงเรือนสามารถควบคุมให้อยู่ในค่าที่กำหนดในช่วง 60% – 80% ได้ง่ายกว่าการควบคุมสมดุลของอุณหภูมิ ผลของการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนด้วยหัวพ่นหมอก พบว่าสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนได้มากที่สุดประมาณ 11% ในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. – 12.30 น. ดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูกต่ำที่สุด จึงต้องมีการเปิดหัวพ่นหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุดนั่นเอง



ภาพที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก



ภาพที่ 11 ความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในกับภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก

สรุป

จากการศึกษาระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกผักสลัดซึ่งมีความต้องการอยู่ในช่วง 20–27 องศาเซลเซียส และต้องการความชื้นร้อยละ 60–80 การพัฒนาโรงเรือนจึงกำหนดขอบเขตการควบคุมตามปัจจัยดังกล่าว ระบบการสั่งงานควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นทำการติดตั้งระบบสั่งงานการเปิด-ปิดด้วยอุปกรณ์ควบคุมการเปิดและปิด SONOFF WiFi เพื่อทำการควบคุมหัวพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ การตรวจสอบผลของอุณหภูมิและความชื้นที่ได้สามารถตรวจสอบผ่านทางแอปพลิเคชัน eWeLink ที่ทำเชื่อมต่อการทำงานผ่าน WiFi กับ SONOFF WiFi ผลการทดสอบพบว่า ระบบที่พัฒนาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 26 ถึง 31 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมภายนอกสามารถลดได้สูงสุด 8 องศาเซลเซียส โรงเรือนสามารถควบคุมความชื้นได้ในช่วงร้อยละ 70 ถึง 87 ดังนั้น การควบคุมสมดุลของอุณหภูมิในช่วงเวลาส่วนใหญ่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้ แต่จะมีบางช่วงเวลาที่มีสภาพอากาศภายนอกร้อนจนเกินไปทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะปลูกสูงไปถึง 31 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงเวลาดังกล่าวก็สามารถลดอุณหภูมิจากภายนอกได้สูง ส่วนการควบคุมความชื้นสามารถทำได้ในขอบเขตที่กำหนดเนื่องจากสภาพอากาศมีความชื้นที่สูงพอสมควรอยู่แล้ว จึงไม่ต้องทำการเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนมากนัก แต่จากการใช้งานจริงในการสั่งงานจากสมาร์ตโฟนไปสู่ SONOFF WiFi นั้นยังคงพบปัญหาในด้านระยะเวลาในการตอบสนองที่มีความช้าไปในบางช่วงเวลาที่มีความขัดข้องทางอินเทอร์เน็ตอยู่บ้าง

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยจะยังคงพบปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมสมดุลของอุณหภูมิและความดันในช่วงที่สภาพอากาศร้อนมากอยู่บ้าง และพบปัญหาการสั่งงานล่าช้าในสภาพที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณอินเทอร์เน็ตขัดข้อง ในงานวิจัยต่อไปจึงควรทำการพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถระบุค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น และระบบสั่งงานจากที่เป็นกึ่งอัตโนมัติควรพัฒนาเป็นอัตโนมัติโดยไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาจากสัญญาณของระบบอินเทอร์เน็ต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่ให้การสนับสนุนในด้านของอุปกรณ์ทดสอบและวัสดุที่ใช้สำหรับการสร้างโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูก

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). **การปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์**. เอกสารคำแนะนำกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 9-20.
- เฉลิมชาติ เสาวรัง, กระวี ตรีอำรรค, และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2561). สมรรถนะการทำงานร่วมของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกกับระบบระบายอากาศที่ควบคุมด้วยสมการสมดุลความชื้นของอากาศ. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**, 24(2), 63-69.
- เทพ เกื้อทวีกุล, อัสฎาค์ บุญศรี, ธนวัฒน์ ประระปิน, และอัสฎาฎิ เกษนาค. (2564). **การออกแบบและพัฒนาระบบรดน้ำแบบน้ำหยดโดยควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติและควบคุมการทำงานผ่านสมาร์ตโฟนสำหรับชุมชนหมู่ที่ 7 ต.มหาชัย อ.ไทรงาม จ.กำแพงเพชร**. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ สำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 1. 1069-1079.
- ธนากร น้ำหอมจันทร์, และอดิกร เสรีพัฒนานนท์. (2557). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. **EAU Heritage Journal Science and Technology**, 8(1), 98-111.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. (2554). **สลัด/ผักกาดหอม เอกสารคำแนะนำการปลูกผักสลัด**. สืบค้น 20 กุมภาพันธ์ 2564, สืบค้นจาก <https://www.h2ohydrogarden.com/ความรู้เบื้องต้น/มาทำความรู้จักกับผักสลัดของเราดีกว่า.html>
- ปิตุพร พิมพ์เพชร. (2564). **ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช**. สืบค้นจาก https://www.trueplookpanya.com/learning/detail/33764?fbclid=IwAROSH-IE055XMZEGJr_93H3VBF7inl8n14MAq400WqPvuDdueGygJelKn8
- ปิยวัตร มากศรี, วรพงศ์ อินทร์พรหม, ศักดิ์โสภณ บุญเกื้อ, พิรพงศ์ หนูช่วย, นรานันท์ ขามณี, ณัฐภัสร์ บุญตา, และชินโรส ละอองวรรณ. (2564). **เทคโนโลยีการควบคุมระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืช**. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. 175-182.
- ศุภฤกษ์ เชาวลิตรตระกูล. (2560). **ระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิิกส์แบบอัตโนมัติ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ. 43-50.
- อัสฎาค์ บุญศรี, นิวัติ คลังสีดา, จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม, อัญญลักษณ์ บุตรศรีเพชร, และเพ็ญภา ทองแฉล้ม. (2563). **การพัฒนาระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าด้วยระบบสมาร์ตโฟน**. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 ด้านนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้และสิ่งประดิษฐ์ประจำปี 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี. 224-237.

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล

เวธกา เช้าเจริญ^{1*}

Received : June 24, 2022

Revised : November 30, 2022

Accepted : December 8, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสเพื่อใช้ในการรักษาระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังมื้ออาหารของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จากผลการทดสอบหาสารพฤกษเคมีจากสารสกัดเอทานอลจากงวงตาลพบว่า มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน และเทอร์ปีนอยด์ และสารสกัดเอทานอลจากงวงตาลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 386.07 ± 11.16 mgGAE/g_{extract} และ 637.63 ± 21.28 mgQE/g_{extract} ตามลำดับ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 0.039 ± 0.005 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งสารสกัดไม่แตกต่างจากบิวทิลเลตเตด ไฮดรอกซีโทลูอินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสชนิดมอลเตสและซูเครสพบว่ามีค่า IC₅₀ เท่ากับ 218.48 ± 0.55 และ 286.49 ± 0.09 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้มาในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสารสกัดเอทานอลจากงวงตาลสามารถใช้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ และยังสามารถนำมาพัฒนาเป็นอาหารทางเลือกในการลดระดับน้ำตาลในเลือดควบคู่กับการรักษาแผนปัจจุบัน

คำสำคัญ: งวงตาล ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

¹ อาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อีเมล: w.chaocharoen@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: w.chaocharoen@gmail.com

TOTAL PHENOLIC CONTENT, TOTAL FLAVONOIDS CONTENT, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND
ALPHA GLUCOSIDASE INHIBITORY ACTIVITIES OF ETHANOLIC EXTRACT OF
BORASSUS FLABELLIFER L. MALE FLOWERS

Wethaka Chaocharoen^{1*}

Abstract

This research aimed to screen the phytochemical, total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity and anti α -glucosidase activity of ethanolic extract of *Borassus flabellifer* L. male flowers. The Inhibition of the enzyme α -glucosidase was used to maintain post-meal blood glucose levels in diabetes mellitus type 2 patients. The results showed that the phytochemical screening of ethanolic extract of *Borassus flabellifer* L. male flowers were flavonoids, coumarins, saponins and terpenoids. The extracts showed the total phenolic contents and total flavonoid contents of 386.07 ± 11.16 mg_{GAE}/g_{extract} and 637.63 ± 21.28 mg_{QE}/g_{extract}, respectively. The antioxidant activity of ethanolic extract of *Borassus flabellifer* L. showed the IC₅₀ values of 0.039 ± 0.005 mg/mL. The extract was not statistically significant difference from butylated hydroxytoluene at the 95% confidence level. The results of anti-glucosidase activity, maltase and sucrase, showed the IC₅₀ values of 218.48 ± 0.55 and 286.49 ± 0.09 μ g/mL, respectively. In conclusion, the ethanolic extract of *Borassus flabellifer* L. male flowers can be used as a natural source of antioxidants and it can be developed as an alternative supplementary to control blood sugar levels.

Keywords: *Borassus flabellifer* L. male flowers, Antioxidant activity, Anti- α -glucosidase activity

¹ Lecturer of Division of Chemistry, Faculty of Science and technology, Phetchaburi Rajabhat University,
e-mail: w.chaocharoen@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: w.chaocharoen@gmail.com

บทนำ

วิถีชีวิตของคนในปัจจุบันที่เปลี่ยนไป ส่งผลให้คนส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีเวลา ขาดความใส่ใจในการดูแลสุขภาพ และมีภาวะความเครียดจากการทำงาน การพักผ่อนไม่เพียงพอ รวมถึงปัญหามลพิษที่เพิ่มมากขึ้นเป็นตัวกระตุ้นให้ปริมาณสารอนุมูลอิสระในร่างกายสูงขึ้น ซึ่งสารอนุมูลอิสระก่อให้เกิดความเสียหายต่อร่างกาย เช่น เกิดความเสียหายต่อสารพันธุกรรม ทำให้โปรตีนหรือเอนไซม์ในร่างกายเกิดการเสียสภาพไม่สามารถทำงานได้ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ จนทำให้เซลล์เสื่อมสภาพ หลายงานวิจัยพบว่าถ้ามีสารอนุมูลอิสระในร่างกายในปริมาณสูง จะทำให้มีโอกาเสี่ยงสูงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และโรคหัวใจ เป็นต้น โดยปกติร่างกายจะมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกาย เช่นการทำงานของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase) และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่ วิตามินอี และวิตามินซี เป็นต้น แต่ถ้ากลไกของร่างกายไม่สามารถทำหน้าที่ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้เพียงพอหรือร่างกายอาจมีปริมาณสารอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงต้องการสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มจากภายนอก ในรายงานวิจัยพบว่ามีพืชสมุนไพรหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะพืชที่มีสารฟลาโวนอยด์ในกลุ่มฟีนอลิก (Barrera, 2012; Rani et al., 2018)

โรคเบาหวานเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่เป็นปัญหาสำคัญทางสาธารณสุขอย่างหนึ่งของประเทศไทยและทั่วโลก โดยโรคเบาหวานที่พบมากคือ เบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 diabetes) เป็นเบาหวานชนิดที่ไม่พึ่งอินซูลิน (Non-insulin dependent diabetes) โดยร่างกายสามารถหลั่งและสร้างอินซูลินได้ แต่อินซูลินที่หลั่งมาไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ (Sheen & Sheu, 2016) ส่งผลต่อผู้ป่วยโรคเบาหวานในระยะยาวในการสะสมของอนุมูลอิสระในร่างกายซึ่งปัจจัยนี้นำไปสู่การเพิ่มของอนุมูลอิสระในผู้ป่วยโรคเบาหวาน เมื่อร่างกายมีการสะสมอนุมูลอิสระดังกล่าว จะส่งผลกระทบต่อการทำลายออร์แกเนลล์ และเอนไซม์ภายในเซลล์ โดยการเพิ่มขึ้นของระดับลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน และอาจส่งผลต่อการดื้อของอินซูลิน และการพัฒนาของโรคแทรกซ้อนต่าง ๆ ตามมาอีกมากมาย เช่น โรคแทรกเกี่ยวกับระบบประสาท โรคแทรกซ้อนเกี่ยวกับระบบไต โรคความดันโลหิตสูง ไชมันในเส้นเลือด และโรคตา (Maritim et al., 2003) การรักษาโรคเบาหวานประเภทที่ 2 ผ่านการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลโมลกุลเดี่ยว โดยเป็นเอนไซม์ในกลุ่มไฮโดรเลสโดยมี 4 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์มอลเทส (Maltase, EC 3.2.0.20) เอนไซม์ซูเครส (Sucrase, EC 3.2.1.48) เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylase, EC 3.2.1.3) และเอนไซม์ไอโซมอลเทส (Isomaltase, EC 3.2.1.10) นับเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะสามารถลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานอาหาร (Postprandial glucose) โดยตัวยาที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ อะคาโบส (Acarbose) วอกลีโบส (Voglibose) และมิกลิทอล (Miglitol) แต่เมื่อรับประทานยาดังกล่าวจะมีผลข้างเคียงต่อผู้ป่วย เช่น อาการท้องอืด

แน่นท้อง ผายลมบ่อย ถ่ายเหลว และปวดท้อง (Simsek et al., 2017) จึงนำไปสู่การศึกษาพืชผัก สมุนไพร ที่มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของแอลฟาไกลูโคซิเดส ที่มีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งอาหาร และสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดไปพร้อม ๆ กัน

ต้นตาลมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Borassus flabellifer* L. อยู่ในวงศ์ Arecaceae ต้นตาลจะมีสองลักษณะ ได้แก่ ต้นตาลตัวผู้ และต้นตาลตัวเมีย ลักษณะของต้นตาลตัวผู้จะออกดอกเป็นช่อ เรียกว่า งวงตาล ไม่มีผล การเวียนทางใบวนไปทางซ้ายมือ ส่วนตาลตัวเมียนั้นการเรียงตัวของทางใบมีการเรียงตัววนไปทางขวามือ จากบริเวณโคนไปสู่ยอด และต้นตาลตัวเมียจะมีลูกเป็นช่อ (Naguleswaran, 2010) นอกจากนี้ส่วนต่าง ๆ ของต้นตาลยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น งวงตาลมีฤทธิ์ต้านอักเสบ (Nisha et al., 2022) ดอกตาลมีฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด (Kavatagimath et al., 2016) รากมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย (Arirudran et al., 2022) เป็นต้น จากข้อมูลเบื้องต้นยังไม่มีการศึกษาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล งานวิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล เพื่อนำไปเป็นฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในการสนับสนุนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล และเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับพืชสมุนไพรไทย และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาขั้นสูงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล
2. เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล
3. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล
4. เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล

เก็บตัวอย่างงวงตาลสายพันธุ์หม้อที่ไม่เคยผ่านการปาดเอาน้ำตาลแบบสุม จากสวนต้นตาลบ้านหัวข่อย ตำบลหนองโสน อำเภอมืองจังหวัดเพชรบุรี ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563

นำงวงตาลมาล้างทำความสะอาดและตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 5 วัน ๆ ละ 8 ชั่วโมง (8.30-16.30 น.) จากนั้นนำงวงตาลแห้งมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และบดให้เป็นผงโดยเครื่องปั่นความเร็วสูง Grinder WF-10 (ThaiGrinder, Thailand) และนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมส เก็บตัวอย่างงวงตาลในถุงซิปล็อคและเก็บในโถดูความชื้นจนกว่าจะนำมาใช้งาน

นำผงงวงตาล 45 กรัมมาสกัดด้วย 95%(v/v) เอทานอล 450 มิลลิลิตร (อัตราส่วนผงงวงตาล ต่อ 95%(v/v) เอทานอล เท่ากับ 1:10) โดยวิธีการแช่หมัก (Maceration) เป็นระยะเวลา 1 วัน จากนั้นนำมากรอง และนำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยเอาตัวทำละลายออกโดยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนจนกระทั่งตัว ทำลายระเหยหมด จะได้สารสกัดงวงตาล เก็บสารสกัดงวงตาลที่อุณหภูมิ 4°C จนกระทั่งนำมาทำการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพต่อไป

2. การศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้น (Harborne, 1998)

ในการทดสอบสารพฤกษเคมีของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล โดยแบ่งการทดสอบสารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) เป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ และ สเตียรอยด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอนดังนี้

2.1 แอลคาลอยด์ (Alkaloids) : นำสารสกัด 0.2 กรัม เติมน้ำละลาย 10%(v/v) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 1.0 มิลลิลิตร นำไปอุ่นบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก แล้วปล่อยให้ สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ไปหยดสารละลายดราเจนดอร์ฟ (Dragendorff's reagent) จำนวน 5 หยด ถ้าปรากฏตะกอนสีส้มแดงแสดงว่าพบแอลคาลอยด์

2.2 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) : นำสารสกัด 0.2 กรัม ละลายด้วย 50%(v/v) เอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ใส่หลอดแมกนีเซียมชิ้นเล็ก ๆ ลงไป 1 ชิ้น และหยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) 5 หยด แล้วนำไปอุ่นบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 5 นาที ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มแสดงว่าพบฟลาโวนอยด์

2.3 แอนทราควิโนน (Anthraquinones) : นำสารสกัด 0.2 กรัม เติมน้ำละลาย 10%(v/v) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปอุ่นบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก แล้ว ปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำของเหลวที่ได้จากการกรอง มาเติม 10%(v/v) แอมโมเนีย (NH_3) 5 มิลลิลิตร ถ้าปรากฏสารละลายเป็นสีชมพูแดงเกิดขึ้นแสดงว่าพบแอนทราควิโนน

2.4 คูมาริน (Coumarins) : นำสารสกัด 0.2 กรัม ละลายด้วย 50%(v/v) เอทานอล 1 มิลลิลิตร เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติม 6M โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 มิลลิลิตร เขย่า ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มแสดงว่าพบคูมาริน

2.5 ซาโปนิน (Saponins) : ใช้การทดสอบแบบการเกิดฟอง นำสารสกัด 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปอุ่นบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 5 นาที เขย่าอย่างแรง ถ้าปรากฏฟองถาวรเกิดขึ้นในหลอด ทดลองแสดงว่าพบซาโปนิน

2.6 แทนนิน (Tannins) : นำสารสกัด 0.2 กรัม เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร นำไปอุ่นบน Water bath 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติม 1%(w/v) เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) 5 หยด เขย่า ถ้าปรากฏสารละลายเป็นสีเขียวดำหรือน้ำเงินดำแสดงว่าพบแทนนิน

2.7 เทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) : นำสารสกัด 0.2 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร กรอง ส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ค่อย ๆ เติม กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 0.5 มิลลิลิตร ลงไป ถ้าปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริกแสดงว่าพบเทอร์ปีนอยด์

2.8 สเตียรอยด์ (Steroids) : นำสารสกัด 0.2 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติมกรดกลacialแอซิดิก (Glacial acetic acid) 0.5 มิลลิลิตร แล้วเติม conc.H₂SO₄ 3 หยด ถ้าปรากฏสารละลายสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเขียวแสดงว่าพบสเตียรอยด์

3. การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric

การทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ดัดแปลงมาจาก Marghitas et al., (2009) เตรียมสารละลายตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (mg/mL) นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ 10 ไมโครลิตร มาผสมกับ Folin-Ciocalteu reagent 50 ไมโครลิตร ใน Microplate ตามลำดับ บ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่า (Shaking incubator) เป็นเวลา 6 นาที จากนั้นเติม 7%(w/v) โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) 100 ไมโครลิตร และนำกลับเข้าไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่าเป็นเวลา 90 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างไปแทนในกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก โดยใช้ความเข้มข้นของกรดแกลลิกใน 95%(v/v)เอทานอล เท่ากับ 0.025 0.05 0.075 0.125 0.175 0.25 และ 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร รายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม (Gallic acid equivalents, mg_{GAE}/g_{extract}) โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. การศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric

การทดสอบปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric ดัดแปลงมาจาก Marghitas et al., (2009) เตรียมสารละลายตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ 20 ไมโครลิตร มาผสมกับ น้ำกลั่น 50 ไมโครลิตร และ 2.7%(w/v) โซเดียมไนไตรท์ (NaNO₂) 20 ไมโครลิตร บ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่าเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม 2.7%(w/v) อะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl₃) 20 ไมโครลิตร และนำกลับเข้าไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่าเป็นเวลา 6 นาที และเติม 1.8 M โซเดียมคลอไรด์ (NaOH) 20 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 50 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างไปแทนในกราฟมาตรฐานของสารละลายเคอควิทิน โดยใช้ความเข้มข้นของเคอควิทินใน 95%(v/v)เอทานอล เท่ากับ 0.1 0.2 0.4 0.8 1.0 1.25 และ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร รายงานปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในรูปมิลลิกรัมสมมูลของเคอควิทินต่อน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม (Quercetin equivalent, mg_{QE}/g_{extract}) โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

5. การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging ดัดแปลงมาจาก Khongkarat et al., (2020) โดยเตรียมสารละลายตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 0.01 0.1 1.0 และ 5.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 ไมโครลิตร และ 0.1 มิลลิโมลาร์ 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮไดรซัล (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH) 100 ไมโครลิตร ใน Microplate ตามลำดับ นำไปบ่มในที่มืด เป็นเวลา 15 นาทีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณตามสมการที่ (1) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และใช้บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT)

เป็นตัวควบคุมเชิงบวก โดยใช้ความเข้มข้นของบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอินที่ความเข้มข้น 0.01 0.1 1.0 และ 5.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร การทดสอบยับยั้งเอนไซม์จะแสดงในรูปความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ 50% (IC_{50})

$$\%Inhibition = \frac{(A_{blank} - A_{sample})}{(A_{sample})} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนของสารละลายของเอทานอล

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนของสารละลายของสารตัวอย่าง

6. การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

ในการทดสอบการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนู ดัดแปลงมาจาก Ramadhan et al., (2018) โดยมีการทดสอบดังนี้

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ซูโครส เติมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.01 0.1 1.0 และ 5.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) จำนวน 10 ไมโครลิตร จากนั้นเติม 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.9 จำนวน 30 ไมโครลิตร และ 100 มิลลิโมลาร์ ซูโครส จำนวน 20 ไมโครลิตร ใน microplate ตามลำดับ จากนั้นเติม 20 ไมโครลิตร ของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนู และ 80 ไมโครลิตร ของ Glucose kit จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่า ที่ 37°C เป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ตามสมการที่ (2) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้ 95%(v/v) เป็น blank และใช้อะคาโบส (Acarbose) ที่ความเข้มข้นของต่าง ๆ (0.01 0.1 1.0 และ 5.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) เป็นตัวควบคุมเชิงบวก

$$\%Inhibition = \frac{(A_{blank} - A_{sample})}{(A_{sample})} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนของสารละลายของเอทานอล

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนของสารละลายของสารตัวอย่าง

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์มอลเตส ทำการทดลองเหมือนกับการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ซูโครส แต่เปลี่ยนซับสเตรทจาก 100 มิลลิโมลาร์ ซูโครส 20 ไมโครลิตร เป็น 10 มิลลิโมลาร์ มอลโตส 20 ไมโครลิตร และเปลี่ยนเวลาในการบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่า ที่ 37°C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ตามสมการที่ (2) โดยใช้ 95%(v/v) เป็น blank และใช้อะคาโบส (Acarbose) ที่ความเข้มข้นของต่าง ๆ (0.01, 0.1, 1.0, 5.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) เป็นตัวควบคุมเชิงบวก

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยโปรแกรมทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. ผลของการเตรียมสารสกัดงวงตาล

นำผงงวงตาล 45.00 กรัมมาสกัดด้วย 95%(v/v) เอทานอล โดยวิธีการแช่หมัก (Maceration) ในอัตราส่วนผงงวงตาลต่อ 95%(v/v) เอทานอล เท่ากับ 1:10 เป็นระยะเวลา 1 วัน จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา กรองและระเหยเอาตัวทำละลายออกโดยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน พบว่า สารสกัดงวงตาลที่สกัดได้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีน้ำตาล ปริมาณสารสกัดงวงตาลที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 2.27 กรัม คิดเป็นร้อยละ ผลผลิต เท่ากับ 5.04

2. ผลการทดสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

ผลการทดสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล โดยแบ่งการทดสอบ สารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ออกเป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ และสเตียรอยด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน ตรวจพบ สารพิษเคมีจากสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล 4 ชนิด คือ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน และเทอร์ปีนอยด์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดเอทานอลของงวงตาล

สารพิษเคมีเบื้องต้น	ผลการทดสอบ
แอลคาลอยด์	-
ฟลาโวนอยด์	+
แอนทราควิโนน	-
คูมาริน	+
ซาโปนิน	+
แทนนิน	-
เทอร์ปีนอยด์	+
สเตียรอยด์	-

หมายเหตุ (+) : พบสารทดสอบ, (-): ไม่พบสารทดสอบ

3. ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric ซึ่งใช้กรดแกลลิก เป็นสารมาตรฐาน พบว่าได้กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก คือ $y = 1.5896x - 0.0163$ ($R^2 = 0.9996$) และทำการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ $386.07 \pm 11.16 \text{ mg}_{\text{GAE}}/\text{g}_{\text{extract}}$ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

4. ผลการหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric โดยใช้ เคอร์ซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน พบว่าได้กราฟมาตรฐานเคอร์ซีติน คือ $y = 0.6038x - 0.0287$ ($R^2 = 0.9921$) และทำการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม พบว่ามีปริมาณฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 637.63 ± 21.28 mgQE/g_{extract} ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

5. ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การทดสอบฤทธิ์ต้านการอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging ซึ่งใช้ บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน (Butylated hydroxytoluene, BHT) เป็นสารมาตรฐาน จากการทดสอบ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของ BHT ได้ผลการทดลองแสดงในรูปความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% (IC_{50}) ดังตารางที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.031 ± 0.002 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และทำการทดสอบหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล พบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.039 ± 0.005 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ ทางสถิติพบว่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล และบิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน ที่เป็นสารมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล

Parameters	สารสกัดเอทานอล ของงวงตาล	บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/g _{extract})	386.07 ± 1.16	-
ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (mgQE/g _{extract})	637.63 ± 21.28	-
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ(IC_{50} , mg/mL)	0.039 ± 0.005^a	0.031 ± 0.002^a

หมายเหตุ ตัวอักษรในแถวที่เหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

6. ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนู ซึ่งใช้ อะคาโบส (acarbose) เป็นสารมาตรฐาน จากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ซูเครส และเอนไซม์มอลเทส ได้ผลการทดลองแสดงในรูปความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ 50% (IC_{50}) ดังตารางที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1.69 ± 0.10 และ 2.56 ± 0.05 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และทำการทดสอบหาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ซูเครส และเอนไซม์มอลเทสของ มีค่าเท่ากับ 218.48 ± 0.55 และ 286.49 ± 0.09 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรตามลำดับ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสกัดเอทานอลจากงวงตาลมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสต่ำกว่าสารมาตรฐานอะคาโบสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 3ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสสารสกัดเอทานอลจากงวงตาล

Test samples	ค่า IC ₅₀ (µg/mL)	
	ซูเครส	มอลเทส
สารสกัดเอทานอลของงวงตาล	218.48±0.55 ^b	286.49±0.09 ^b
อะคาโบส	1.69±0.10 ^a	2.56±0.05 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรในคอลัมน์ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

อภิปรายผลการวิจัย

ในปัจจุบันการรักษาโรคต่าง ๆ นิยมใช้พืชที่มีคุณสมบัติทางยามาทำการรักษา เนื่องจากมีความปลอดภัยและมีผลข้างเคียงน้อยกว่าหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสม (Verpoorte, 2012) ต้นตาลเป็นพืชอีกชนิดที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพร เช่น รากของตาลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Arirudran et al., 2022) การทดสอบหาสารฟลักซ์เคมีของสารสกัดเอทานอลของงวงตาลพบสารฟลักซ์เคมี 4 ชนิด ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน และเทอร์ปีนอยด์ โดยส่วนต่าง ๆ ของต้นตาลมีสารฟลักซ์เคมีที่ต่างชนิดกัน อาทิเช่น ผลอ่อนพบสารกลุ่มเทอร์ปีนอยด์ น้ำตาลรีดิวซ์ ฟลาโวนอยด์ และคูมาริน ในขณะที่สารสกัดผลตาลสุกพบสารกลุ่มแอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ โกลโคไซด์ ซาโปนิน แทนนิน ไฟโตสเตอรอล ไทรเทอร์ปีนอยด์ และฟีนอล (Renuka et al., 2018 ;Singchai et al., 2015) สารฟลักซ์เคมีเบื้องต้นเป็นสารที่ออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและประโยชน์หลายประการต่อสุขภาพ เช่น สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง ต้านจุลชีพ และต้านเบาหวาน นอกจากนี้สารในกลุ่มเทอร์ปีนอยด์และซาโปนินบางชนิดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และต้านเบาหวาน เป็นต้น (Singh et al., 2014 ;Dos Santos et al., 2016)

จากผลการปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดเอทานอลของงวงตาลมีปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับสารสกัดเอทานอลของผลตาลสุก (Renuka et al., 2018) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทำหน้าที่เป็น Free radical terminators (Abdel-Hameed, 2009 ;Pourmorad et al., 2006) ที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยวงแหวน แอโรมาติก แทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ที่สามารถใช้ดักจับอนุมูลอิสระได้ และสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีขั้วจึงถูกสกัดออกมาได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง เช่น เอทานอลและเมทานอล (Teh et al., 2014) ดังนั้นเมื่อสารสกัดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงจึงส่งผลให้มีแนวโน้มของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้สูงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากงวงตาลพบว่ามีสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างจากสารมาตรฐานบิวทิเลเต็ด ไฮดรอกซีโทลูอิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส พบในบริเวณผนังลำไส้เล็กเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส จะส่งผลให้ร่างกายดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ช้าลง ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งใน

การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด (Sassi et al., 2018) จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าสารสกัดเอทานอลจากงวงตาลมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์รวมอยู่ในปริมาณสูง และมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากลำไส้เล็กของหนูชนิดมอลทิสและซูเครส ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์บางชนิดที่แยกได้จากสมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสชนิดมอลทิสและซูเครสได้ดีกว่าอะคาโบสซึ่งเป็นยาที่ใช้ในการรักษาโรคเบาหวาน (Yin et al., 2014) แต่ในการศึกษารังนี้ไม่ได้ทำการศึกษาว่าสารตัวใดที่เป็นตัวออกฤทธิ์การยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดส บอกได้แค่กลุ่มของสารที่ออกฤทธิ์จะต้องมีการแยกและพิสูจน์โครงสร้าง รวมถึงการศึกษากลไกการยับยั้งของสารบริสุทธิ์ที่แยกได้ และจากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่พบรายงานการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส พบแต่การศึกษาเรื่องสารสกัดเอทานอลของดอกตาลสามารถช่วยลดระดับของน้ำตาลในหนูได้ โดยมีสารที่ออกฤทธิ์ในกลุ่มฟลาโวนอยด์แต่ยังไม่ทราบชนิดของสารและกลไกการยับยั้งเอนไซม์ (Kavatagimath et al., 2016) โดยสารสกัดเอทานอลของงวงตาลในงานวิจัยครั้งนี้เมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ซูเครสและมอลทิสพบว่ามียุทธการยับยั้งน้อยกว่าอะคาโบสที่เป็นตัวควบคุมเชิงบวก ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น อาจเนื่องมาจากกลไกที่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงอาจมาจากกลไกที่อื่น ๆ ที่ออกฤทธิ์เสริมกัน ดังนั้นควรมีการศึกษากลไกการลดระดับน้ำตาลในเลือดของสารสกัดเพิ่มเติม ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ยืนยันความรู้ตามภูมิปัญญาไทยในเรื่องการรับประทานงวงตาลเพื่อลดระดับน้ำตาลในเลือด อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของงวงตาลอีกด้วย

สรุป

ผลการศึกษาสารสกัดเอทานอลของงวงตาล พบสารฟรุกโทส 4 ชนิด ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน และเทอร์ปีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมพบว่ามีค่า $386.07 \pm 11.16 \text{ mgGAE/g}_{\text{extract}}$ และ $637.63 \pm 21.28 \text{ mgQE/g}_{\text{extract}}$ ตามลำดับ และผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่า มีค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% เท่ากับ 0.039 ± 0.005 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากสารมาตรฐาน (BHT) และผลการทดสอบการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสชนิดมอลทิสและซูเครสพบว่ามียุทธการยับยั้งเอนไซม์ที่ 50% เท่ากับ 218.48 ± 0.55 และ 286.49 ± 0.09 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งน้อยกว่าสารมาตรฐาน (อะคาโบส) ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาว่าสารสกัดเอทานอลของดอกตาลมียุทธการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ และในการศึกษารังนี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเอทานอลจากงวงตาลมีศักยภาพในการเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระธรรมชาติ และมีศักยภาพในการลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดผ่านการยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสบริเวณลำไส้เล็ก และจากข้อมูลที่ได้สามารถนำไปสู่การศึกษาในสัตว์ทดลองถึงกลไกการลดระดับน้ำตาล และการพัฒนาเป็นตัวยาลเพื่อเป็นตัวเลือกต่อการรักษาเบาหวานต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ผลจากงานวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาอาหารทางเลือกเพื่อช่วยลดน้ำตาลในผู้ที่มีน้ำตาลในเลือดสูง
2. ควรศึกษาเพิ่มเติม เช่น กลไกการออกฤทธิ์ในการลดระดับน้ำตาลในเลือด และนำไปทดลองในสัตว์ทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ สถานที่การทำงานวิจัย และงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Abdel-Hameed, E. S. (2009). Total phenolic contents and free radical scavenging activity of certain Egyptian *Ficus* species leaf samples. **Food Chemistry**, 114, 1271–1277.
- Arirudran, B., Raja, A. V., Kumar, G., Anbarasu, K. & Shalini, E. (2022). Antimicrobial activity of *Borassus flabellifer* L. Root. **HSOA Journal of Biotech Research & Biochemistry**, 5, 013.
- Barrera, G. (2012). Oxidative stress and lipid peroxidation products in cancer progression and therapy. **ISRN Oncology**, 2012, 1-21.
- Dos Santos, C. H., Borges, I. P., da Silva, V. C., de Sousa, P. T. Jr., Kawashita, N. H., Baviera, A. M. & Carvalho, M. G. (2016). A new dammarane saponin and other triterpenoids from *Siolmatra brasiliensis* and evaluation of the antidiabetic activity of its extract. **Pharmaceutical Biology**, 54(9), 1539-1547.
- Harborne, J. B. (1998). **Phytochemical Methods**. A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis. (3rd edition). London: Chapman & Hall.
- Kavtagimath, S. A., Jalalpore, S. S. & Hiremath, R. D. (2016). Screening of Ethanolic Extract of *Borassus flabellifer* Flowers for its Antidiabetic and Antioxidant Potential. **Journal of natural remedies**, 16(1), 22-32.

- Khongkarat, P., Ramadhan, R., Phuwapraisirisan, P. & Chanchao, C. (2020). Safflospermidines from the bee pollen of *Helianthus annuus* L. exhibit a higher *in vitro* anti-tyrosinase activity than kojic acid. **Heliyon**, 6(3), e03638.
- Marghitas, L. A., Stanciu, O. G., Dezmirean, D. S., Bobis, O., Popescu, O., Bogdanov, S. & Campos, M. G. (2009). In vitro antioxidant capacity of honeybee-collected pollen of selected floral origin harvested from Romania. **Food Chemistry**, 115(3), 878–883.
- Maritim, A. C., Sanders, R. A. & Watkins, J. B. (2003). Diabetes, oxidative stress, and antioxidants: a review. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, 17(1), 24-38.
- Naguleswaran, S., Vasanthan, T., Hoover, R. & Liu, Q. (2010). Structure and physicochemical properties of palmyrah (*Borassus flabellifer* L.) seed-shoot starch grown in Sri Lanka. **Food chemistry**, 118, 634-640.
- Nisha, R., Parthasarathi, G., Chandrakumar, M., Arunachalam, R. & Krishnaveni, T. R. S. (2022). Potential Review on Palmyra (*Borassus flabellifer* L.). **Journal of Advanced Research**, 21, 29–40.
- Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. J., & Shahabimajd, N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. **African Journal of Biotechnology**, 5(11), 1142-1145.
- Ramadhan, R., Kusuma, I. W., Amirta, R., Worawalai, W. & Phuwapraisirisan, P. (2018). A new 4-arylflavan from the pericarps of *Horsfieldia motleyi* displaying dual inhibition against α -glucosidase and free radicals. **Natural Product Research**, 32(22), 2676-2682.
- Rani, R., Arora, S., Kaur, J. & Manhas, R. K. (2018). Phenolic compounds as antioxidants and chemopreventive drugs from *Streptomyces cellulosa* strain TES17 isolated from rhizosphere of *Camellia sinensis*. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, 18,82.
- Renuka, K., Devi, V. R. & Subramanian, S. P. (2018). Phytochemical screening and evaluation of in vitro antioxidant potential of immature palmyra palm *Borassus flabellifer* L. fruits. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, 10(8), 77-83.

- Sassi, A. B., Amroussi, S., Besbes, M., Aouni, M., & Skhiri, F. (2018). Antioxidant and α -glucosidase activities and phytochemical constituents of *Chrysanthoglossum trifurcatum* (Desf.). **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, 11(4), 285-291.
- Sheen, Y.J. & Sheu, W. H. H. (2016). Association between hypoglycemia and dementia in patients with type 2 diabetes. **Diabetes Research and Clinical Practice**. 116, 279-287.
- Simsek, M., Quezada-Calvillo, R., Nichols, B. L. & Hamaker B.R. (2017). Phenolic compounds increase the transcription of mouse intestinal maltase-glucoamylase and sucrase-isomaltase. **Food & Function journal**, 8, 1915–1924.
- Singchai, B., Kansane, K. & Chourykaew, B. (2015). Phytochemical screening and biological activities of *Borassus flabellifer* L. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, 8(3), 151-153.
- Singh, S., Farswan, M., Ali, S., Afzal, M., Al-Abbasi, F. A., Kazmi, I. & Anwar, F. (2014). Antidiabetic potential of triterpenoid saponin isolated from *Primula denticulate*. **Pharmaceutical Biology**, 52(6), 750-755.
- Teh, S. S., Bekhit, A. E. D. & Birch, J. (2014). Antioxidative polyphenols from defatted oil seed cakes: effect of solvent. **Antioxidants**, 3(1), 67-80.
- Verpoorte, R. (2012). Good practices: the basis for evidence-based medicines. **Journal of Ethnopharmacology**, 140(3), 455-457.
- Yin, Z., Zhang, W., Feng, F., Zhang, Y., & Kang, W. (2014). α -Glucosidase inhibitors isolated from medicinal plants. **Food Science and Human Wellness**, 3(3–4), 136-174.

การคำนวณหาฟังก์ชันประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้า
ของตัวนำทรงกลมที่มีความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรฟังก์ชันไซน์

ปิยรัตน์ มุลศรี¹ เจษฎาพร ปาคำวัง² อาทิตย์ หุ้เต็ม^{3*}

Received : June 8, 2022

Revised : December 9, 2022

Accepted : December 20, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d ของตัวนำไฟฟ้าแบบทรงกลมภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรซึ่งเป็นฟังก์ชันไซน์ ทั้ง 4 แบบโดยมีการเปลี่ยนแปลงเลขชี้กำลังของฟังก์ชันไซน์และมีค่าความถี่เชิงมุม ใช้กฎของเกาส์ ในการคำนวณหาสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า ซึ่งผลการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรซึ่งเป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังคู่จะทำให้ได้ ประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้ามีลักษณะการสั่นเป็นฟังก์ชันเพิ่ม แต่ประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและ ศักย์ไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร ซึ่งเป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังคี่จะมีลักษณะเกิดการสั่นแบบคลื่นตลอดช่วงของระยะทาง R_d เมตร

คำสำคัญ: ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรแบบฟังก์ชันไซน์ ประจุไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า
สนามไฟฟ้า

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: piyarutto@hotmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: Jetsadapom.pa@pcru.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

CALCULATION OF ELECTRIC CHARGE, ELECTRIC FIELD,
AND ELECTRIC POTENTIAL OF SPHERICAL CONDUCTORS
CONTAINING VOLUME CHARGE DENSITY OF THE SINE FUNCTION

Piyarat Moonsri¹ Jetsadaporn Pakamwang² Artit Hutem^{3*}

Abstract

This research work examined the characteristics electric field and electric potential as functions of the distance (R_d) of spherical conductors under the sinusoidal volume charge density of four types of sine functions, with exponentiation of the sine function and angular frequency coefficient. We used Gauss's law and to calculate the electric field and electric potential. The result of calculating the electric field value and the electric potential depends on the sinusoidal volume charge density with even exponents, producing an electric charge, electric field and electric potential oscillating as an exponential function. However, the electric charge electric fields and electric potentials depend on the volume charge density, which is the sine function with odd exponents characterized by wave oscillations of R_d distance.

Keywords: Sinusoidal volume charge density, Electric charge, Electric potential, Electric field

¹ Department of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University Phetchabun Province, e-mail: piyarutto@hotmail.com

² Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University Phetchabun Province, e-mail: Jetsadaporn.pa@pcru.ac.th

³ Department of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University Phetchabun Province, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

บทนำ

งานวิจัยนี้ได้แนวคิดมาจากการสอนในรายวิชา ฟิสิกส์ 2 เรื่อง สนามไฟฟ้าในตัวนำเส้นตรง, ตัวนำทรงกลม และสนามไฟฟ้าของการแจกแจงประจุไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ในรูปแบบความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงเส้น, ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงผิว และความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร เป็นต้น ข้าพเจ้าได้ใช้หนังสือ ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 3 ของสมพงษ์ ใจดี ในการออกแบบแบบฝึกหัดให้กับนักศึกษา ซึ่งในหนังสือดังกล่าวได้อธิบายตัวอย่างของการคำนวณหาสนามไฟฟ้าของทรงกลมประจุไฟฟ้าก้อนหนึ่งซึ่งมีรัศมี R มีประจุไฟฟ้า $+q$ มีความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่เป็นฟังก์ชันกับระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี ดังนี้ $\rho_v(r) = C_0 r$ เมื่อ C_0 แทนค่าคงตัวสัดส่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาอนุภาคประจุไฟฟ้าทั้งหลายในกลุ่มประจุกลุ่มหนึ่งอยู่ใกล้กันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง R_d เมตรที่กลุ่มประจุไฟฟ้ากลุ่มนั้นอยู่ห่างจากตำแหน่งที่จะหาค่าของสนามไฟฟ้า ซึ่งลักษณะดังกล่าว เรานิยมพิจารณาอนุภาคประจุไฟฟ้าในกลุ่มประจุไฟฟ้าดังกล่าวเป็นอย่างดี ต่อเนื่อง กล่าวคือ อนุภาคประจุไฟฟ้าทั้งหมดแจกแจงอย่างต่อเนื่องทั่วปริมาตรของตัวนำแบบทรงกลมภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร โดยงานวิจัยนี้เป็นการนำความรู้เกี่ยวกับแคลคูลัสที่นักศึกษาได้ศึกษามาแล้วนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณหาประจุไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร และสนามไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของการศึกษาพฤติกรรมของประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมเสมือนภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรในรูปแบบ $\rho(r_d) = A_0 r_d \sin(\omega_f r_d)$ โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ r_d ที่มีเลขชี้กำลังเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 4 เพื่อศึกษาลักษณะการสั่นของประจุไฟฟ้าในกรณี รัศมีของผิวภาชนะน้อยกว่ารัศมีของตัวนำทรงกลมเสมือน (Hutem & Masoongnoen, 2022)

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อคำนวณหาประจุไฟฟ้า (q_c) สนามไฟฟ้า (E_f) และศักย์ไฟฟ้า (V_{Ep}) ที่เป็นฟังก์ชันของรัศมีตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่มีลักษณะเป็นไซน์โดยใช้กฎเกาส์ และการอินทิเกรตทีละส่วน

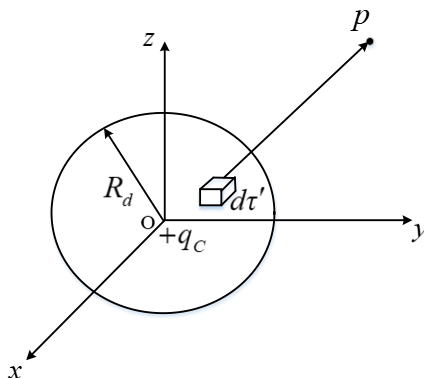
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อคำนวณหาค่าประจุไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของรัศมีตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรในรูปแบบฟังก์ชันไซน์โดยใช้กฎเกาส์

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้พิจารณาตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าก้อนหนึ่ง ซึ่งมีรัศมี R_d เมตร ซึ่งตัวนำทรงกลมนี้มีขนาดประจุไฟฟ้า $+q_c$ คูლობ์ กระจายตัวประจุไฟฟ้าดังรูปที่ 1 อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้า มีจุดศูนย์กลางอยู่ ณ จุดกำเนิดที่จุด O ของระบบพิกัดฉาก (x, y, z) (Lorrain & Corson, 1972) งานวิจัยนี้เริ่มจากการออกแบบความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่เป็นฟังก์ชันกับระยะทางโดยการกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณา $\rho_v(r)$ จริง ๆ แล้วการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในตัวนำทรงกลมต้องเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการตัดแปลงความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรให้เป็นแบบฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีลักษณะการสั่น ซึ่งผู้แต่งเลือกฟังก์ชัน $\sin(\omega r)$ เพราะมีเฟสเริ่มต้นที่จุดศูนย์กลาง จึงทำการออกแบบความหนาแน่นประจุไฟฟ้า

เชิงปริมาตรดังสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (4) ส่วน ω เป็นจำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้า ต่อมาเราใช้กฎของเกาส์ในการคำนวณหาสนามไฟฟ้า (E_f) และศักย์ไฟฟ้า (V_{Ep}) ต่อไป



ภาพที่ 1 ตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้า $+q_c$ C. ในระบบพิกัดฉากโดยมีปริมาตรเล็ก ๆ $d\tau' = d\ell_r d\ell_\theta d\ell_\phi$
(David, 1999)

จากภาพที่ 1 เรากำหนดปริมาตรเล็ก ๆ ของตัวนำทรงกลมในสามมิติ ขึ้นอยู่กับการกระจัดในช่วงสั้น ๆ สามทิศทางตามแนวเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในระบบพิกัดทรงกลมซึ่งงานวิจัยนี้เรากำหนด $\rho_v(r)$ คือ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume charge density) มีหน่วยเป็น C/m^3 (Atamp, 1990) มีความสัมพันธ์กับระยะทางจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี R_d เมตร ของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าดังกล่าว r ที่มีหน่วยเมตร ในการเรียนการสอนรายวิชา ฟิสิกส์ 2 นั้นมีส่วนของการหาสนามไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่มีค่าคงที่ จะทำให้การกระจายตัวของประจุไฟฟ้าเป็นแบบสม่ำเสมอ แต่ในความเป็นจริงความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรขึ้นอยู่กับตำแหน่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Zuo, 2014; Hutem et. al., 2021; Kuaykaew et. al., 2016) เป็นฟังก์ชันไซน์ที่ขึ้นอยู่กระยะทาง r ของประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ภายในตัวนำทรงกลม (Thongsit et al., 2019; Masoongnoen et. al., 2021) ดังสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4)

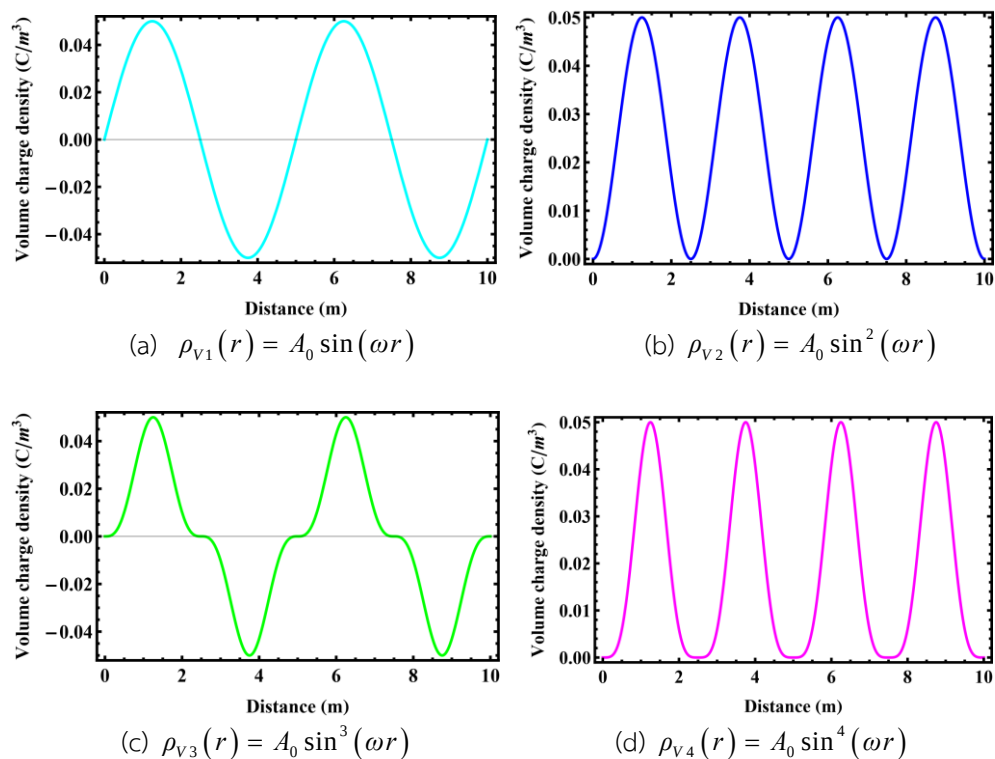
$$\rho_{v1}(r) = A_0 \sin(\omega r), \quad (1)$$

$$\rho_{v2}(r) = A_0 \sin^2(\omega r), \quad (2)$$

$$\rho_{v3}(r) = A_0 \sin^3(\omega r), \quad (3)$$

$$\rho_{v4}(r) = A_0 \sin^4(\omega r) \quad (4)$$

โดยที่ A_0 เป็นค่าคงตัวสัดส่วน (สมพงษ์ ใจดี, 2543) และ ω คือ ความถี่ของการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้มีเกณฑ์ในการกำหนดความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรเป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังต่างๆ ดังสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) โดยพิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าอาจมีการสั่นชนิดแบบต่างๆ ของประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในตัวนำทรงกลมสอดคล้องการแจกแจงประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลม จึงกำหนดเป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังเริ่มต้นจาก 1 2 3 และ 4 (Hutem & Masoongnoen, 2021) เป็นต้น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงกราฟของความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ (Hutem & Masoongnoen, 2022)

จากภาพที่ 2 เป็นกราฟระหว่างความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรเทียบกับระยะทาง จากภาพที่ 2 (a) ถึง (d) การเพิ่มเลขชี้กำลังของฟังก์ชันไซน์จากเลขชี้กำลัง 1 ถึง 4 เรานำความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร ทั้ง 4 แบบไปคำนวณหาประจุไฟฟ้า, สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันระยะทางตามแนวรัศมี R_d เมตร ในความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรเป็นฟังก์ชันไซน์ที่เป็นเลขชี้กำลังคู่จะทำให้มีส่วนเป็นบวกเท่านั้นจึงทำให้การคำนวณหาค่าประจุไฟฟ้า, สนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าที่แสดงเป็นกราฟเป็นฟังก์ชันเพิ่มแบบ Exponential function เป็นต้น ต่อไปคำนวณหาค่าประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ โดยสมมติปริมาตรเล็ก ๆ $d\tau' = d\ell_r d\ell_\theta d\ell_\phi$ โดยที่มี $d\ell_r = dr$ คือ การกระจัดในช่วงสั้น ๆ ในทิศทางเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแนวรัศมี $\hat{r}$, $d\ell_\theta = r d\theta$ คือ การกระจัดในช่วงสั้น ๆ ในทิศทางเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแนวมุม $\hat{\theta}$ และ $d\ell_\phi = r \sin(\theta) d\phi$ คือ การกระจัดในช่วงสั้น ๆ ในทิศทางเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแนวมุม $\hat{\phi}$ และ ความหนา $d\ell$ เมตร ณ ระยะทาง r เมตร จากจุดศูนย์กลางของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้า ซึ่งมีประจุไฟฟ้าน้อยยิ่ง (Riley et. al., 2006; David, 1999) ดังนี้

$$dq_C = \rho_V(r) d\tau' = \rho_V(r) r^2 \sin(\theta) dr d\theta d\phi \quad (5)$$

$$q_C = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_0^\pi \rho_V(r) r^2 \sin(\theta) dr d\theta d\phi \quad (6)$$

มีประจุไฟฟ้าหน่วยของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าในระบบพิกัดทรงกลมของความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรแต่ละตัว (Zuo, 2014; Maglaras & Maglaras, 2004) ดังสมการที่ (7)-(10)

$$dq_{C1} = \rho_{V1}(r)(4\pi r^2)dr \quad (7)$$

$$dq_{C2} = \rho_{V2}(r)(4\pi r^2)dr \quad (8)$$

$$dq_{C3} = \rho_{V3}(r)(4\pi r^2)dr \quad (9)$$

$$dq_{C4} = \rho_{V4}(r)(4\pi r^2)dr \quad (10)$$

แทนสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) ลงในสมการที่ (7) –(10) และทำการอินทิเกรตทีละส่วน จะได้ประจุไฟฟ้าหน่วยของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V1}(r) = A_0 \sin(\omega r)$ ดังสมการที่ (7)

$$dq_{C1} = A_0 \sin(\omega r)(4\pi r^2)dr, q_{C1} = 4\pi A_0 \int_0^{R_d} r^2 \sin(\omega r)dr$$

$$q_{C1}(R_d) = 4\pi A_0 \left[\frac{2R_d}{\omega^2} \sin(\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{\omega^3} - \frac{R_d^2}{\omega} \right) \cos(\omega R_d) \right) - \frac{2}{\omega^3} \right] \quad (11)$$

ต่อไปนำสมการที่ (11) เป็นสมการประจุไฟฟ้าซึ่งสามารถคำนวณหาสนามไฟฟ้า (E_{f1}) (Zuo, 2014) และศักย์ไฟฟ้า (V_{Ep}) ที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ของตัวนำทรงกลมภายใต้ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V1}(r) = A_0 \sin(\omega r)$ โดยใช้กฎของเกาส์ $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{a} = q_C / \epsilon_0$ และ $V_{Ep} = q_{C1} / 4\pi\epsilon_0 r_s$ (Generazio, 2017; Gerald & Daniel, 2007) จะได้ดังสมการที่ (12) และสมการที่ (13)

$$E_{f1}(R_d) = \frac{A_0}{\epsilon_0 r_s^2} \left[\frac{2R_d}{\omega^2} \sin(\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{\omega^3} - \frac{R_d^2}{\omega} \right) \cos(\omega R_d) \right) - \frac{2}{\omega^3} \right], \quad (12)$$

$$V_{Ep1}(R_d) = \frac{A_0}{\epsilon_0 r_s} \left[\frac{2R_d}{\omega^2} \sin(\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{\omega^3} - \frac{R_d^2}{\omega} \right) \cos(\omega R_d) \right) - \frac{2}{\omega^3} \right] \quad (13)$$

โดยที่ $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} C^2 / (Nm)^2$ คือ สภาพยอมของอวกาศหรือสุญญากาศ และ r_s คือ รัศมีของผิวเกาส์เขียนทรงกลม ต่อไปคำนวณหาประจุไฟฟ้าหน่วยของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V2}(r) = A_0 \sin^2(\omega r)$ ดังสมการที่ (14)

$$dq_{C2} = A_0 \sin^2(\omega r)(4\pi r^2)dr, q_{C2} = 4\pi A_0 \int_0^{R_d} r^2 \sin^2(\omega r)dr$$

$$q_{C2}(R) = 2\pi A_0 \left[\frac{R_d^3}{3} - \left(\frac{R_d}{2\omega^2} \cos(2\omega R_d) + \left(\left(\frac{R_d^2}{2\omega} - \frac{1}{4\omega^3} \right) \sin(2\omega R_d) \right) \right) \right] \quad (14)$$

จากสมการที่ (14) นำไปคำนวณหาสนามไฟฟ้า (Zuo, 2014) และศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ของตัวนำทรงกลมภายใต้ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V2}(r)$ โดยใช้กฎของเกาส์ จะได้ดังสมการที่ (15) และสมการที่ (16)

$$E_{f2}(R) = \frac{A_0}{2\epsilon_0 r_s^2} \left[\frac{R_d^3}{3} - \left(\frac{R_d}{2\omega^2} \cos(2\omega R_d) + \left(\left(\frac{R_d^2}{2\omega} - \frac{1}{4\omega^3} \right) \sin(2\omega R_d) \right) \right) \right] \quad (15)$$

$$V_{Ep2}(R) = \frac{A_0}{2\epsilon_0 r_s} \left(\frac{R_d^3}{3} - \left(\frac{R_d}{2\omega^2} \cos(2\omega R_d) + \left(\left(\frac{R_d^2}{2\omega} - \frac{1}{4\omega^3} \right) \sin(2\omega R_d) \right) \right) \right) \quad (16)$$

ต่อไปคำนวณหาประจุไฟฟ้าภายในของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V3}(r) = A_0 \sin^3(\omega r)$ ดังสมการที่ (17)

$$\begin{aligned} dq_{C3} &= A_0 \sin^3(\omega r) (4\pi r^2) dr, q_{C3} = 4\pi A_0 \int_0^{R_d} r^2 \sin^3(\omega r) dr \\ q_{C3} &= 4\pi A_0 \int_0^{R_d} r^2 \left(\frac{3}{4} \sin(\omega r) - \frac{1}{4} \sin(3\omega r) \right) dr \\ q_{C3}(R) &= \pi A_0 \left(3 \left(\frac{2R_d}{\omega^2} \sin(\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{\omega^3} - \frac{R_d^2}{\omega} \right) \cos(\omega R_d) \right) - \frac{2}{\omega^3} \right) - \right. \\ &\quad \left. \left(\frac{2R_d}{9\omega^2} \sin(3\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{27\omega^3} - \frac{R_d^2}{3\omega} \right) \cos(3\omega R_d) \right) - \frac{2}{27\omega^3} \right) \right) \end{aligned} \quad (17)$$

จากสมการที่ (17) นำไปคำนวณหาสนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตรของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าภายใต้ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V3}(r) = A_0 \sin^3(\omega r)$ โดยใช้กฎของเกาส์ จะได้ดังสมการที่ (18) และสมการที่ (19)

$$\begin{aligned} E_{f3}(R_d) &= \frac{A_0}{4\epsilon_0 r_s^2} \left(\left(3 \left(\frac{2R_d}{\omega^2} \sin(\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{\omega^3} - \frac{R_d^2}{\omega} \right) \cos(\omega R_d) \right) - \frac{2}{\omega^3} \right) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left(\frac{2R_d}{9\omega^2} \sin(3\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{27\omega^3} - \frac{R_d^2}{3\omega} \right) \cos(3\omega R_d) \right) - \frac{2}{27\omega^3} \right) \right) \right) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} V_{Ep3}(R_d) &= \frac{A_0}{4\epsilon_0 r_s} \left(\left(3 \left(\frac{2R_d}{\omega^2} \sin(\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{\omega^3} - \frac{R_d^2}{\omega} \right) \cos(\omega R_d) \right) - \frac{2}{\omega^3} \right) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left(\frac{2R_d}{9\omega^2} \sin(3\omega R_d) + \left(\left(\frac{2}{27\omega^3} - \frac{R_d^2}{3\omega} \right) \cos(3\omega R_d) \right) - \frac{2}{27\omega^3} \right) \right) \right) \end{aligned} \quad (19)$$

ต่อไปคำนวณหาประจุไฟฟ้าภายในของตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V4}(r) = A_0 \sin^4(\omega r)$ ดังสมการที่ (20)

$$\begin{aligned} dq_{C4} &= A_0 \sin^4(\omega r) (4\pi r^2) dr, q_{C4} = 4\pi A_0 \int_0^{R_d} r^2 \sin^4(\omega r) dr, \\ q_{C4}(R) &= \frac{\pi A_0}{2} \left(R_d^3 - \left(\frac{2R_d}{\omega^2} \cos(2\omega R_d) + \left(\left(\frac{2R_d^2}{\omega} - \frac{1}{\omega^3} \right) \sin(2\omega R_d) \right) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{2R_d}{16\omega^2} \cos(4\omega R_d) + \left(\left(\frac{R_d^2}{4\omega} - \frac{2}{64\omega^3} \right) \sin(4\omega R_d) \right) \right) \right) \end{aligned} \quad (20)$$

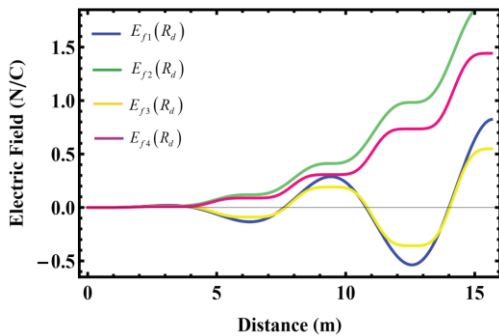
จากสมการที่ (20) นำไปคำนวณหาสนามไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ของตัวนำทรงกลมภายใต้ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{v4}(r)$ โดยใช้กฎของเกาส์ จะได้สมการที่ (21) และสมการที่ (22)

$$E_{f4}(R_d) = \frac{A_0}{8\epsilon_0 r_s^2} \left(R_d^3 - \left(\frac{2R_d}{\omega^2} \cos(2\omega R_d) + \left(\left(\frac{2R_d^2}{\omega} - \frac{1}{\omega^3} \right) \sin(2\omega R_d) \right) \right) + \left(\frac{2R_d}{16\omega^2} \cos(4\omega R_d) + \left(\left(\frac{R_d^2}{4\omega} - \frac{2}{64\omega^3} \right) \sin(4\omega R_d) \right) \right) \right) \quad (21)$$

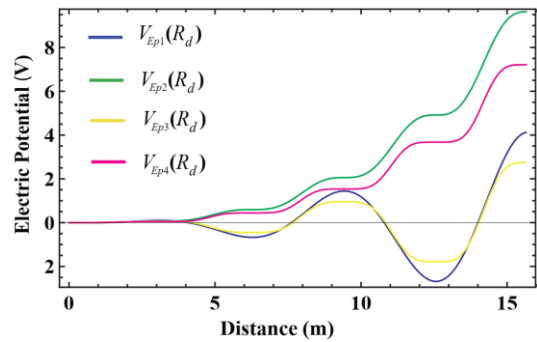
$$V_{Ep4}(R_d) = \frac{A_0}{8\epsilon_0 r_s} \left(R_d^3 - \left(\frac{2R_d}{\omega^2} \cos(2\omega R_d) + \left(\left(\frac{2R_d^2}{\omega} - \frac{1}{\omega^3} \right) \sin(2\omega R_d) \right) \right) + \left(\frac{2R_d}{16\omega^2} \cos(4\omega R_d) + \left(\left(\frac{R_d^2}{4\omega} - \frac{2}{64\omega^3} \right) \sin(4\omega R_d) \right) \right) \right) \quad (22)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการคำนวณหาสนามไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_v(r)$ ทั้ง 4 แบบสอดคล้องตามสมการที่ (12) (15) (18) และสมการที่ (21) ซึ่งสมการดังกล่าวแสดงเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 3(a) และผลการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_v(r)$ ทั้ง 4 แบบสอดคล้องตามสมการที่ (13) (16) (19) (22) ตามลำดับซึ่งงานวิจัยนี้พิจารณา $r_s < R_d$ ซึ่งสมการดังกล่าวแสดงกราฟได้ดังภาพที่ 3(b)



(a) สนามไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของ R_d

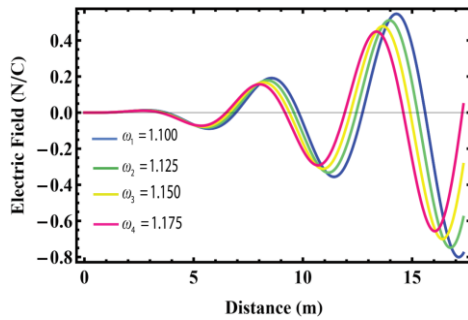


(b) ศักย์ไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของ R_d

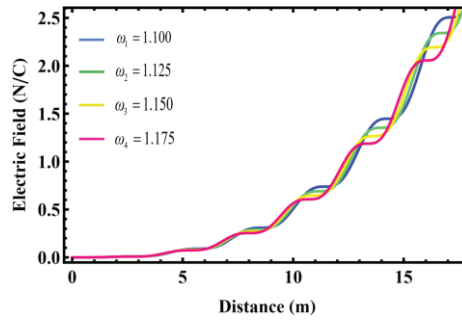
ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับระยะทาง R_d เมตร และกราฟแสดงความสัมพันธ์

ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะทาง R_d เมตร (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับระยะทาง R_d เมตร ภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ เส้นกราฟสีน้ำเงินแทนสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$, เส้นกราฟสีเขียวแทนสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ เส้นกราฟสีเหลืองแทนสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ เส้นกราฟสีบานเย็นแทนสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ ตัวแปรควบคุมมีดังนี้ $A_0 = 0.085$,

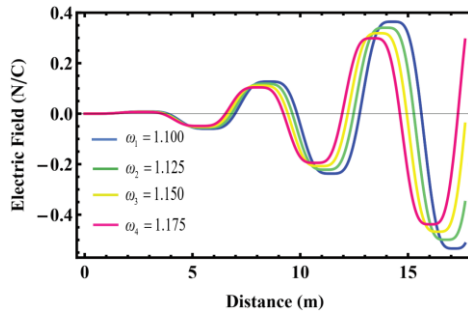
$r_s = 5.0 \text{ m}$. และ $R_d = 15.65 \text{ m}$. และ ω คือ ความถี่ของการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะทาง R_d เมตร ภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ เส้นกราฟสีน้ำเงินแทนศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep1}(R_d)$ ส่วนเส้นกราฟสีเขียวแทน ศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep2}(R_d)$ เส้นกราฟสีเหลืองแทนศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep3}(R_d)$ เส้นกราฟสีชมพูแทน ศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep4}(R_d)$ ตัวแปรควบคุมมีดังนี้ $A_0 = 0.085$, $r_s = 5.0 \text{ m}$. และ $R_d = 15.65 \text{ m}$. ω คือ ความถี่ของการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1



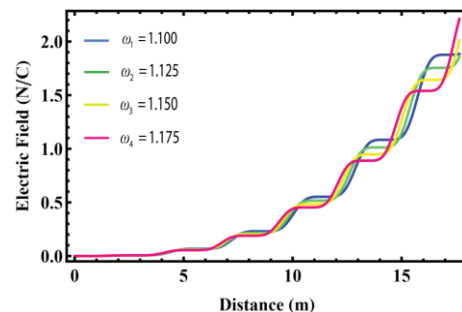
(a) แสดงสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$



(b) แสดงสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$

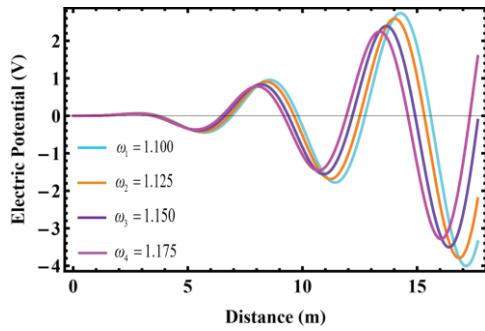
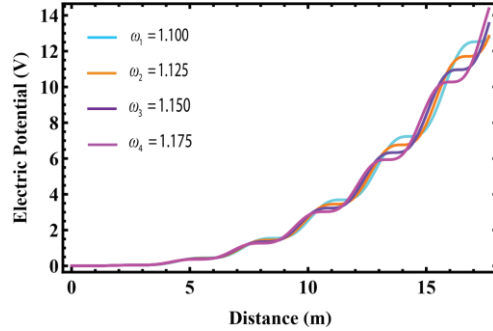
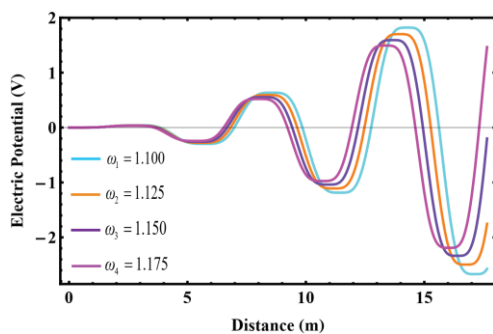
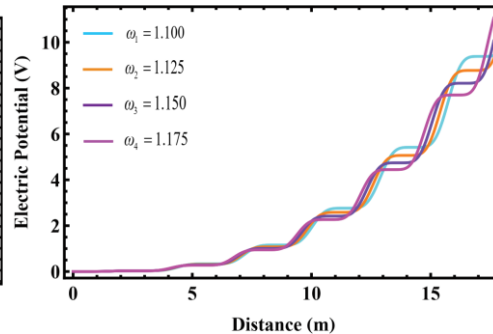


(c) แสดงสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$



(d) แสดงสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$

ภาพที่ 4 สนามไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ทั้ง 4 แบบ ภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ ในกรณีเมื่อ ω เป็นจำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเปลี่ยนค่าเป็น 4 ค่าดังนี้ เส้นสีน้ำเงิน $\omega_1 = 1.100$ เส้นสีเขียว $\omega_2 = 1.125$ เส้นสีเหลือง $\omega_3 = 1.150$ เส้นสีบานเย็น $\omega_4 = 1.175$ (a) แสดงกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว (b) แสดงกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว (c) แสดงกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว (d) แสดงกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว

(a) ศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep1}(R_d)$ (b) ศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep2}(R_d)$ (c) ศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep3}(R_d)$ (d) ศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep4}(R_d)$

ภาพที่ 5 ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง R_d เมตร ทั้ง 4 แบบ ภายใต้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ ในกรณีเมื่อ ω เป็นจำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้า เปลี่ยนค่าเป็น 4 ค่าดังนี้ เส้นสีน้ำทะเล $\omega_1 = 1.100$ เส้นสีน้ำตาล $\omega_2 = 1.125$ เส้นสีม่วง $\omega_3 = 1.150$ เส้นสีชมพู $\omega_4 = 1.175$ (a) แสดงกราฟศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep1}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว (b) แสดงกราฟศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep2}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว (c) แสดงกราฟศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep3}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว (d) แสดงกราฟศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep4}(R_d)$ ที่มีค่าความถี่การสั่นประจุไฟฟ้าภายในตัวนำทรงกลมตามความดังกล่าว

จากภาพที่ 3(a) กราฟสนามไฟฟ้าเส้นสีน้ำเงิน เป็นกราฟของสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ ดังสมการที่ (12) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{v1}(r) = A_0 \sin(\omega r)$ ซึ่ง ลักษณะของสนามไฟฟ้ามีการสั่นเป็นแบบคาบ แปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร กราฟสนามไฟฟ้าเส้นสีเขียว เป็นกราฟของสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ ดังสมการที่ (15) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{v2}(r) = A_0 \sin^2(\omega r)$ ซึ่งมีลักษณะของสนามไฟฟ้ามีการสั่นเป็นแบบคาบ แปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร และการสั่นของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเพิ่มขึ้น (Exponential function) อย่างรวดเร็วมากกว่าสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ กราฟสนามไฟฟ้าเส้นสีเหลือง เป็นกราฟของสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ ดังสมการที่ (18) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้า

เชิงปริมาตรที่เป็นฟังก์ชันไซน์ $\rho_{V3}(r) = A_0 \sin^3(\omega r)$ ซึ่งมีลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เป็นแบบการสั่นเป็นแบบคาบช่วงกว้างขึ้น และแปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร ต่อมากราฟสนามไฟฟ้าเส้นสีบานเย็น เป็นกราฟของสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม $E_{f4}(R_d)$ ดังภาพที่ 1 ดังสมการที่ (21) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V4}(r) = A_0 \sin^4(\omega r)$ ซึ่งมีลักษณะของสนามไฟฟ้ามีการสั่นเป็นแบบคาบ แปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร และการสั่นของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ และ $E_{f3}(R_d)$ ตามลำดับ แสดงว่าถ้าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่เป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังเป็นเลขคู่ จะทำให้ค่าสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ มีลักษณะสั่นแบบคาบที่เป็นฟังก์ชันเพิ่ม ส่วนความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่เป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังเป็นเลขคี่จะค่าสนามไฟฟ้ามีลักษณะสั่นแบบคาบเท่านั้น และช่วงความกว้างของการสั่นมากขึ้น

จากภาพที่ 3(b) เส้นกราฟศักย์ไฟฟ้าสีฟ้าน้ำเงิน เป็นกราฟของศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep1}(R_d)$ ดังสมการที่ (13) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V1}(r) = A_0 \sin(\omega r)$ ซึ่งลักษณะของสนามไฟฟ้ามีการสั่นเป็นแบบคาบ แปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร ต่อมาเส้นกราฟศักย์ไฟฟ้าสีเขียว เป็นกราฟของศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep2}(R_d)$ ดังสมการที่ (16) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V2}(r) = A_0 \sin^2(\omega r)$ ซึ่งมีลักษณะของศักย์ไฟฟ้ามีการสั่นเป็นแบบคาบ แปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร และการสั่นของศักย์ไฟฟ้ามีลักษณะเพิ่มขึ้น (Exponential function) อย่างรวดเร็วมากกว่าศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep1}(R_d)$ ต่อมากราฟศักย์ไฟฟ้าเส้นสีเหลือง เป็นกราฟของศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep3}(R_d)$ ดังสมการที่ (19) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V3}(r) = A_0 \sin^3(\omega r)$ ซึ่งมีลักษณะของศักย์ไฟฟ้าที่เป็นแบบการสั่นเป็นแบบคาบช่วงกว้างขึ้น และแปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร กราฟศักย์ไฟฟ้าเส้นสีชมพู เป็นกราฟของศักย์ไฟฟ้า $V_{Ep4}(R_d)$ ดังสมการที่ (22) ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{V4}(r) = A_0 \sin^4(\omega r)$ ซึ่งมีลักษณะของศักย์ไฟฟ้ามีการสั่นเป็นแบบคาบ แปรผันตรงกับระยะทาง R_d เมตร และการสั่นของศักย์ไฟฟ้ามีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าสนามไฟฟ้า $V_{Ep1}(R_d)$ และ $V_{Ep3}(R_d)$ ตามลำดับ ต่อไปเป็นการอภิปรายผลของการคำนวณหาสนามไฟฟ้าทั้ง 4 แบบ (เป็นตัวแปรตาม) ที่สอดคล้องกับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตรทั้ง 4 แบบ ตามสมการที่ (1)-(4) ในกรณีที่พารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเปลี่ยน จาก $\omega_1 = 1.100$ $\omega_2 = 1.125$ $\omega_3 = 1.150$ และ $\omega_4 = 1.175$ (เป็นตัวแปรต้น) ดังภาพที่ 4 ดังนี้ จากภาพที่ 4(a) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ กับระยะทาง R_d เมตร เมื่อความถี่เปลี่ยน ดังนี้ เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_1 = 1.100$ เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_2 = 1.125$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_3 = 1.150$ เส้นกราฟสีบานเย็นเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_4 = 1.175$ ถ้าปริมาณพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ มีขนาดลดลง และจะทำให้ประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมมีคาบของการสั่นในช่วงเวลาน้อยลง

จากภาพที่ 4(b) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ กับ ระยะทาง R_d เมตร เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเปลี่ยน ดังนี้ เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_1 = 1.100$ เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_2 = 1.125$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_3 = 1.150$ เส้นกราฟสีบานเย็นเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_4 = 1.175$ ถ้าปริมาณความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ มีขนาดลดลง และจะทำให้ประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมมีคาบของการสั่นในช่วงเวลาน้อยลง และการสั่นของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเพิ่มขึ้น (Exponential function) เนื่องจากความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเชิงปริมาตร $\rho_{v2}(r) = A_0 \sin^2(\omega r)$ มีการใช้เอกลักษณ์ตรีโกณมิติซึ่งมีค่าคงที่ 1 เมื่อเรานิยามแล้วทอมของลักษณะฟังก์ชันพหุนาม (R_d) เกิดขึ้นจึงทำให้ค่าของสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ อย่างรวดเร็วมากกว่าสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ และ $E_{f3}(R_d)$ จากภาพที่ 4(c) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ กับ ระยะทาง R_d เมตร เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเปลี่ยน ดังนี้ เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_1 = 1.100$ เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_2 = 1.125$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_3 = 1.150$ เส้นกราฟสีบานเย็นเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_4 = 1.175$ ถ้าปริมาณพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ มีขนาดลดลง และจะทำให้ประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมมีคาบของการสั่นในช่วงเวลาน้อยลง และช่วงการสั่นขึ้นของสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะคงที่ในช่วงระยะทาง R_d เมตร ในทำนองเดียวกัน ช่วงการสั่นลงของสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะคงที่ในช่วงระยะทาง R_d เมตร เหมือนกันเมื่อเทียบกับการสั่นของสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ และขนาดของสนามไฟฟ้า $E_{f3}(R_d)$ มีค่าน้อยกว่าขนาดสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$

จากภาพที่ 4(d) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ กับ ระยะทาง R_d เมตร เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเปลี่ยน ดังนี้ เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_1 = 1.100$ เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_2 = 1.125$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_3 = 1.150$ เส้นกราฟสีบานเย็นเป็นกราฟสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ เมื่อพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้าเป็น $\omega_4 = 1.175$ ถ้าปริมาณพารามิเตอร์จำนวนเท่าของการสั่นประจุไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ มีขนาดลดลง และจะทำให้ประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมมีคาบของการสั่นในช่วงเวลาน้อยลง และการสั่นของขนาดสนามไฟฟ้ามีลักษณะเพิ่มขึ้น (Exponential function) อย่างรวดเร็วมากกว่าสนามไฟฟ้า $E_{f1}(R_d)$ และ $E_{f3}(R_d)$ แต่ขนาดของ

สนามไฟฟ้า $E_{f4}(R_d)$ มีค่าน้อยกว่าขนาดสนามไฟฟ้า $E_{f2}(R_d)$ ทำนองเดียวกัน ดังภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าทั้ง 4 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเชิงประจุไฟฟ้าแบบฟังก์ชันไซน์ $V_{Ep1}(R_d)$ ถึง $V_{Ep4}(R_d)$ กับระยะทาง R_d เมตร จะมีลักษณะคล้ายกับสนามไฟฟ้า ดังภาพที่ 4

สรุป

การคำนวณหาสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมภายใต้ความหนาแน่นเชิงประจุไฟฟ้าแบบฟังก์ชันไซน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของเลขชี้กำลังจาก 1 ถึง 4 เราสรุปความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้ากับระยะทาง R_d เมตร ภายใต้ความหนาแน่นเชิงประจุไฟฟ้าแบบฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังเป็นเลขคี่ 1 และ 3 ลักษณะของกราฟสนามไฟฟ้าเป็นแบบการสั่นคาบตลอดช่วงของระยะทาง R_d เมตร ทำให้ประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมมีการสั่นเป็นลักษณะคลื่น ในส่วนของความหนาแน่นเชิงประจุไฟฟ้าแบบฟังก์ชันไซน์ที่มีเลขชี้กำลังเป็นเลขคู่ 2 และ 4 ลักษณะของกราฟสนามไฟฟ้าเป็นแบบการสั่นคาบตลอดช่วงของระยะทาง R_d เมตร แต่สนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (Exponential function) อย่างรวดเร็วกว่าเลขคี่ และทำให้ประจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมมีการสั่นเป็นลักษณะคลื่น เป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ครั้งหน้าควรพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของตัวนำแบบสุ่มโดยใช้ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเป็นฟังก์ชันสุ่มของตรีโกณมิติ และสามารถนำสมการของประจุไฟฟ้าไปคำนวณหากระแสไฟฟ้าแบบฮาร์โมนิกได้ (Hadkhuntod, 2021)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- สมพงษ์ ใจดี. (2543). **ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย 3**, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 16-80.
- Atamp, A. (1990). **Introduction to classical mechanics**. Prentice-Hall, United States America, pp.20-63.
- David, J.G. (1999). **Introduction to electrodynamics**. (3th ed.). New Jersey, Prentice-Hall International, Inc. pp. 58-70.
- Generazio, E.R. (2017). Electric Potential and Electric Field Imaging, **AIP Conference Proceeding** 1806, 0200251-02002512, Published by AIP Publishing.
- Gerald, L.P., & Daniel R.S. (2007). A finite line of charge. **American Journal of Physics**, 75, 485-486.

- Hadkhuntod, K. (2021). STUDY OF HARMONIC DISTORTION OF OUTPUT CURRENT IN A SINGLE-PHASE BRIDGE CONTROL RECTIFIER WITH A CAPACITOR. **VRUResearch and Development Journal Science and Technology**, 16(2), 117-129.
- Hutem, A., & Masoongnoen, N. (2021). SOLVE THE SERIES OF RLC CIRCUIT VIA THE TIME-DEPENDENT VOLTAGE SINE FUNCTION USING WRONSKIAN' S OF DIFFERENTIAL EQUATION. **PSRU Journal of Science and Technology**, 6(2), 22-35.
- Hutem, A., & Masoongnoen, N. (2022). The studying the behavior of the electric charge, electric field, and electric potential of the virtual-conductor under the volume charge density. **Journal of Earth Science, Astronomy and Space**, 5(1), 66-77.
- Hutem, A, Suwanwong S, Ellis T., & Masoongnoen N. (2021). Determination of the Time-Dependent Velocity for Charged Particle via Cosine Electrostatic Function. **Journal of Earth Science, Astronomy and Space**, 4(1), 46-57.
- Kuaykaew, S., Kerdmee, S., Banyenugam, P., Moonsri, P., & Hutem A. (2016). The Analytical Description of Projectile Motion of Cricket Ball in a Linear Resisting Medium the Storm Force. **Applied Mechanics and Materials**, 855, 188-191.
- Lorrain, P., & Corson, D.R., (1972), **Electromagnetic fields and wave** (2rd ed.), San Francisco, W.H. Freeman and company, PP.40-61.
- Maglaras, A., & Maglaras, L. (2004). Modeling and analysis of electric field distribution in air gaps, stressed by breakdown voltages. **International Conference WSEAS MACTEE**, pp. 1-7, T.E.I. of Larissa, Greece Athens.
- Masoongnoen, N., Moonsri, P., Ellis, T., Suwanwong, S., & Hutem, A. (2021). Calculation of Electric Field from Continuous Charge Distribution on Linear Charge Density of Sine Function for Damped-Oscillatory Motion. **Journal of Earth Science, Astronomy and Space**, 4(1), 57-69.
- Riley, K. F., Hobson, M. P., & Bence, S. J. (2006). **Mathematical Methods for Physics and Engineering**. (3th ed.). New York: Cambridge University Press, pp. 468-490.
- Thongsit, N., Sangnok, Y., & Hutem, A. (2019). Mathematical modeling and the physics of electric field on non-symmetric linear charge density for damped-oscillatory motion. **Journal of Earth Science, Astronomy and Space**, 1(1), 64-72.
- Zuo, F. (2014). A geometric method to determine the electric field due to a uniformly charged line segment. **American Journal of Physics**, 83, 567-569.

การพัฒนาผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขก

ธวัชชัย จิตวารินทร์^{1*} ลภัสรา จิตวารินทร์² บุญชัย เมฆแก้ว³ เบญจกาญจน์ นิรัตติย์⁴กัญญภาค นันทชัย⁵ ภัทรวรรต ศรีบุญจิต⁶ ชุฟเพียนี สนิ⁷

Received : May 21, 2022

Revised : December 16, 2022

Accepted : December 20, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าทอผสมเส้นใยจากกันช่อดอกขก และ 2) ศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขก ผลการวิจัยพบว่า ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกที่พัฒนาขึ้นใช้เส้นใยกันช่อดอกขกเป็นเส้นด้ายพุ่งในการทอผสมกับเส้นฝ้ายที่ใช้เป็นเส้นด้ายยืน ผิวสัมผัสมันวาวเล็กน้อย ลักษณะผิวสัมผัสค่อนข้างหยาบ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำหรับตกแต่ง หรือใช้เพื่อสร้างเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชนมากกว่าที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่ม น้ำหนักผ้าเท่ากับ 190.71 ± 8.10 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มผ้าที่มีน้ำหนักปานกลาง มีค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่งเท่ากับ 254.08 ± 8.52 นิวตัน และ 433.12 ± 9.45 นิวตัน ตามลำดับ ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกมีจำนวนเส้นด้าย 78 เส้นต่อตารางนิ้ว โดยเป็นจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง เท่ากับ 31 และ 47 เส้นต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ ความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอเส้นใยกันช่อดอกขกในระดับมากที่สุดในทุกด้าน ทั้งนี้ด้านความพึงพอใจภาพรวมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และแตกต่างกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านสี ด้านลักษณะปรากฏ ด้านน้ำหนักผ้า และด้านผิวสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านสี ด้านลักษณะปรากฏ ด้านน้ำหนักผ้า และด้านผิวสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: การพัฒนาผ้าทอ กันช่อดอกขก ผ้าทอ เส้นใย

¹ รองผู้อำนวยการวิทยาลัยชุมชนพังงา อีเมล: t_jitwarin@hotmail.com

² อาจารย์ คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อีเมล: lapasrada.jit@mahidol.ac.th

³ ผู้อำนวยการสำนักวิชาการ วิทยาลัยชุมชนพังงา อีเมล: jaanchat@gmail.com

⁴ ครู วิทยาลัยชุมชนพังงา อีเมล: benjakarn.sa@gmail.com

⁵ ครูผู้ช่วย วิทยาลัยชุมชนพังงา อีเมล: nantachaikanyapak1234@gmail.com

⁶ ครูผู้ช่วย วิทยาลัยชุมชนพังงา อีเมล: pattarawat.sriboonjit@gmail.com

⁷ นักวิชาการศึกษา วิทยาลัยชุมชนพังงา อีเมล: sufianee@pngcc.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: t_jitwarin@hotmail.com

THE DEVELOPMENT OF WOVEN FABRIC MIXED WITH SUGAR PALM
(*ARENGA PINNATA WERR*) PEDUNCLE'S FIBER

Tawatchai Jitwarin^{1*} Lapasrada Jitwarin² Boonchat Mekkaeo³ Benjakarn Nirattisai⁴
Kanyapak Nantachai⁵ Pattarawat Sriboonjit⁶ Sufianee Sani⁷

Abstract

The purposes of this research were 1) to study the physical properties of woven fabric mixed with sugar palm peduncle's fiber and 2) to study satisfaction with woven fabric mixed with sugar palm peduncle's fiber. The results showed the development of woven fabrics by using the sugar palm peduncle's fiber as weft yarns and cotton as warp. The surface of woven fabrics was slightly glossy and had a rather rough texture. Therefore, woven fabrics are suitable for use in the development of decorative textile products or to create a unique identity for community products rather than to develop into a clothing product. The woven fabric weight was 190.71 ± 8.10 g/m², which is classified as medium weight. The maximum tensile strength of warp and weft yarns was 254.08 ± 8.52 Newton and 433.12 ± 9.45 Newton. The woven fabric had a thread count of 78 threads per inch², and the number of warp yarns and weft yarns equal 31 and 47 threads per inch², respectively. According to the survey, the satisfaction with the woven fabric had the highest average scores in all aspects. The overall satisfaction had the highest average scores and statistically significant differences at the 0.05 level from satisfaction with color, appearance, fabric weight, and the contact surface area.

Keywords: Development of woven fabric, Sugar Palm's Peduncle, Woven fabric, Fiber

¹ Deputy director of Phang nga Community College Phang nga, e-mail: t_jitwarin@hotmail.com

² Instructor of Social Sciences and Humanities, Mahidol University, e-mail: lapasrada.jit@mahidol.ac.th

³ Director of the Academic Bureau, Phang nga Community College, e-mail: jaanchat@gmail.com

⁴ Teachers, Phang nga Community College, e-mail: benjakarn.sa@gmail.com

⁵ Assistant Teachers, Phang nga Community College, e-mail: nantachaikanyapak1234@gmail.com

⁶ Assistant Teachers, Phang nga Community College, e-mail: pattarawat.sriboonjit@gmail.com

⁷ Educator, Phang nga Community College, e-mail: sufianee@pngcc.ac.th

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

บทนำ

จากมติของคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 9 มิถุนายน 2563 ที่ได้กำหนดมาตรการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้และสวมใส่ผ้าไทย ร่วมเชิดชูอัตลักษณ์คุณค่าผ้าพื้นถิ่นไทยให้ดำรงอยู่เป็นความภาคภูมิใจของคนไทย ส่งผลให้ผ้าทอหรือผ้าพื้นเมืองของไทยในภาคต่าง ๆ ได้รับการอนุรักษ์ฟื้นฟู และพัฒนา รวมทั้งได้รับการส่งเสริมให้นำมาใช้สอยในชีวิตประจำวันกันอย่างกว้างขวางมากขึ้น อีกทั้งการทอผ้าของไทยยังเป็งานศิลปหัตถกรรมที่มีมาอย่างยาวนานโดยการทอผ้าจะใช้เส้นด้ายฝ้าย เส้นไหม และเส้นใยสังเคราะห์มาเป็นวัตถุดิบหลัก และอาจใช้เส้นใยชนิดอื่นมาผสมเพื่อสร้างลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์ให้แก่ผ้าทอได้ ทั้งนี้ผ้าทอที่มีชื่อเสียงในประเทศไทยมีหลายแบบ เช่น ผ้ามัดหมี่ ผ้าลายหางกระรอก ผ้าลายน้ำไหล ผ้าขิด ผ้าตีนจก ผ้าทอเกาะยอ ผ้าทอย้อมกลีบบัว เป็นต้น (สาวิตรี สุวรรณสถิตย์, 2556) และท่ามกลางกระแสของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การลดมลพิษ รวมทั้งการอนุรักษ์ด้านวัฒนธรรมของชาติ ทำให้มีการนำเส้นใยธรรมชาติจากพืชมาผลิตเป็นผ้าทอมากขึ้นทำให้ผ้าทอที่ใช้เส้นใยธรรมชาติผสมผสานในกระบวนการทอเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ช่วยสร้างเอกลักษณ์ สร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผ้าทอ และสร้างรายได้แก่ท้องถิ่นให้เพิ่มขึ้นได้

จังหวัดพังงามีพืชยืนต้นที่อยู่ในวงศ์ Arecaceae คือ ต้นขก (*Arenga pinnata* Werr.) ที่เป็นพืชยืนต้นอยู่ในวงศ์เดียวกับต้นปาล์มพบได้มากในตำบลบ่อแสน และตำบลบางเตย จังหวัดพังงา ชุมชนได้นำส่วนต่าง ๆ ของต้นขกมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและเพื่อสร้างรายได้ เช่น นำผลขกไปจำหน่ายในแบบผลสดหรือแปรรูปเป็นลูกขกลอยแก้ว น้ำหวานจากต้นขกนำมาทำเป็นน้ำตาลแว่นและน้ำตาลผง ใบขกนำมาจักสานและตัดเย็บมุงหลังคา ยอดอ่อนใช้ปรุงอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีส่วนก้านช่อดอกขกที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด (กองการศึกษาเทศบาลตำบลบางเตย, 2560) ดังนั้นการนำเส้นใยก้านช่อดอกขกมาใช้มาใช้ประโยชน์จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งตามธรรมชาติที่พบได้มากในชุมชนเพื่อสร้างช่องทางการเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชนได้อีกด้วย ทั้งนี้ก้านช่อดอกขกมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 46.07 ± 1.82 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 34.30 ± 0.80 ปริมาณลิกนินร้อยละ 18.05 ± 0.60 (รัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ, 2565) การใช้ประโยชน์จากเส้นใยจากก้านช่อดอกขกซึ่งเป็นเส้นใยจากธรรมชาติ นอกจากจะเป็นการสร้างความตื่นตัวให้ชุมชนได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์สูงสุดจากวัตถุดิบในธรรมชาติแล้วยังเป็นการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ชุมชน (เจนณรงค์ แผ่นทอง และอโณทัย สิงห์คำ, 2563) อีกทั้งเส้นใยจากธรรมชาติยังย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายกว่าเส้นใยสังเคราะห์อีกด้วย (รุ่งทิพย์ ลุยเลา, 2560)

ปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อนำเส้นใยจากพืชไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งทอที่เป็นมิตรกับธรรมชาติเนื่องจากย่อยสลายได้ง่ายกว่าเส้นใยสังเคราะห์โดยมีการประยุกต์ใช้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทอผืนผ้าจากเส้นใยผักตบชวาโดยการผสมเส้นใยผักตบชวากับเส้นด้ายฝ้ายในอัตราส่วน 20 : 80 จะผ้าได้ผ้าทอผักตบชวาที่มีค่าความอ่อนนุ่มดีที่สุดและสามารถนำผ้าไปแปรรูปเป็นผ้าคลุมไหล่ เสื้อผ้าสตรี และกระเป๋าสตรีได้ (สมพร วาสะสิริ, 2558) เช่นเดียวกับการทอผืนผ้าจากเส้นด้ายที่ผลิตจากเส้นใยตะไคร้ผสมเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 60:40 จะทำให้ได้ผ้าที่มีลักษณะลายผ้าที่สวยงาม ผ้าทอใยตะไคร้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ได้แก่ เสื้อผ้า กระเป๋า รองเท้า หมวก (เสาวณีย์ อาริวงเจริญ และคณะ, 2556) อีกทั้งพบว่า เส้นด้ายดีเกลียวที่มีส่วนผสมระหว่างใยดาหลาและใยฝ้ายอัตราส่วน 15 : 85 จะเหมาะสมที่สุดในการนำไปทอผ้าเพื่อทำผลิตภัณฑ์แฟชั่นไลฟ์สไตล์ ได้แก่ เสื้อผ้า กระเป๋า และรองเท้า (นวัตรกร อูมาศิลป์ และพัชรา อุทิศวรรณกุล, 2561) นอกจากนี้ศรัณย์ จันทรแก้ว (2562) พบว่า เส้นใยจากใบอ้อยสามารถใช้เป็นเส้นด้ายทอเป็นผ้าทอใยอ้อยด้วยก็มือได้ โดยผ้าทอเส้นใยใบอ้อยจะเป็นผ้าที่มีลักษณะหยาบจึงมุ่งเน้นนำไปออกแบบเพื่อใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ที่แข็งแรงเหมาะสมต่อการใช้งานหลายชนิด ได้แก่ โคมไฟ กระเป๋า หมวก

และรองเท้า ทั้งนี้การใช้ประโยชน์จากเส้นใยอ้อยนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกับการใช้เส้นใยจากต้นปุด (*Achasma macrocheilos* Griff) โดยเส้นใยจากต้นปุดนั้นจะใช้งานในลักษณะของเคหะสิ่งทอ เช่น ผ้าปูที่นอน ผ้าห่มเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น (กิตติพงศ์ พัฒนไพศาลสิน และคณะ, 2562) นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ผลิตเส้นใยจะส่งผลให้ผ้าทอที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ผ้ายกเตนิมครที่ทอด้วยเส้นด้ายพุ่ง 3 ชนิด ได้แก่ ผ้ายพอลิเอสเตอร์ และผ้ายผสมเรยอน พบว่า เส้นด้ายพอลิเอสเตอร์มีขนาด ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด และความไม่สม่ำเสมอมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1104.70 ดีเนียร์ 1.87 กรัมต่อดีเนียร์ ร้อยละ 11.20 ตามลำดับ ผ้ายกเตนิมครพอลิเอสเตอร์มีความแข็งแรงของผ้าทอต่อแรงดึงขาดในแนวเส้นด้ายพุ่ง น้ำหนัก และความหนา มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 861.49 นิวตัน 424.51 กรัมต่อตารางเมตร และ 1.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ (จุฑามาศ ขุนไชยการ และคณะ, 2561) ส่วนผ้าทอใยตะไคร้ที่ได้มีค่าแรงดึงด้านแนวเส้นด้ายยืน 362.13 นิวตัน การยืดตัวร้อยละ 17.47 ด้านแนวเส้นด้ายพุ่ง 251.84 นิวตัน การยืดตัวร้อยละ 10.83 (เสาวณีย์ อาริวงเจริญ และคณะ, 2556) และผ้าทอใยอ้อยมีค่าความคงทนต่อแรงฉีกขาด 32.96 นิวตัน แรงดึงขาดตามแนวเส้นด้ายพุ่ง 6.79 นิวตัน อัตราของระยะยืดเฉลี่ย 27.03 มิลลิเมตร ความหนา 1.533 มิลลิเมตร ความโค้งงอด้านเส้นพุ่ง 5.50 เซนติเมตร และการดูดซึมความชื้นร้อยละ 8.22 (ศรัณย์ จันทรแก้ว, 2562)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าเส้นใยธรรมชาติจากพืช สามารถนำไปใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ที่มีความแปลกใหม่ได้ และสามารถสร้างเอกลักษณ์ให้แก่ชุมชนได้ ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยศึกษาการพัฒนา ผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกขก โดยมุ่งหวังพัฒนาเป็นผ้าทอที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัสดุธรรมชาติในท้องถิ่น จังหวัดพังงา และใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนสร้างสรรค์จากผ้าทอ ผสมเส้นใยก้านช่อดอกขกเพื่อสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มอาชีพในชุมชนจังหวัดพังงาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าทอผสมเส้นใยจากก้านช่อดอกขก
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกขก

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การสกัดเส้นใยก้านช่อดอกขก

ก้านช่อดอกขกแห้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเส้นใยเก็บจากพื้นที่บ้านคลองบ่อแสน หมู่ที่ 3 ตำบล บ่อแสน อำเภอบ้านทับทิม จังหวัดพังงา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) นำไปวิเคราะห์สมบัติในห้องปฏิบัติการเคมีของวิทยาลัยชุมชนพังงา พบว่า มีค่าความชื้นร้อยละ 11.45 ± 0.12 ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 46.07 ± 1.82 โดยน้ำหนัก ปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 34.30 ± 0.80 โดยน้ำหนัก ปริมาณลิกนิน ร้อยละ 18.05 ± 0.60 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปสกัดเส้นใยด้วยการต้มกับสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) นาน 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ตาม กระบวนการของธวัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ (2565) เส้นใยก้านช่อดอกขกที่ได้มีปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 41.71 ± 0.35 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 18.49 ± 0.98 ลิกนินร้อยละ 2.94 ± 0.07 ขนาดเส้นด้าย (Ne) 8.65 ± 0.05 ค่าแรงดึงสูงสุด (กรัมแรง) $1,256.32 \pm 43.75$ ค่าการยืดตัวขณะขาดร้อยละ 17.75 ± 0.43 (ธวัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ, 2565) โดยภาพเส้นใยก้านช่อดอกขกที่พร้อมใช้งานแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เส้นใยก้านช่อดอกชกที่พร้อมใช้งานเพื่อพัฒนาเป็นผ้าทอ

2. การทอผ้าผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก และศึกษาสมบัติผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก

การทอผ้าผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก ใช้กระบวนการทอโดยใช้กี่กระทบดัดแปลงจากกี่กระทบทำด้วยไม้ มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม เส้า 4 เส้า มีคานเป็นโครงยึด ขนาดความกว้างของหน้าพืม 75 เซนติเมตร โครงสร้างของ กี่กระทบมีส่วนประกอบ คือ พืมหรือพินหวี เขาทุกหรือตะกอ รางกระสวย ผัง (ไม้บังคับหน้าผ้า) ไม้กำพัน (ไม้ม้วนผ้า) และคานเหยียบ การเตรียมเส้นยืนก็กระทบด้วยเส้นฝ้ายในการทอผ้าเส้นใยก้านช่อดอกชกนั้นทำโดย ชึงเส้นฝ้ายต้มสะอาด ขนาดเบอร์ 30/2 น้ำหนัก 4.51 กิโลกรัม (77 ใจ) เป็นเส้นด้ายยืน จำนวน 220 เส้น สอดเข้ากับแกนม้วน ร้อยปลายด้ายแต่ละเส้นเข้าไปในพืม และตะกอแต่ละชุดหวีด้วยเส้นยืน ยกแกนม้วนเข้าก็ คลายม้วนเส้นไหมแล้วผูกเส้นด้ายยืนที่ไม้กำพัน โยงตะกอและคานเหยียบเพื่อทำหน้าที่แยกเส้นฝ้ายออกเป็นกลุ่ม โดยดึงปลายเส้นยืนทั้งหมดม้วนเข้ากับไม้ม้วนผ้าอีกด้านหนึ่ง ปรับความหย่อนตึงให้พอเหมาะ จากนั้นใช้เส้นใย ก้านช่อดอกชกเป็นเส้นพุ่งสำหรับใช้สอดไปตามแนวขวางของเส้นยืนเพื่อขัดกัน นำผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกที่ได้ไปทดสอบสมบัติ ดังนี้

2.1 น้ำหนักผ้า (Mass per unit area) ตามมาตรฐาน ASTM D3776: 2009 section 9 option C (Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric) (American Society for Testing and Materials, 2009a)

2.2 ค่าแรงดึงสูงสุด (Tensile) ตามมาตรฐาน ASTM D5034: 2009 Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test) (American Society for Testing and Materials, 2009b)

2.3 จำนวนเส้นด้าย (Threads per unit length) ตามมาตรฐาน ASTM D3775: 2008 Standard Test Methods for Warp (End) and Filling (Pick) Count of Woven Fabrics (American Society for Testing and Materials, 2008)

ภาพการทอผ้าผสมเส้นใยกันช่อดอกชกแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การทอผ้าผสมเส้นใยกันช่อดอกชก

3. การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชก

3.1 เก็บข้อมูลความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกใน 5 ประเด็น ได้แก่ สี ลักษณะ ปรากฏ น้ำหนัก ผิวสัมผัส และความพึงพอใจภาพรวม จากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นกลุ่มอาชีพ และกลุ่มเกษตรกร ผู้แปรรูปลูกชกและน้ำตาลชกในเขตพื้นที่ ตำบลบางเตย อำเภอเมืองพังงา และตำบลบ่อแสน อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา จำนวน 30 คน โดยใช้แบบสอบถามแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ (5 Rating scale) เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Random Complete Block Design : RCBD) ซึ่งคะแนนแต่ละระดับมีรายละเอียดดังนี้

คะแนน	ความหมาย
คะแนน 5	พึงพอใจมากที่สุด
คะแนน 4	พึงพอใจมาก
คะแนน 3	พึงพอใจปานกลาง
คะแนน 2	พึงพอใจน้อย
คะแนน 1	พึงพอใจน้อยที่สุด

3.2 นำผลการศึกษาความพึงพอใจที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แปรผลค่าเฉลี่ยโดยใช้ช่วงของค่าเฉลี่ยที่เท่ากันในทุกชั้นในอันตรภาค ดังนี้

ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
4.20 - 5.00	มากที่สุด
3.40 - 4.19	มาก
2.60 - 3.39	ปานกลาง
1.80 - 2.59	น้อย
1.00 - 1.79	น้อยที่สุด

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

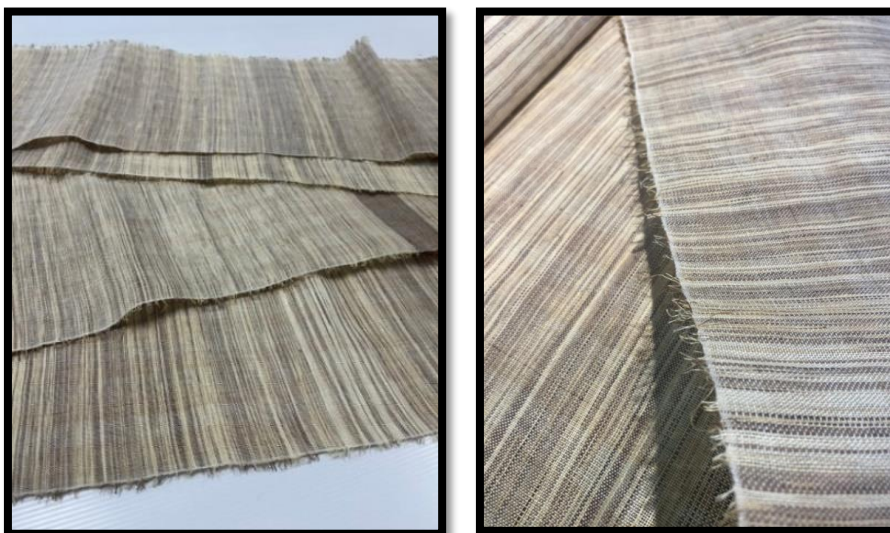
4.1 ผลการศึกษาสมบัติผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกจะนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

4.2 ผลการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอเส้นใยผสมก้านช่อดอกชกจะนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. สมบัติผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก

จากการนำเส้นใยก้านช่อดอกชกไปทอเป็นผืนผ้าโดยใช้เป็นเส้นด้ายพุ่ง ใช้เส้นฝ้ายเป็นเส้นด้ายยืนทำให้ได้ผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก ที่มีลักษณะดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก

ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกที่ได้จากการทอนั้นมีลักษณะผิวสัมผัสที่ค่อนข้างหยาบ ผิวสัมผัสมันวาวเล็กน้อย สาเหตุอาจเนื่องมาจากเส้นใยกันช่อดอกขกที่นำไปใช้เป็นเส้นด้ายพุ่งในการทอผ้านั้นมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวกลุ่ม (Multifilament) มีรวมกันของเส้นใยเดี่ยวเป็นกลุ่ม เส้นใยไม่มีความหยัก (Crimp) ลักษณะผิวไม่เรียบ ขนาดไม่สม่ำเสมอ เส้นใยมีผิวขรุขระเล็กน้อย (รัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ, 2565) ซึ่งลักษณะผิวของเส้นใยที่มีลักษณะนี้จะส่งผลให้เส้นใยมีความเป็นมันวาวน้อย หากนำไปพัฒนาเป็นสิ่งทอจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะพื้นผิวหยาบ จะเกิดการเปื้อนได้ง่ายกว่าเส้นใยที่มันวาว ทั้งนี้เส้นใยกันช่อดอกขกไม่มีความหยักซึ่งหากนำไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่นจะทำให้การเกาะเกี่ยว (Cohesiveness) กับเส้นใยอื่น ๆ เกิดขึ้นน้อยลงด้วย และจะมีการคืนตัวจากแรงอัด (Resilience) การทนต่อแรงเสียดสี (Resistance to abrasion) ลดลงตามไปด้วย (Subhankar, 2014)

เมื่อทำผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกไปวิเคราะห์สมบัติ พบว่าค่าที่ได้ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติของผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขก

สมบัติของผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขก	$\bar{X} \pm S.D.$
น้ำหนักผ้า (กรัมต่อตารางเมตร)	190.71±8.10
ค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายยืน (นิวตัน)	254.08±8.52
ค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายพุ่ง (นิวตัน)	433.12±9.45
จำนวนเส้นด้าย (เส้นต่อตารางนิ้ว)	78
จำนวนเส้นด้ายยืน (เส้นต่อตารางนิ้ว)	31
จำนวนเส้นด้ายพุ่ง (เส้นต่อตารางนิ้ว)	47

จากตารางที่ 2 พบว่า ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผ้า 190.71±8.10 กรัมต่อตารางเมตร ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่ง มีค่าเท่ากับ 254.08±8.52 และ 433.12±9.45 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นใยกันช่อดอกขกที่ใช้เป็นเส้นด้ายพุ่งมีค่าแรงดึงสูงสุดมากกว่าเส้นด้ายที่ใช้เป็นเส้นด้ายยืน ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกมีจำนวนเส้นด้าย 78 เส้นต่อตารางนิ้ว และมีจำนวนเส้นด้ายพุ่งมากกว่าจำนวนเส้นด้ายยืน

น้ำหนักของผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกจัดอยู่ในกลุ่มผ้าที่มีน้ำหนักปานกลางตามเกณฑ์ของ University of Fashion (2014) ซึ่งแบ่งผ้าตามน้ำหนักออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้ ผ้าน้ำหนักเบา 50-100 กรัมต่อตารางเมตร ผ้าน้ำหนักเบา 100-170 กรัมต่อตารางเมตร ผ้าน้ำหนักปานกลาง 170-230 กรัมต่อตารางเมตร ผ้าที่มีน้ำหนัก 230-340 กรัมต่อตารางเมตร และผ้าที่มีน้ำหนักมาก 340-450 กรัมต่อตารางเมตร

ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกมีจำนวนเส้นด้ายพุ่งมากกว่าจำนวนเส้นด้ายยืน จึงส่งผลให้ค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายพุ่งมากกว่าค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายยืน นอกจากนี้พบว่าจำนวนเส้นด้ายยืน และเส้นด้ายพุ่งมีจำนวนน้อยกว่าผ้าเดนิม และฝ้ายกนคร โดยปกติแล้วจำนวนเส้นด้ายยืนจะมีมากกว่าเส้นด้ายพุ่ง อีกทั้งเส้นด้ายยืนจะมีขนาดเล็กกว่าเส้นด้ายพุ่ง ซึ่งจำนวนเส้นด้ายต่อตารางนิ้วที่มีค่าน้อยนั้นเกิดจากเส้นด้ายมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ผิวสัมผัสของผ้าค่อนข้างหยาบเนื่องจากเกิดการขัดกันของเส้นด้ายพุ่ง และเส้นด้ายยืน (จุฑามาศ ขุนไชยการ และคณะ, 2561) ทั้งนี้ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกขกมีลักษณะของผ้าทอที่มีสีและลักษณะเฉพาะตัว มีลักษณะผิวสัมผัสที่ค่อนข้างหยาบ จึงอาจจะไม่เหมาะที่จะนำไปตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่มที่สัมผัสกับร่างกายโดยตรง

แต่อาจนำไปใช้ตกแต่งเพิ่มมูลค่าให้แก่เครื่องนุ่งห่ม หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ เนื่องจากอาจเกิดความระคายเคืองเมื่อสวมใส่ และเนื่องด้วยเส้นใยกันช่อดอกชกที่ใช้เป็นเส้นด้ายพุ่งในการทอผ้ามีลักษณะผิวขรุขระเล็กน้อย จึงส่งผลให้ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกมีความเป็นมันวาวน้อยไปด้วยเช่นกัน

2. การศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชก

ผลการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชก แสดงดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชก (n=30)

ประเด็นการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ	การแปลผลคะแนน
	$\bar{X} \pm S.D.$	
1. สี	$4.59^a \pm 0.67$	มากที่สุด
2. ลักษณะปรากฏ	$4.56^a \pm 0.94$	มากที่สุด
3. น้ำหนักผ้า	$4.58^a \pm 0.58$	มากที่สุด
4. ผิวสัมผัส	$4.52^a \pm 0.97$	มากที่สุด
5. ความพึงพอใจภาพรวม	$4.87^b \pm 0.58$	มากที่สุด

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจที่มีต่อผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกในระดับมากที่สุดในทุกด้าน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านสี ลักษณะปรากฏ น้ำหนักผ้า และผิวสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยประเด็นที่มีคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด คือ ความพึงพอใจภาพรวม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจแตกต่างกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านสี ลักษณะปรากฏ น้ำหนักผ้า และผิวสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแปลกใหม่ซึ่งจะสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) เป็นอย่างมาก (Perreault, et al., 2013) นอกจากนี้แล้วผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งตามธรรมชาติที่ไม่เคยมีการนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสิ่งทอมาก่อน จึงส่งผลให้ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกได้รับความสนใจและส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจอย่างสูงสุดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเตื่อนใจ ปิยัง และระริน เครือวรพันธุ์ (2562), นาวิ เป็ลยวจิตร (2562) และ Sapuan et al. (2019) ที่พบว่า ระดับความพึงพอใจจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีความแปลกใหม่ มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรหรือวัสดุอย่างคุ้มค่า และมีความเป็นไปได้ที่ชุมชนสามารถผลิตได้

สรุป

การพัฒนาผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกครั้งนี้ใช้เส้นใยกันช่อดอกชกเป็นเส้นด้ายพุ่งในการทอผ้าเส้นใยกันช่อดอกชกที่ได้มีขนาดใหญ ผิวขรุขระ และเมื่อนำเส้นใยกันช่อดอกชกไปใช้ในการใช้เป็นเส้นด้ายพุ่งในการทอเป็นผืนผ้า พบว่า ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกมีผิวสัมผัสที่ค่อนข้างหยาบ มีความมันวาวน้อย ผ้าทอผสมเส้นใยกันช่อดอกชกมีค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายพุ่งมากกว่าค่าแรงดึงสูงสุดแนวเส้นด้ายยืนซึ่งเป็น

เส้นใยฝ้าย ผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกจัดอยู่ในกลุ่มผ้าที่มีน้ำหนักปานกลางจึงมีลักษณะทั้งตัวดี ความพึงพอใจต่อผ้าทอเส้นใยก้านช่อดอกชกในระดับมากที่สุดในทุกด้าน โดยประเด็นที่มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด คือ ความพึงพอใจภาพรวม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจแตกต่างกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านสี ลักษณะปรากฏ น้ำหนักผ้า และผิวสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อย่างไรก็ตามถือว่าผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกเป็นผ้าทอที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้เช่นกันเนื่องจากเป็นผ้าทอจากเส้นใยธรรมชาติซึ่งจะย่อยสลายได้ง่ายกว่าผ้าจากเส้นใยสังเคราะห์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย ผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกมีเนื้อผ้าที่มีลักษณะค่อนข้างหยาบ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำหรับตกแต่ง หรือใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชน ทั้งนี้อาจนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก หรือผลิตภัณฑ์สิ่งทออื่น เช่น กระเป๋า รองเท้า โคมไฟ หมวก เป็นต้น มากกว่าที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่ม เนื่องจากเส้นใยที่สัมผัสกับผิวหนังโดยตรงอาจจะสร้างความระคายเคืองเมื่อสวมใส่ได้ นอกจากนี้ผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกเป็นผ้าทอจากเส้นใยพืชจึงสามารถระบายอากาศได้ดี แต่มักจะไม่ทนต่อเชื้อรา สิ่งสกปรกเกาะติดง่ายซักออกได้ยาก ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้ประโยชน์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรนำผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกไปเคลือบสารกันเชื้อราและสารสะท้อนน้ำก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการวิจัยเพื่อศึกษาอายุการใช้งานของผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชก หรือวิจัยเพื่อออกแบบ หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผ้าทอผสมเส้นใยก้านช่อดอกชกไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค เป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างเอกลักษณ์และสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กองการศึกษาเทศบาลตำบลบางเตย. (2560). **การทำลูกชก**. สืบค้นจาก http://www.bangtoeycity.go.th/news/doc_download/a_310517_093413.pdf
- กิตติพงศ์ พัฒนไพศาลสิน, กัลลิตา เชาวชาญชัยกุล, และแววบุญ แยมแสงสังข์. (2562). **การปรับปรุงเส้นใยจากต้นปุดสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านสิ่งทอ**. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, วันที่ 15 มีนาคม 2562. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จุฑามาศ ขุนไชยการ, สาคร ชลสาคร, และรัตนพล มงคลรัตนสิทธิ์. (2561). สมบัติทางกายภาพของฝ้ายกเดนิมนคร. **วารสาร มทร. อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 11(3), 130-143.
- เจนณรงค์ แผ่นทอง และอโนทัย สิงห์คำ. (2563). การออกแบบผลิตภัณฑ์แฟชั่นร่วมสมัยจากเส้นใยต้นสาร. **วารสารศิลปกรรมและการออกแบบแห่งเอเชีย**, 1(1), 78-94.

- เตือนใจ ปิยง และระริน เครือวรพันธุ์. (2562). การสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือทิ้งในการแปรรูปทางจากชุมชนบ้านแหลม จังหวัดตรัง. **วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่**. 11(6), 503-517.
- ธวัชชัย จิตวารินทร์ และคณะ. (2565). การสกัดและศึกษาคุณสมบัติเส้นใยกันช่อดอกขก. **PSRU Journal of Science and Technology**, 7(2), 42-56.
- นวัตรกร อุมาศิลป์ และพัชรา อุทิสวรรณกุล. (2561). นวัตกรรมสิ่งทอจากเส้นใยตาหลาสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์แฟชั่นไลฟ์สไตล์. **Veridian E-Journal Silpakorn University**, 11(3), 803-814.
- นาวี เปลี่ยวจิตร. (2562). การวิจัยเส้นใยจากกากหมากเพื่อพัฒนาเป็นเคหะสิ่งทอ. **วารสารวิจัยราไพพรรณี**, 13(3), 90-100.
- รุ่งทิพย์ ลุยเลา. (2560). **เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติจากพืช เล่มที่ 4 : ผ้าไม่ทอจากใยธรรมชาติ**. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ.
- ศรัณย์ จันทร์แก้ว. (2562). **การพัฒนาเส้นใยไบออย์เพื่องานออกแบบสิ่งทอ**. ดุษฎีนิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต คณะศิลปกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สมพร วาสะสิริ. (2558). ผืนผ้าจากเส้นใยผักตบชวาผสมด้ายฝ้าย. **Journal Art Klong Hok**, 2(1), 210-214.
- สาวิตรี สุวรรณสถิตย์. (2556). **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่ม 21**. กรุงเทพฯ : มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราชบรมนาถบพิตร.
- เสาวณีย์ อารีจางเจริญ, นฤพน ไพศาลตันติวงศ์, รัตนพล มงคลรัตนสิทธิ, และสาคร ชลสาคร. (2556). **รายงานการวิจัย: การพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใยตะไคร้**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- American Society for Testing and Materials. (2008). **Standard Test Methods for Warp (End) and Filling (Pick) Count of Woven Fabrics**. West Conshohosken: ASTM international.
- American Society for Testing and Materials. (2009a). **Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (weight) of Woven Fabric**. Section 9 option C. Volume 07.02. West Conshohosken: ASTM international.
- American Society for Testing and Materials. (2009b). **Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)**. West Conshohosken: ASTM international.
- Perreault W. Jr., Cannon, J., & McCarthy, E. J. (2013). **Basic Marketing : A Marketing Strategy Planning Approach**. 19th ed. Irwin: McGraw-Hill.
- Sapuan, S.M., Sahari, J., Ishak, M.R., & Sanyang, M.L. (2019). **Sugar Palm Biofibers, Biopolymers, and Biocomposites**. Florida: CRC Press.
- Subhankar, M. (2014). Characteristics and effects of fiber crimp in nonwoven structure. **Journal of the textile association**, 3(14), 360-366.
- University of Fashion. (2014). **Fabric Weight**. Retrieved from <https://www.universityoffashion.com/wp-content/uploads/2014/12/KnitFabricWeightChart.pdf>

การศึกษาการย้อมสีใบตะขบด้วยฝางเพื่องานพิมพ์สีธรรมชาติด้วยเทคนิคการถ่ายโอนสีสู่ผ้าฝ้าย

เกชา ลาวงษา¹ สุจาริณี สังข์วรรณะ² วีระศักดิ์ ศรีลารัตน์^{3*}

Received : July 19, 2022

Revised : December 22, 2022

Accepted : December 26, 2022

บทคัดย่อ

การพิมพ์ผ้าด้วยสีธรรมชาติเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาดั้งเดิมของท้องถิ่นไทย ช่วยส่งเสริมอาชีพและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามความหลากหลายของสียังไม่มีความหลากหลายมากนัก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการย้อมสีใบตะขบด้วยฝางในอัตราส่วนต่างกันจากสีธรรมชาติที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณผงฝางต่อน้ำในอัตราส่วน (10 20 30 40 50) และระยะเวลา (10 20 30 นาที) ผลการศึกษาพบว่า ใบตะขบย้อมสีจากผงฝาง น้ำผสมผงฝางในอัตราส่วนน้ำ 1 ลิตรต่อผงฝาง 50 กรัม ระยะเวลาในการย้อมใบตะขบกับผงฝางเป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิในการต้ม 50 องศาเซลเซียส ให้ผลที่ดีที่สุดสีเข้มที่สุดและวัดค่าสีของผ้าฝ้ายที่พิมพ์สีจากใบตะขบย้อมสีจากผงฝางพบว่า สว่นใหญ่มีความสว่างไปทางสว่าง (ค่า L^* เฉลี่ยรวม 57.32) ค่า a^* เฉลี่ยรวม 16.42 เป็นค่าบวก (สีแดง) โดยมีค่า a^* เฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 23.68 การย้อมใบไม้สำหรับงานพิมพ์ผ้าด้วยเทคนิคที่เป็นธรรมชาติสามารถทำให้สีใบตะขบมีความหลากหลายและมีความชัดเจน ลวดลายทันสมัย โดยสามารถดึงสีส่นจากใบตะขบให้มีสีชมพูเข้ม ลวดลายมีความประณีตของเส้นใบ อีกทั้งยังสามารถนำไปต่อยอดโดยการตัดเย็บเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย และของตกแต่งบ้านจากผ้า ตลอดจนเป็นการส่งเสริมธุรกิจครัวเรือนและชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: การถ่ายโอนสี ใบตะขบ ผ้าฝ้าย ฝาง

¹ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อีเมล: kacha.l@rmutp.ac.th

² อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
อีเมล: sujarinee@vru.ac.th

³ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
อีเมล: veerasak@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: veerasak@vru.ac.th

THE STUDY OF MUNTINGIA CALABURA LEAVES DYED WITH SAPPAN FOR NATURAL COLOR WITH COLOR TRANSFER TECHNIQUE ON COTTON FABRIC

Kecha Lawongsa¹ Sujarinee Sangwanna² Veerasak Seelarat^{3*}

Abstract

Printing fabrics with natural colors is a continuation of the old local wisdom of Thailand. It helps promote careers and reduce environmental problems. However, the variety of colors is not very diverse. The objective of this study was to determine the best method for dyeing *Muntingia calabura* using natural colors. by comparing the differences of various factors, such as the amount of sappan powder to water in the ratio of 10:20:30:50 and the duration (10, 20,30 minutes). The results of the study showed that *Muntingia calabura* dyed with 50 grams of sappan powder maxed with 1 liter of water for the duration 30 minute under the boiling temprate of 50 c° give the best color resal. The color measurement of colored cotton printed from *Muntingia calabura* dyed with sappan powder showed that the brightness was mostly towards white (57.32 total mean L*), 16.42 total mean a* value (red), with an a* value of the highest average is 23.68. Dyeing leaves for fabric prints using a natural technique could give a variety of colors and clarity. A modern pattern which could draw the color from the *Muntingia calabura* to have a dark pink color. The pattern of the leaf veins is exquisite. It can also be further developed by sewing clothes. Fabric is used to make clothing and home furnishings as well as to promote household and community businesses in another way.

Keywords: Color transfer technique, *Muntingia calabura*, Cotton, Sappan

¹ Lecturer, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: kacha.l@rmutp.ac.th

² Lecturer, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, e-mail: sujarinee@vru.ac.th

³ Lecturer, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, e-mail: veerasak@vru.ac.th

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

บทนำ

สีที่เกิดจากธรรมชาติมีการใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่สมัยโบราณ ในขณะที่สีที่เกิดจากธรรมชาติมีความสำคัญต่อการย้อมเส้นใย และความก้าวหน้าในเทคนิคทางเคมีทำให้สามารถผลิตสีย้อมสังเคราะห์ได้ในราคาที่ถูกลงและสีย้อมที่ผลิตจากแหล่งธรรมชาติมีการแข่งขันน้อยและค่อยๆ ถูกแทนที่ด้วยสีย้อมสังเคราะห์ ปัจจุบันการใช้และการผลิตสีย้อมธรรมชาติเป็นกลายเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากการตระหนักรู้ที่เพิ่มขึ้นของปัญหาสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปกับความเป็นพิษที่เกี่ยวข้องกับสีย้อมสังเคราะห์ (Anliker et al., 1988) นอกจากนี้สีย้อมธรรมชาติยังสามารถแสดงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น และแสดงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นทางเลือกแทนสีย้อมสังเคราะห์ (Frischer & Garcia, 2005) มีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัว คือ สีสวย เย็นตา ไม่ฉูดฉาด สามารถละลายน้ำได้ง่าย แต่มีคุณสมบัติด้านการคงทนต่อแสงไม่ดันทักสีมีการเปลี่ยนแปลงง่าย และซีดง่ายซึ่งต่างจากสีสังเคราะห์ (Watters et al., 1964; Puntener et al., 2003) สีที่ได้มาจากทั้งผ้าฝ้ายและเส้นด้ายขนสัตว์ค่อนข้างเข้มและอึดตัว ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีคุณค่าอย่างยิ่งในสีย้อมความคงทนต่อแสงเป็นที่น่าพอใจในขณะที่ทนต่อน้ำย้อมได้ดี (Johnson et al., 2000) สีย้อมธรรมชาติบางชนิดให้คุณสมบัติการทำงาน เช่น ด้านเชื้อแบคทีเรีย ป้องกันกลิ่น และ UV คุณสมบัติป้องกันผ้าอ้อม (Shahid Ul & Butola, 2020) เส้นใยโพลี-เอสเทอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้มากที่สุดในระบบอุตสาหกรรมสิ่งทอและสามารถใช้กับสีย้อมกระจายเมื่อเดือดที่อุณหภูมิ 130 °C พาหะที่เป็นสารก่อมะเร็งและห้ามใช้ในหลายประเทศ การใช้สีย้อมธรรมชาติในการย้อมเส้นใย โพลี-เอสเทอร์ เป็นทางเลือกที่ดีในการลดการใช้สีย้อมสังเคราะห์ให้น้อยที่สุดและผู้ใช้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น กระบวนการย้อมสีธรรมชาติซับซ้อนเนื่องจากการมีอยู่ของสารสีต่างๆ ในโรงงานเดียวและการเพิ่มประสิทธิภาพของจำเป็นต้องมีกระบวนการย้อมสีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ (Haji, 2020) และอุตสาหกรรมสิ่งทอเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เน้นเรื่องความปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการผลิตที่ยั่งยืนและป้องกันมลพิษเพิ่มเติมโดยการนำกลยุทธ์การบำบัดน้ำเสีย (Baig et al., 2020) อุตสาหกรรมสิ่งทอและแฟชั่นส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพที่เกี่ยวข้องด้วยการใช้สีย้อมสังเคราะห์บางชนิด สามารถหาสีย้อมธรรมชาติได้จากพืช สัตว์ แร่ธาตุ และแหล่งจุลินทรีย์ และส่วนใหญ่ใช้ในการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ เช่น ขนแกะ ไหม ฝ้าย (Baaka, Haddar, Ben Ticha, & Mhenni, 2019)

ตะขบชื่อวิทยาศาสตร์ *Muntingia calabura* วงศ์: Muntingiaceae ใบเดี่ยว เรียงสลับแบบทแยงกัน ลักษณะใบรูปขอบขนานแกมรูปไข่ ปลายใบเรียวแหลม โคนใบข้างหนึ่งมน ข้างหนึ่งแหลม ขอบใบหยัก มีขนปกคลุมหนาแน่น เส้นใบมี 3-5 เส้น ด้านบนสีเขียวด้านล่างสีนวล ก้านใบยาว มีขน โคนก้านเป็นปม ๆ การใช้ประโยชน์ด้านอาหารนำมารับประทานได้ มีรสหวานเย็น หอม ด้านเครื่องนุ่งห่ม ส่วนเปลือกใช้เป็นแหล่งของเส้นใย ด้านยารักษาโรค ผลสุกมีสรรพคุณเป็นยาบำรุงกำลัง ดอกตะขบมีสรรพคุณเป็น ยาแก้อาการปวดศีรษะ ใช้เป็นยาแก้หวัด ลดไข้ รากมีสรรพคุณ เป็นยาแก้เสมหะ (จารุยา ขอพลอยกลาง และคณะ, 2561) สีเขียวจากใบไม้ที่อยู่ของเมล็ดที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ เมื่อมีคลอโรฟิลล์จำนวนมากในเซลล์ของใบไม้ พืชพันธุ์เจริญงอกงามสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะมีอำนาจเหนือและปกคลุมเมล็ดสีอื่น ๆ จากทฤษฎีกรด-เบส กรดคือสารที่ให้โปรตอนและเบสคือ สารที่รับโปรตอน เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับเบส จึงมีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างกรดและเบส (พรพิมล มวงไทย และคณะ, 2553)

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผ้าพิมพ์สีจากธรรมชาติด้วยภูมิปัญญา ซึ่งเลือกใช้วิธีการนี้ มีสารช่วยย้อมประเภทต่าง กรด และการเพิ่มความหลากหลายของสีและลวดลายในการย้อมสีใบตะขบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวช่วยสนับสนุนความต้องการบริโภคของสินค้า OTOP แฟชั่นรักษ์โลก (ECO fashion) ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงสร้างสรรค์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการย้อมสีใบตะขบด้วยผงในอัตราส่วนที่ต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนของผงฝางที่เหมาะสมต่อการย้อมสีใบตะขบและระยะเวลาของการต้มผงฝางกับใบตะขบที่เหมาะสมวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยเปรียบเทียบเวลาในการต้มน้ำผสมผงฝางกับใบตะขบ การเตรียมใบไม้ในการย้อมสีใบตะขบจากผงฝาง โดยทดสอบกับผ้าฝ้ายแท้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการเก็บรวบรวมใบตะขบที่มีในชุมชน ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี คัดแยกเม็ดและดอกออก ใช้ใบแก่และใบที่มีความสมบูรณ์ ทำการล้างน้ำให้สะอาด ชั่งน้ำหนักอย่างละ 100 กรัม นำส่วนประกอบของใบตะขบใส่ในอ่างผสม น้ำที่บรรจุน้ำสะอาด 5 ลิตรต่อผงสีสกัดจากแก่นฝาง (สมุนไพรพระเจ้าจันทร์) 10 20 30 40 50 กรัม นำผงฝางละลายกับน้ำแล้วนำมาตั้งไฟให้เดือด จากนั้นนำใบตะขบลงต้มเป็นเวลา 10 20 30 นาที จากนั้นนำไปพิมพ์ผ้าในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมผ้าฝ้ายในการพิมพ์ผ้าฝ้ายที่นำมาใช้ในงานทดลองเป็นผ้าฝ้ายสีขาวขนาด 50 x 50 เซนติเมตร จำนวน 18 ชิ้น ก่อนนำไปใช้ในการพิมพ์ผ้าให้ทำความสะอาดด้วยการซักด้วยน้ำยาซักผ้าแล้วนำไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภท ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้งต่างๆ ให้หลุดออกไป

3. การเตรียมสารมอร์แดนต์ (Mordant) ที่ใช้ในการพิมพ์ผ้า โดยนำน้ำส้มสายชู 5 % ปริมาณ 1 ลิตร สารส้มแบบผงแห้ง 200 กรัม ปูนขาว 100 กรัม ผงเฟอร์รัสซัลเฟต 1 กรัม นำส่วนผสมทั้งหมดผสมกันจนส่วนผสมทั้งหมดละลายเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ตะกร้อมือ จากนั้นนำผ้าที่เตรียมไว้ตามข้อที่ 2 นำมาขยี้กับน้ำมอร์แดนต์ที่เตรียมไว้ให้เข้ากันนาน 5 นาที จากนั้นนำไปตากในที่ร่มจนผ้าแห้ง จากนั้นนำไปซักออกด้วยน้ำเปล่า แล้วนำไปพิมพ์ผ้าในขั้นตอนต่อไป

4. การสร้างลวดลายผ้าฝ้ายแบบวิธีการพิมพ์ โดยนำผ้าฝ้ายสีขาวขนาด 50 x 50 เซนติเมตร (ข้อ 3) ทำการวางลวดลายใบไม้ลงบนผ้าฝ้าย จำนวน 5 แบบ ได้แก่ ใบตะขบที่ต้มด้วยผงฝาง 10 20 30 40 50 กรัม ระยะเวลาการต้มใบไม้ 10 20 30 นาที จากนั้นนำแผ่นพลาสติกใสวางทับใบไม้เพื่อไม่ให้สีของใบไม้กระจายสู่ผ้าจุดอื่น และนำสายซิลิโคนมามัดผ้าให้แน่นเพื่อให้ผ้ากับใบไม้ติดกันมากที่สุด นำเชือกมามัดให้แน่น นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที เพื่อให้ได้ลวดลายผ้าที่ชัดเจน จากนั้นนำผ้าที่นึ่งเสร็จ นำไปล้างด้วยน้ำสะอาดล้างจนกว่าสีไม่หลุดเพื่อกำจัดสีส่วนเกิน ตากให้แห้งสนิทและรีดให้เรียบ

5. การวัดค่าสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการพิมพ์ ตำแหน่งการวัดค่าสีของผ้าทั่วทั้งผืนจำนวน 5 จุด ต่อ 1 ผืน และใช้แสง D65 ในการวัดค่าสี วัดค่าความเข้มสี (Colour strength) หรือค่า K/S ด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10 ซึ่งใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L^* , a^* และ b^* โดยที่ L^* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) ค่าเข้าใกล้ 100 หมายถึง สีขาว (สีขาว) ค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง สีเข้ม (สีดำ) ที่สุด a^* ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างมีสีแดง แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ หมายถึงตัวอย่างมีสีเขียว และ b^* ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึงตัวอย่างมีสีเหลือง แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ หมายถึงตัวอย่างมีสีน้ำเงิน c^* คือ ค่าความบริสุทธิ์หรืออิ่มตัวของสี ตัวเลข 0 ถึง 100 h^* คือ องศาที่แสดงค่าเฉดสี เริ่มวนจาก 0° (แดง) ไป 90° (เหลือง) 180° (เขียว) 270° (น้ำเงิน) จนกลับไป 0° จากนั้นนำค่าสีของผ้าฝ้ายที่ได้จากการย้อมในแต่ละหน่วยทดลอง นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแตกต่าง (Analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's multiple rang test

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ศึกษาอัตราส่วนของผงฝางที่เหมาะสมต่อการย้อมสีใบตะขบที่เหมาะสมต่อการพิมพ์บนผ้าฝ้าย โดยนำผงฝาง 10 20 30 40 และ 50 กรัม นำผงฝางละลายกับน้ำเปล่า 1 ลิตร แล้วนำมาตั้งไฟให้เดือด จากนั้น นำใบตะขบลงต้มเป็นเวลา 10 20 30 นาที พบว่า อัตราส่วนของผงฝาง ระยะเวลาของการต้ม มีค่าแตกต่างกัน ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าสี L^* a^* b^* c^* และ h^* ของแต่ละเวลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการต้มมากขึ้นโดยที่ค่าสี L^* a^* b^* c^* และ h^* หลังต้มมีค่าแตกต่างกับก่อนต้มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 แสดงผล ใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวัดค่าสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการพิมพ์

เวลา	L^*	a^*	b^*	c^*	h^*
0 นาที	76.07±1.03	1.77±0.36	54.58±1.56	54.61±1.36	90.11±0.45
ไม่มีผงฝาง (10 นาที)					
ผงฝาง 10 กรัม	77.46±1.86	4.11±0.16	25.89±1.54	26.44±1.36	80.59±0.37
ผงฝาง 20 กรัม	69.04±0.80	12.35±0.39	35.09±1.63	37.21±1.36	70.83±0.45
ผงฝาง 30 กรัม	69.25±1.44	16.44±0.35	27.45±1.46	32.27±1.36	58.67±0.42
ผงฝาง 40 กรัม	71.35±0.63	15.22±0.40	40.76±1.95	42.78±1.36	72.05±0.44
ผงฝาง 50 กรัม	70.34±1.76	15.18±0.44	29.89±1.36	33.71±1.36	61.78±0.45
(20 นาที)					
ผงฝาง 10 กรัม	78.55±0.56	5.26±0.23	15.87±1.45	16.86±1.36	70.75±0.26
ผงฝาง 20 กรัม	71.08±1.75	14.26±0.33	19.46±1.45	24.14±1.36	53.36±0.86
ผงฝาง 30 กรัม	74.33±0.46	12.78±0.85	17.15±1.86	21.66±1.36	52.65±0.33
ผงฝาง 40 กรัม	63.98±0.33	22.30±0.79	28.50±1.63	36.89±1.36	51.22±0.39
ผงฝาง 50 กรัม	63.76±1.41	23.68±0.36	26.78±1.32	35.09±1.36	48.99±0.96
(30 นาที)					
ผงฝาง 10 กรัม	81.85±0.36	2.48±0.51	14.62±1.86	14.83±1.36	80.48±0.42
ผงฝาง 20 กรัม	78.93±0.36	9.33±0.26	15.31±1.63	17.89±1.36	58.27±0.45
ผงฝาง 30 กรัม	73.30±1.23	10.12±0.44	16.66±1.12	21.46±1.36	51.22±0.63
ผงฝาง 40 กรัม	67.45±0.21	20.56±0.36	20.23±1.09	29.05±1.36	43.66±0.47
ผงฝาง 50 กรัม	72.89±1.22	15.95±0.45	21.07±1.08	26.90±1.36	53.09±0.89
ค่าเฉลี่ยรวม	57.32±1.26	16.42±0.25	15.35±1.56	28.07±1.36	76.70±0.66

ค่าสีของผืนผ้าฝ้ายหลังการพิมพ์ด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-10 ซึ่งใช้ระบบสี CIELAB พบว่า ค่าสีของผืนผ้าฝ้ายหลังการพิมพ์ สวนใหญ่มีความสว่าง ไปทางสีขาว (ค่า L^* เฉลี่ยรวม 57.32±1.26) โดยมีค่า L^* เฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 78.93±0.36 ได้จากการต้ม ใบไม้กับผงฝาง 30 กรัม ระยะเวลาการต้ม 30 นาที สวนค่า L^* เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 63.76±1.41 ได้จากการต้มผงฝาง 50 กรัม ระยะเวลาการต้ม 20 นาที

และเฉดสีไปทางสีชมพู ค่า a^* เฉลี่ยรวม 16.42 ± 0.25 เป็นคาบวก (สีแดง) โดยมีค่า a^* เฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 23.68 ± 0.36 ได้จากการพิมพ์ด้วยใบตะขบที่ไม่ผ่านกระบวนการย้อมกับผง และค่า a^* เฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1.77 ± 0.36 ได้จากการพิมพ์ด้วยใบตะขบที่ไม่ผ่านกระบวนการย้อมกับผง และค่า b^* เฉลี่ยรวม 15.35 ± 1.56 เป็นคาบวก โดยมีค่า b^* เฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 54.58 ± 1.56 ได้จากใบไม้ที่ไม่ผ่านกระบวนการย้อมกับผง สวนค่า b^* เฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 14.62 ± 1.86 ได้จากการพิมพ์ด้วยใบไม้กับผง 10 กรัม ระยะเวลาการพิมพ์ 30 นาที ค่า c^* เฉลี่ยรวม 28.07 ± 1.36 และค่า h^* เฉลี่ยรวมเท่ากับ 76.70 ± 0.66 ทุกอัตราส่วนปริมาณผงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ > 0.05

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการพิมพ์ผ้าสีการย้อมใบตะขบในแต่ละระดับ

อัตราส่วน ผง	ผ้าพิมพ์สีจากธรรมชาติในแต่ละระดับ (10 นาที)	(20 นาที)	(30 นาที)
0 กรัม			
10 กรัม			
20 กรัม			
30 กรัม			

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการพิมพ์ผ้าสีการย้อมใบตะขบในแต่ละระดับ (ต่อ)

อัตราส่วน ผงฝาง	ผ้าพิมพ์สีจากธรรมชาติในแต่ละระดับ		
	(10 นาที)	(20 นาที)	(30 นาที)
40 กรัม			
50 กรัม			

ผลของการต้มน้ำใบตะขบกับผงฝางในอัตราส่วน 10 20 30 40 และ 50 กรัม ระยะเวลาที่ต่างกัน 10 20 และ 30 นาที พบว่า ใบตะขบให้สีชมพูที่ชัด ซึ่งใบตะขบเดิมมีสีเหลืองจัดเป็นโทนสีเหลืองเช่นเดียวกับพืชกลุ่มหัวมันชัน แก่นไม้พุด ผลดิบมะตูม ดอกผกากรองใบชี้เหล็กและแก่นขนุน โดยองค์ประกอบเคมีของใบเพกา มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ทำให้เกิดสารสีเหลืองและสารสีอ่อน โดยตะขบจัดเป็นคลอโมพลาสต์เป็นพลาสติกสารต่าง ๆ และแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างเคมีของใบ (อัญลักษณ์ ชนิกุล และคณะ, 2558) ซึ่งใบตะขบเมื่อนำมาต้มน้ำที่ผสมผงฝางในแต่ละระดับพบว่าใบตะขบจะให้สีชมพู พบว่าการใช้มอร์แดนต์สแตนนัสคลอไรด์จะให้สีแดงมากกว่าการใช้มอร์แดนต์อะลูมิเนียมซัลเฟตเล็กน้อย ส่วนการใช้เกลือแกงจะช่วยลดประจุของสีย้อมและเส้นใยแล้ว ยังช่วยเปิดเส้นใยผ้า ทำให้เส้นใยขยายตัวออก เพื่อให้สีสามารถซึมเข้าเส้นใยได้ดีขึ้น และช่วยจับสีให้มาเกาะบนเส้นใยทำให้ย้อมได้สีเข้มขึ้น (พันศิริ มูลศรี, 2547) และสอดคล้องกับ วราภรณ์ และคณะ (2562) ศึกษากระบวนการย้อมแบบพหุด้วยการย้อมสีของดอกดาวเรืองและย้อมทับด้วยสีของไม้ฝาง ได้ตรวจสอบการดูดซับของสีย้อมบนผ้าฝายที่สภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของมอร์แดนต์โลหะ ความเข้มข้นของมอร์แดนต์ และลำดับการย้อมมอร์แดนต์ ซึ่งจะได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีด้วยดอกดาวเรือง ในกระบวนการย้อมแบบพหุจะใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีด้วยดอกดาวเรืองมาย้อมทับไม้ฝาง และยังได้ศึกษาการย้อมมอร์แดนต์ และสอดคล้องกับ (วีระศักดิ์ ศรีลารัตน์ และคณะ, 2565) การผสมน้ำด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 1 กรัม น้ำส้มสายชู 1 ลิตร สารส้ม 200 กรัม ปูนขาว 100 กรัม ระยะเวลาหนึ่ง 90 นาที สามารถให้สีเหลืองเข้มและความคมชัดของใบเพกาได้ดีที่สุดและความเข้มข้นของเกลือแกงและกระบวนการย้อมการย้อมแบบพหุเป็นการย้อมสีที่ใช้สารสีจากวัตถุดิบ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อให้เกิดความหลากหลายของเฉดสี ในการย้อมได้ใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมวัตถุดิบแต่ละชนิดทั้งในแง่อุณหภูมิ เวลา ชนิดของมอร์แดนต์ ความเข้มข้นของมอร์แดนต์ในการย้อมสีได้ใช้น้ำย้อมก่อน และทำการย้อมทับด้วยน้ำย้อมจากไม้ฝาง โดยในกระบวนการย้อมไม้ฝางเริ่มต้นจากการใช้วิธีการตามที่เคยมีรายงานมาก่อน (พิณทิพย์ การเกษ, 2556) และสีย้อมธรรมชาติที่สกัดจากฝางเป็นการผลิตไททานเนียมไดออกไซด์ที่ไวแสงตามสีย้อม เป็นเม็ดสีหลักที่มีอยู่ใน

แก่นฝางคำนวณโครงสร้างโมเลกุลที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากแก่นฝางโดยใช้ทฤษฎีฟังก์ชันและสีย้อมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนต่ำ (Ananth et al., 2014)

สรุป

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าพิมพ์สีจากธรรมชาติด้วยภูมิปัญญา โดยการสร้างวางลวดลายใบตะขบย้อมสีจากผงฝาง น้ำผสมผงฝางในอัตราส่วนน้ำ 1 ลิตรต่อผงฝาง 50 กรัม ระยะเวลาในการย้อมใบตะขบกับผงฝางเป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิในการต้ม 50 องศาเซลเซียส ให้ผลที่ดีที่สุดและสีเข้มที่สุดและวัดค่าสีของผ้าฝ้ายที่พิมพ์สีจากใบตะขบย้อมสีจากผงฝางพบว่า ส่วนใหญ่มีความสว่าง (ค่า L^* เฉลี่ยรวม 57.32 ± 1.26) ค่า a^* เฉลี่ยรวม 16.42 ± 0.25 เป็นคาบวก (สีแดง) โดยมีค่า a^* เฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 23.68 ± 0.36 และมีทุกอัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ > 0.05 ผ้าฝ้ายที่พิมพ์ลายใบตะขบโดยเทคนิคการพิมพ์ให้ลายผ้าที่มีความชัดเจน มีเส้นนำสายตาชัดเจน และลวดลายทำให้ยังคงรูปเดิมของใบไม้ที่ขีด ซึ่งสีสันของผ้าจากสีพิมพ์จากใบตะขบให้สีชมพูเข้ม ลวดลายคม ประณีตสะดุดตาสามารถนำไปตัดเย็บเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย และดอกไม้ประดิษฐ์จากผ้า ตลอดจนส่งเสริมธุรกิจครัวเรือนและชุมชนได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. ควรมีการทดสอบการคงทนของสีต่อการซัก การสะท้อนรังสี การทนต่อแสงตามมาตรฐานกำหนด

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาพืชชนิดอื่นๆในท้องถิ่นที่สามารถให้สีได้
2. ศึกษาความคงทนของสีต่อการใช้งานและวิธีการตกแต่งสำเร็จสำหรับผ้าพิมพ์สีจากธรรมชาติ
3. นำผ้าพิมพ์สีจากใบตะขบที่ได้จากงานวิจัยไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์และต่อยอดเชิงธุรกิจได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ประกอบการ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นผู้ช่วยนักวิจัย และคณะวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ที่สนับสนุนทุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จารุยา ขอพลอยกลาง, คณิต ขอพลอยกลาง, วรเชษฐ ขอพลอยกลาง, เปรมจิต ร่องสวัสดิ์, และจิตติกร พรหมบรรจง. (2561). ความหลากหลายทางชีวภาพ ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของพรรณไม้ในพื้นที่ป่าพรุควนเครง (รายงานผลการวิจัย). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ัญญลักษณ์ ธนิกกุล, สุเชษฐ์ สมุทเสนีโต, และปริญดา เพ็ญโรจ. (2558). สภาวะการสกัดต่อสมบัติสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดใบบัวหลวง. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 23(2), 34–42.

พินทิพย์ การเกษ. (2556). การศึกษาสมบัติการเป็นสีย้อมของแก่นไม้ฝาง. [การศึกษาอิสระ].

มหาวิทยาลัยพะเยา.

พันธ์ศิริ มูลศรี. (2547). ผลของเกลือและสารช่วยย้อมบางชนิดต่อการดูดซับสีสกัดจากแก่นไม้ ขนุนโดยเส้นด้ายฝ้าย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรพิมล ม่วงไทย และคณะ. (2553). การเตรียมผงสีย้อมจากเปลือกผลมังคุดบนสารดูดซับ. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 (1975-1984), จังหวัดนครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

วรางคณา ศรีสุข, วชิร ฝันเพื่อนหา, และณัฐพร พุทธวงศ์. (2562). การพัฒนาการย้อมสีจากไม้ฝางด้วยกระบวนการย้อมแบบพทุโดยใช้ดอกดาวเรืองเป็นสีหลัก. **วารสารวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 4(1), 27-35.

วีระศักดิ์ ศรีลารัตน์, สุจาริณี สังข์วรรณะ, ภัทรพร พุ่มพันธ์, อติรัตน์ วงษ์ภาพสินธุ์, ณรัช พรนิธิบุญ, และธัญชาญกิจชัยญ. (2565). การพิมพ์สีธรรมชาติจากใบเพกาด้วยเทคนิคการถ่ายโอนสีสู่ผ้าฝ้าย. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 17(1), 45-55.

Ananth, S., Vivek, P., Arumanayagam, T., & Murugakoothakoothan, P. (2014). Natural dye extract of lawsonia inermis seed as photo sensitizer for titanium dioxide based dye sensitized solar cells. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 128, 420–426.

Anliker, R., Duerig, G., Steinle, D., & Moriconi, E. J. (1988). List of colorants to be classified as toxic. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, 104, 223–225.

Baig, U., Khatri, A., Ali, S., Sanbhal, N., Ishaque, F., & Junejo, N. (2020). Ultrasound-assisted dyeing of cotton fabric with natural dye extracted from Marigold flower. **Journal of The Textile Institute**, 112(5), 801–808.

Baaka, N., Haddar, W., Ben Ticha, M., & Mhenni, M. F. (2019). Eco-friendly dyeing of modified cotton fabrics with grape pomace colorant: Optimization using full factorial design approach. **Journal of Natural Fibers**, 16(5), 652–661.

Frischer, K., & Garcia, M. (2005). **Résultats et mesures environnementales sur des essais de teinture de la laine (Oral presentation)**, 7–9 October. 3rd Forum Les Rencontres de la Couleur Végétale. Lauris: France.

Watters, C. & Cantero, A. (1964). Rat Liver Parenchymal Cell Function during Azo Dye Carcinogenesis. **Cancer Research**, 25, 67-71.

Puntener, A. & Cambell, P. (2003). European Ban on Certain Azo Dyes. **Leather International**, 50-51.

Johnson, E.J., Hammond, B.R., Yeum, K.J., Qin, J., Dong Wang, X., Castaneda, C., Snodderly, D.M., & Russell, R.M. (2000). Relation among serum and tissue concentrations of lutein and zeaxanthin and macular pigment density. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 71, 1555–1562.

- Shahid Ul, I., & Butola, B. S. 2020. A synergistic combination of shrimp shell derived chitosan Polysaccharide with Citrus sinensis peel extract for the development of colourful and bioactive cellulosic textile. **International Journal of Biological Macromolecules**, 158, 94–103.
- Haji, A. (2020). Application of D-optimal design in the analysis and modelling of dyeing of plasma-treated wool with three natural dyes. **Coloration Technology**, 136(2), 137–146.

แบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ ระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม**ยุทธพงษ์ จำปาแก้ว¹ ปิยรัตน์ มูลศรี² เจษฎาพร ปาคำวัง³ อาทิตย์ หุ้เต็ม^{4*}**

Received : May 23, 2022

Revised : December 26, 2022

Accepted : December 27, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง แบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการ ทฤษฎี การออกแบบ สร้างแบบจำลองจลศาสตร์ โดยใช้หลักการจลศาสตร์และสมการที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อออกแบบและสร้างยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 2) เพื่อออกแบบคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 3) เพื่อสร้างแบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม โดยเลือกใช้สนามแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา “บริการทางการแพทย์” (VEC Robots : Medical Transportation) ประจำปีการศึกษา 2563 โดยเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ 4 ชั้นตอน เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ พบว่า 1.ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น (ไปกลับ) ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 10.73 นาที่ มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 11.71 นาที่ มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.06 นาที่ มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.52 นาที่ ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.33 นาที่ มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.35 นาที่ มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.20 นาที่ มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.36 นาที่ 2.ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (ไปกลับ) เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.18 นาที่ มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.20 นาที่ มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.27 นาที่ มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.73 นาที่ 3.ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เวลาเฉลี่ย 0.63 นาที่ ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เวลาเฉลี่ย 0.51 นาที่ และ 4.ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เส้นตรง 6 เมตร เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เวลาเฉลี่ย 0.41 นาที่ ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เวลาเฉลี่ย 0.43 นาที่

คำสำคัญ: จลศาสตร์ ยานพาหนะขนส่ง ระบบอัตโนมัติ ล้อแมคคานัม

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: toyoyutthapong18@gmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: piyarutto@hotmail.com

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: Jetsadapom.pa@pcru.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

KINETIC MODEL OF 4-WHEEL MACHANUM AUTOMATION VEHICLE

Yutthapong Jampakaew¹ Piyaat Moonsri² Jetsadaporn Pakamwang³ Artit Hutem^{4*}**Abstract**

Subject research kinematic model of mackanum 4-wheel automated transport vehicle by applying kinetic principles and related equations. The objectives of this research are as follows: 1) to design and build a four-wheel automatic vehicle, 2) to design a motion control command of a four-wheel automatic vehicle, 3) to create a model. Simulate the kinematics of the macanum 4-wheel automatic transport vehicle by choosing to use the vocational robot competition. "Medical Service" (VEC Robots: Medical Transportation) for the academic year 2020 by comparing the 4-step objective transport vehicle control system to test the vehicle's movement. Terrazzo patterned floor, moving 3 times per 0 kg payload, average time 10.73 minutes, 0.5 kg payload, averaging time 11.71 minutes, 1.0 kg payload, averaging time 12.06 minutes, 1.5 kg payload, averaging time 12.52 minutes. With A4 white paper moving 7 times per payload, 0 kg payload, average time 6.33 minutes, 0.5 kg payload, 6.35 min payload, 1.0 kg payload, 6.20 min payload, 1.5 kg payload, 6.36 min average time 2. Finger touch control system through the screen. Mobile (round trip) moves 3 times per payload Vehicle moving on a polished surface, payload 0 kg, average time 4.18 minutes, payload 0.5 kg, average time 4.20 minutes, payload 1.0 kg, average time 4.27 minutes, payload 1.5 kg, average time 4.73 minutes 3. Automatic system moves along a straight line 6 meter, travel 5 times per payload Vehicles moving on a polished surface with an average time of 0.63 minutes, vehicles moving on a flat surface supported by A4 white paper, an average time of 0.51 minutes, and 4. Finger touch controls via a mobile screen, straight line 6 meters, moving 5 times per payload. The vehicle moved on a polished surface, the average time was 0.41 minutes, the vehicle moved on A4 white paper, the average time was 0.43 minutes.

Keywords: Kinetics, Transport vehicle, Automatic system, Mackanum whee

¹ Master of Science Program in Education Science, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: toyoyutthapong18@gmail.com

² Department of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: piyarutto@hotmail.com

³ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: Jetsadaporn.pa@pcru.ac.th

⁴ Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

บทนำ

โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด 19 (Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)) มีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้สถานพยาบาลมีเตียงรองรับผู้ป่วยได้ไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องจัดสถานที่ไว้ในรูปแบบของโรงพยาบาลสนาม เพื่อให้การดูแล รักษา และเฝ้าสังเกตอาการผู้ป่วย ภายใน 14 วัน (กระทรวงสาธารณสุข ศบค, 2564 : 2-3) และได้มองเห็นความสำคัญของบุคลากรด้านการแพทย์และสาธารณสุขและเจ้าหน้าที่สนับสนุนงานด้านต่าง ๆ ในโรงพยาบาลสนาม ถ้าบุคลากรดังกล่าวใกล้ชิดและติดเชื้อ COVID-19 ทางตรงหรือทางอ้อมแล้วจะถูกกักบริเวณ ปริมาณบุคลากรที่รองรับการให้บริการเฉพาะทางจะลดลงอย่างน่าตกใจ โดยเฉพาะบุคลากรที่ให้บริการด้าน อุปกรณ์ดำรงชีพ รวมถึงยาและเวชภัณฑ์ ตามความจำเป็นและเหมาะสม (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2564ก : 3-4) โดยหากจำเป็นสามารถดำเนินการส่งต่อโรงพยาบาลที่มีศักยภาพมากกว่าและปิดดำเนินการโรงพยาบาลเมื่อสิ้นสุดการระบาดหรือมีการควบคุมโรคได้อย่างเหมาะสม (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2564 : 1)

ผู้วิจัยได้ศึกษา หลักการ ทฤษฎี การออกแบบ สร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ โดยใช้หลักการ จลศาสตร์ และสมการที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม มาช่วยอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ (Polset et al., 2020) ออกแบบและสร้างยานพาหนะขนส่งวัตถุ จากการเขียนโปรแกรมคำสั่ง Arduino IDE ควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในยานพาหนะ อาทิเช่น บอร์ดอ่านค่าพินแถบสีขา-ดำ บอร์ดแปลงกระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่ บอร์ดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อบังคับการเคลื่อนที่ของล้อแมคคานัมทั้งสี่ล้อให้ยานพาหนะให้เคลื่อนที่ ล้อแมคคานัมเป็นล้อที่ทำให้รถหรือหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้รอบทิศทาง มีลูกกลิ้งจะทำมุมกัน 45 องศา สามารถเคลื่อนที่อิสระ เคลื่อนที่ได้ไวกว่าการใช้ล้อแบบปกติ ซึ่งจะช่วยขนส่งวัตถุหรือยาและเวชภัณฑ์ ตามความเหมาะสม (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2564ข : 3-4) โดยเลือกใช้สนามแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา “บริการทางการแพทย์” (VEC Robots : Medical Transportation) ประจำปีการศึกษา 2563 (สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา, 2563 : 5) ทดสอบคำสั่งการควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติเดินทางที่กำหนดและระบบ Applications ผ่านสัญญาณในโทรศัพท์ตามลำดับ เพื่อขนย้ายวัตถุ ในการดำรงชีพ รวมถึงยาและเวชภัณฑ์แก่ผู้ป่วย ลดภาระงานและลดความเสี่ยงของบุคลากรในการติดเชื้อจากผู้ป่วยยืนยัน COVID-19 ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม
2. เพื่อออกแบบคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม
3. เพื่อสร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม

วิธีดำเนินการวิจัย

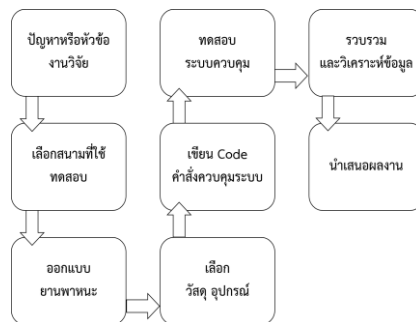
1. ขั้นตอนที่ 1 สรุปรวสภาพ ปัญหาและความต้องการ

ผู้วิจัยได้ออกแบบสอดคล้องกับคุณลักษณะของ หุ่นยนต์ให้บริการทางการแพทย์ (Medical transportation robot) มีขนาดความกว้างไม่เกิน 60 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 60 เซนติเมตร ความสูงไม่เกิน 100 เซนติเมตร และหนักไม่เกิน 25 กิโลกรัม มีแบตเตอรี่ไม่เกิน 24 โวลต์ พื้นสนาม มีขนาด 7 เมตร คูณ 7 เมตร ซึ่งเป็นการประยุกต์เทคโนโลยีมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติ บริการทางการแพทย์ นำส่งเวชภัณฑ์ยา ประกอบด้วย ถ้วยสำหรับใส่ยาและขวดน้ำดื่ม จากจุดจ่ายเวชภัณฑ์ยาและอาหารไปยังเตียงผู้ป่วย 4 เตียง และ ห้องพิเศษ 1

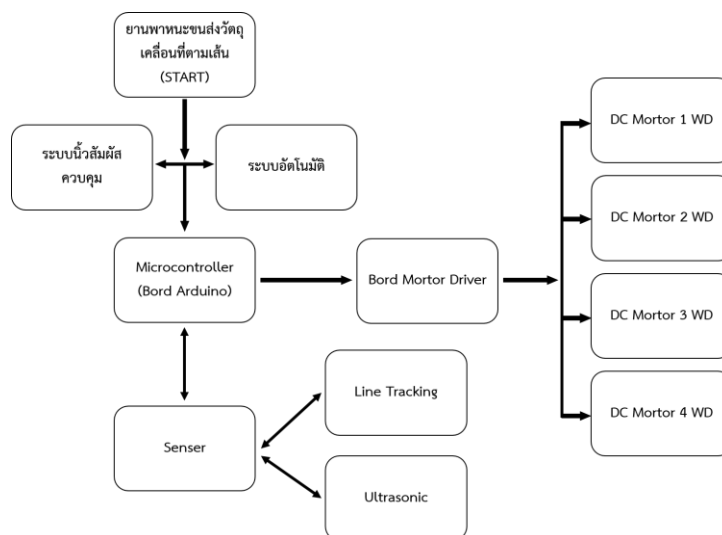
เพียง รวม 5 เพียง หรือ 5 จุด (สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา, 2564 : 4) เพื่อนำความรู้ดังกล่าวขนส่งเวชภัณฑ์ยาและน้ำดื่ม ตามความจำเป็น และเหมาะสม (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2564ข : 3-4)

2. ขั้นตอนที่ 2 การวางแผนและออกแบบ

2.1 การวางแผนดำเนินงาน



ภาพที่ 1 แผนดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ช่วยควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ

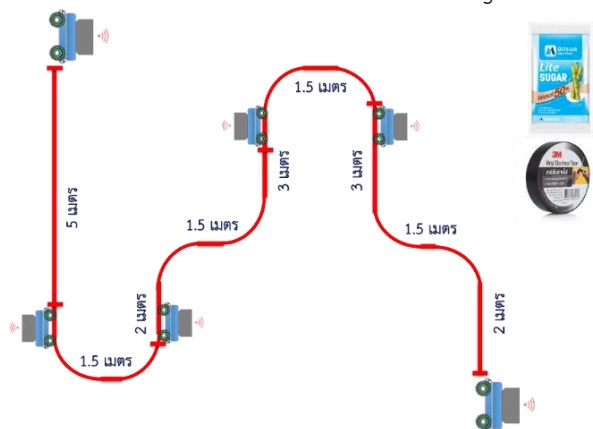
จากภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งเริ่มต้น หรือจุด START จากยานพาหนะขนส่งวัตถุ โดยใช้ระบบควบคุม 2 แบบ คือระบบอัตโนมัติ (จากการตั้งค่าไว้) และระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (มีบอร์ด ESP WiFi รับสัญญาณมือถือ) ข้อมูลผ่านบอร์ด Microcontroller (Bord arduino) เมื่อ Sensor ทำงานหรือแปลงข้อมูลจะส่งข้อมูลย้อนกลับไปที่ Microcontroller และข้อมูลจะส่งต่อไปยัง Bord motor driver ควบคุมความเร็วของ Mortor และการหมุนของล้อทั้งสิ้น ให้นยานพาหนะเคลื่อนที่ตามคำสั่งจากการเขียนโปรแกรม Arduino IDE

2.2 การออกแบบยานพาหนะ

การเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ การเขียนโปรแกรมคำสั่งพื้นฐานในการควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่รอบทิศทาง มีบทบาทสำคัญในการขนส่งและบริการอัตโนมัติ (Sun, 2020) และสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางของหุ่นยนต์ที่แม่นยำจึงใช้เซ็นเซอร์หลายตัว (Shu, 2017) โดยใช้โปรแกรมที่ใช้ออกแบบชุดคำสั่งควบคุม คือ Arduino IDE เขียน Code คำสั่งพัฒนา IOT แพลตฟอร์ม arduino (กอบเกียรติสรุบล, 2561) โดยนำภาพที่ 5 ใช้เป็นสนามทดสอบในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 มวลของยานพาหนะ 9.47 kg



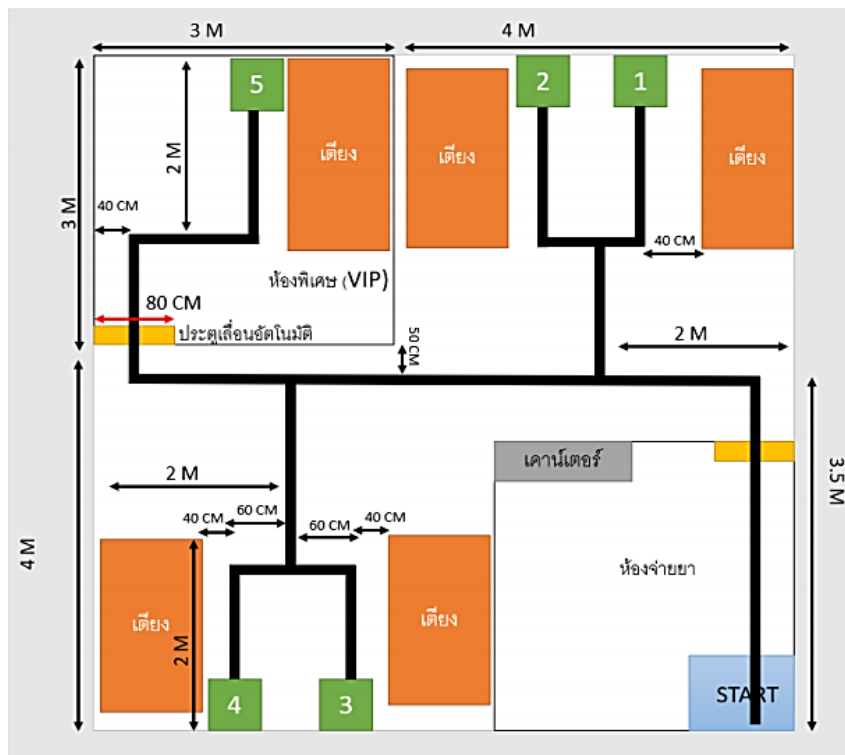
ภาพที่ 4 สนามทดสอบยานพาหนะ

2.3 การควบคุมยานพาหนะ

ระบบสื่อสารทางไกลในรูปแบบ WiFi ผ่านหุ่นยนต์ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและมีความเสมือนจริงในการควบคุมหุ่นยนต์ (กรีซ จันอาจ, 2558) และการออกแบบชุดคำสั่งพร้อมบันทึกข้อมูลในครั้งเดียวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ระบบควบคุมจากผู้ใช้งานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นขึ้นอยู่กับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของชุดคำสั่งในการเคลื่อนที่ (สรายุทธ นาขมิ้น และณิชนันท์ ขาวมงคล, 2560) และต้องมีประสิทธิภาพในการทำงาน (กันยาลักษณ์ โพธิ์ดัง, 2561) ระบบควบคุมของวัสดุที่ลำเลียงหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่หุ่นยนต์ใช้แซสซีที่ขับเคลื่อนสล็อตมีส่วนสำคัญช่วยให้เกิดความคล่องตัวรอบทิศทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ ข้อมูลประกอบภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ตามลำดับ

3. ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบยานพาหนะ

สร้างสนามจำลองและทำการทดสอบตามเส้นทางที่กำหนด เปรียบเทียบ การควบคุมยานพาหนะด้วยระบบ Applications ผ่านนิวส์สัมผัสจอมือถือและการควบคุมยานพาหนะด้วยระบบ อัตโนมัติ ค้นหาเส้นทางได้เอง การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนที่มีจำนวนมอเตอร์ที่แตกต่างกัน จะต้องมีการเปลี่ยนโปรแกรมในการสั่งงานการเคลื่อนที่ (พีรเดช เปรมใจ, 2560) และการขนถ่ายวัสดุโดยเลือกหุ่นยนต์ทำงานให้มีรอบเวลายาน (Cycle time) ได้เร็วที่สุด สามารถควบคุมหุ่นยนต์ที่มีลักษณะแตกต่างกันทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการขนถ่ายวัสดุ (พงศกร ชาญชัยชูจิต, 2561) มวลที่ใช้ทดสอบคือถ้ำน้ำตาลทรายขาว ขนาด 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม และ 1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ ดังนี้ ตอนที่ 1 เคลื่อนที่บนพื้นสนามที่กำหนด โดยใช้คำสั่งระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น ไปกลับ ตอนที่ 2 เคลื่อนที่บนพื้นสนามที่กำหนด โดยใช้คำสั่ง ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ ไปกลับ ตอนที่ 3 เคลื่อนที่บนพื้นเส้นตรง โดยใช้คำสั่งระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น เพื่อทำเวลาดีที่สุด ตอนที่ 4 เคลื่อนที่บนพื้นเส้นตรง โดยใช้คำสั่ง ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เพื่อทำเวลาดีที่สุด



ภาพที่ 5 สนามแข่งขันหุ่นยนต์บริการทางการแพทย์

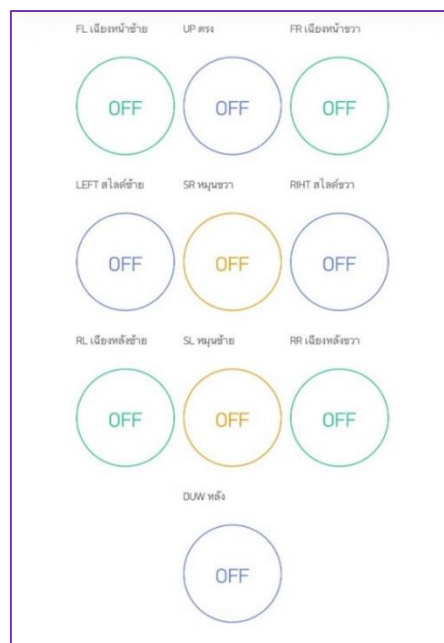
```

File Edit Sketch Tools Help
Robot

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
char auth[] = "qPNZ6uU-Lo6npdMB9VbWwHvQsf1K3B1Xz";
char ssid[] = "jame9";
char pass[] = "zarnane0909852189";
int up ; //ตรง
int duw ; //หลัง
int left ; //สไลด์ซ้าย
int Riht ; //สไลด์ขวา
int Fr ; //เฉียงหน้าซ้าย
int Fl ; //เฉียงหน้าขวา
int Rr ; //เฉียงหลังซ้าย
int Rl ; //เฉียงหลังขวา
int Sr ; //หมุนซ้าย
int Sl ; //หมุนขวา
int M_lin1 = D0;
int M_lin2 = D1;
int M_2in1 = D2;
int M_2in2 = D3;
int M_3in2 = D4;
int M_3in1 = D5;
int M_4in1 = D6;
int M_4in2 = D7;
int pwm = D8;

```

ภาพที่ 6 ตัวอย่างคำสั่งควบคุมยานพาหนะ โปรแกรม Arduino IDE



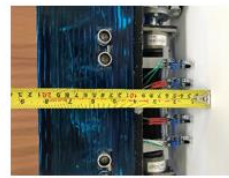
ภาพที่ 7 คำสั่งควบคุมระบบ Application(BLYNK) ผ่านมือถือ



8.1



8.2



8.3



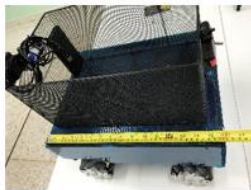
8.4



8.5



8.6



8.7



8.8



8.9

ภาพที่ 8 มิติของยานพาหนะ (ภาพ 8.1 ถึง 8.9)



9.1



9.2



9.3



9.4



9.5



9.6



9.7



9.8



9.9

ภาพที่ 9 พื้นเรียบต่างชนิดกัน (ภาพ 9.1 ถึง 9.9)

4. ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์สภาพปัญหาที่พบและพัฒนายานพาหนะขนส่งวัตถุ มีส่วนสำคัญในการปรับปรุง พัฒนาระบบชุดคำสั่งและวัสดุอุปกรณ์ที่รองรับ ให้มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน (นันทพันธ์ กนกศิริจุฑา และคณิศร ภูนิคม, 2561) และนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์สร้างเป็นสมการจลน์ของระบบ ยานพาหนะเคลื่อนที่ขนส่งวัตถุได้รับบททิศทางและมีผลต่อความแม่นยำในการเคลื่อนที่ (Guo, 2016) ซึ่งการออกแบบสมการจลน์ศาสตร์ที่ใกล้เคียงกับที่ได้จากผลการทดลอง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์มทำการเคลื่อนไหวยานพาหนะมีความสมบูรณ์ ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเคลื่อนที่ตามทิศทางที่กำหนดให้มีประสิทธิภาพการ (Zijie et al., 2019) และลักษณะของล้อ Mecanum เมื่อเทียบกับล้อทั่วไปและล้อเลื่อน การสัมผัสที่น้อยกว่ำและเนื่องจากมุมของลูกกลิ้งทำงานโดยมีแรงเสียดทานกับพื้นน้อยลง (Teheri, 2020) การเคลื่อนที่รอบทิศทางของล้อ Mecanum 4 ล้อ และระบบควบคุมของยานพาหนะง่ายต่อการเปลี่ยนและอัปเดต การออกแบบตามการปรับปรุงสามารถเคลื่อนที่ได้เพื่อเพื่อขนส่งวัตถุ (Peng & Qian, 2016)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. การเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ

1.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด จำนวน 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ครั้งที่ 1 มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม (ยานพาหนะไม่บรรทุก) พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย 10.73 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 เวลา 10.47 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 3 เวลา 11.14 นาที

ครั้งที่ 2 มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 11.71 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 11.43 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 เวลา 12.14 นาที

ครั้งที่ 3 มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 12.06 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 11.57 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 เวลา 12.35 นาที

ครั้งที่ 4 มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 12.52 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 12.47 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 3 เวลา 12.58 นาที

1.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 จำนวน 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ครั้งที่ 1 มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม (ยานพาหนะไม่บรรทุก) พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.33 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 6.09 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 6 เวลา 7.05 นาที

ครั้งที่ 2 มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.35 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 6 เวลา 6.14 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 3 เวลา 7.04 นาที

ครั้งที่ 3 มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.20 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 7 เวลา 5.44 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 4 เวลา 6.51 นาที

ครั้งที่ 4 มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.36 นาที และใช้น้อยสุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 5.52 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 6 เวลา 7.56 นาที

1.3 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

ครั้งที่ 1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า

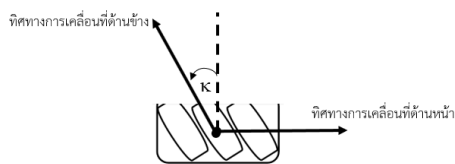
เวลาเฉลี่ย 0.53 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.55 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 1.01 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.63 นาที ครั้งที่ 2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า เวลาเฉลี่ย 0.49 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.49 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.52 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.51 นาที

1.4 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

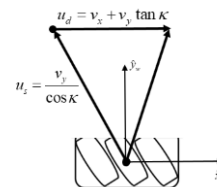
ครั้งที่ 1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า เวลาเฉลี่ย 0.37 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.44 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.43 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.45 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.41 นาที

ครั้งที่ 2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า เวลาเฉลี่ย 0.36 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.42 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.47 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.50 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.43 นาที

2. การเขียนแบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ



10.1



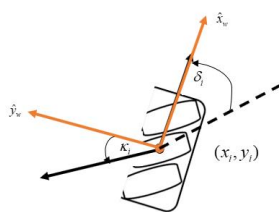
10.2

ภาพที่ 10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของล้อและเวกเตอร์ของล้อลูกกลิ้ง

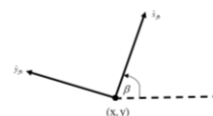
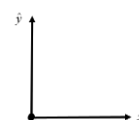
2.1 สมการ ความเร็วของล้อลูกกลิ้ง

$$u = \frac{v_d}{r} \quad (1)$$

$$u = \frac{1}{r} (v_x + v_y \tan \kappa) \quad (2)$$



11.2 ระบบล้อลูกกลิ้ง (wheel i)

11.1 เฟรม f_b ของยานพาหนะ11.3 เฟรม f_s ของยานพาหนะ

ภาพที่ 11 ทิศทางของระบบเฟรม f_b , f_s และล้อลูกกลิ้งของยานพาหนะ (ภาพ 11.1 ถึง 11.3)

2.2 สมการความเร็วของล้อทั้งสี่ (Kuaykaew et. al., 2016)

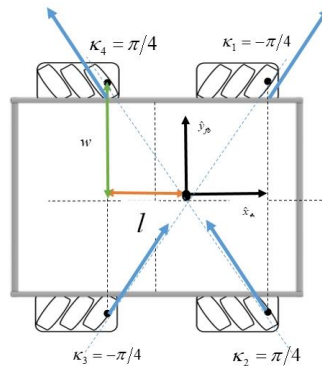
$$u_i = \eta_i(\beta) \dot{q} \quad (3)$$

$$u_i = \begin{bmatrix} \frac{1}{r} \frac{\tan \kappa_i}{r_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta_i & \sin \delta_i \\ -\sin \delta_i & \cos \delta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -y_i & 1 & 0 \\ x_i & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$u_i = \eta_i(\beta) \quad (5)$$

$$u_i = \frac{1}{r_i \cos \kappa_i} \begin{bmatrix} x_i \sin(\delta_i + \kappa_i) - y_i \cos(\delta_i + \kappa_i) \\ \cos(\delta_i + \kappa_i + \beta) \\ \sin(\delta_i + \kappa_i + \beta) \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

2.3 แบบจำลองเฟรมยานพาหนะบนสองล้อ



ภาพที่ 12 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับระบบเฟรม f_b , f_s และล้อลูกกลิ้งของยานพาหนะ

2.4 สมการความเร็วของล้อทั้งสี่ของเฟรมยานพาหนะ

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$u = \eta(0) v_b \quad (8)$$

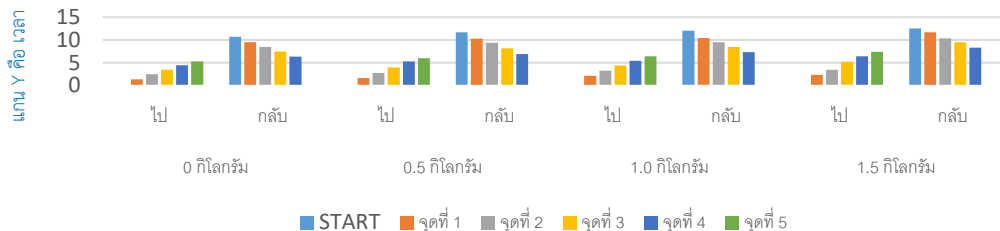
$$u = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} -l - w & 1 & -1 \\ l + w & 1 & 1 \\ l + w & 1 & -1 \\ -l - w & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{bx} \\ w_{by} \\ w_{bz} \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น (ไปกลับ)

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น

1.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก

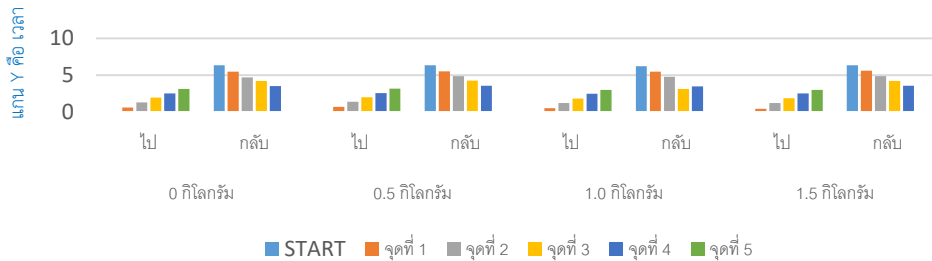


แกน X คือ มวลบนยานพาหนะ ไป-กลับ

ภาพที่ 13 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด จำนวน 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น

1.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก



แกน X คือ มวลบนยานพาหนะ ไป-กลับ

ภาพที่ 14 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 จำนวน 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ตอนที่ 2 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (ไปกลับ)

ตอนที่ 2 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ



แกน X คือ มวลบนยานพาหนะ ไป-กลับ

ภาพที่ 15 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ

ตอนที่ 3 ระบบอัตโนมัติ และตอนที่ 4 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เคลื่อนที่เส้นตรง 6 เมตร



ภาพที่ 16 ยานพาหนะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

อภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง แบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อออกแบบและสร้างยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 2) เพื่อออกแบบคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 3) เพื่อสร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม จากการทดสอบคำสั่งการควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติเดินทางตามเส้นทางที่กำหนด

จากการทดสอบยานพาหนะขนส่งวัตถุดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทดสอบการขนส่งวัตถุตามขนาดน้ำหนักต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบไปกลับรวม 5 จุด ตามภาพที่ 9 เมื่อประกอบตัวถังกับอุปกรณ์แล้วมาทดสอบการควบคุมยานพาหนะให้ได้ทิศทางเคลื่อนที่ตามเส้นที่กำหนดของสนามทดสอบ จึงเพิ่มมวลของถุงทรายวางบนตะกร้ารองน้ำหนักไว้ด้านบนของยานพาหนะ ซึ่งมวลที่ใช้ทดสอบคือถุงน้ำตาลทรายขาว มีขนาด 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม และ 1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ 4 ขั้นตอน เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ดังนี้

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น (ไปกลับ)

1.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก พบว่า 1) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 10.73 นาที่ 2) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 11.71 นาที่ 3) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.06 นาที่ 4) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.52 นาที่ ตามลำดับ

1.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก พบว่า 1) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.33 นาที่ 2) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.35 นาที่ 3) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.20 นาที่ 4) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.36 นาที่ ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (ไปกลับ)

2.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก พบว่า 1) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.18 นาที่ 2) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.20 นาที่ 3) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.27 นาที่ 4) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.73 นาที่

ตอนที่ 3 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

3.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก และมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.53 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.55 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 1.01 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.63 นาที

3.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.49 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.49 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.52 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.51 นาที

ตอนที่ 4 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

4.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.37 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.44 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.43 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.45 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.41 นาที

4.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.36 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.42 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.47 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.50 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.43 นาที

สรุป

แบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม สามารถช่วยอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการหมุนของล้อทั้งสี่ ให้นานพาหนะเคลื่อนที่ตามคำสั่งจากการเขียนโปรแกรม Arduino IDE ควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ บนพื้นเรียบลายหินขัด และบนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 ซึ่งยานพาหนะจะเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อมีมวลบรรทุกไม่มาก และลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสอดคล้องกับชุดคำสั่งที่ตั้งโปรแกรมไว้

ข้อเสนอแนะ

- 1) ชิ้นส่วนยานพาหนะสามารถ ถอดประกอบและซ่อมบำรุง หรือปรับเปลี่ยน อุปกรณ์ได้สะดวก
- 2) ตัวถังยานพาหนะควรขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวัสดุที่เบาเคลื่อนย้ายสะดวก เช่น อลูมิเนียม
- 3) วัสดุ อุปกรณ์ ควรหาซื้อได้ง่ายในชุมชน เพื่อปรับปรุงหรือซ่อมบำรุง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ของผู้บริหารโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลที่ให้ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์ศึกษา ได้ให้ความรู้ ทักษะวิชาการต่าง ๆ นำไปประยุกต์ต่อยอดในการจัดการเรียนการสอน วิจัย ด้านสิ่งประดิษฐ์ทางการแพทย์ และอาจารย์ทุกท่านในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในด้านความรู้ เนื้อหา ทักษะและสมรรถนะการวิจัย ซึ่งจะได้นำความรู้ที่ได้รับในการศึกษาไปปรับใช้ในการปฏิบัติหน้าที่ให้เกิด ประโยชน์สูงสุดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2564ก). แนวทางการจัดตั้งโรงพยาบาลสนามกรณีมีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในวงกว้าง. 7 มกราคม 2564.
นนทบุรี: กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2564ข). แนวทางการจัดตั้งโรงพยาบาลสนามกรณีมีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในวงกว้าง. 9 มกราคม 2564.
นนทบุรี: กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. (2564). แนวทางการจัดตั้งโรงพยาบาลสนาม. นนทบุรี: กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.
- กระทรวงสาธารณสุข ศบค. (2564). ความคืบหน้าสถานการณ์ในประเทศไทย ฉบับที่ 152. น. 2-3. ข้อมูลแถลงข่าวภาคเที่ยงโดย ศบค. กระทรวงสาธารณสุข. 11 กุมภาพันธ์ 2564
ณ สำนักงานองค์การอนามัยโลกประจำประเทศไทย. นนทบุรี : สำนักงานปลัดกระทรวงฯ
กรีซ จันอาจ. (2558). การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). พัฒนา IOT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: อินเทอร์เน็ตเดีย
- กันยาลักษณ์ โพธิ์ดง. (2561). กะทิหุ่นยนต์จ่ายยาอัตโนมัติสำหรับผู้ป่วยและผู้พิการทางสายตา. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
- นันทพันธ์ กนกศิริจุฑา, และคณิศร ภูนิคม (2561). พัฒนาการออกแบบจำลองรถลำเลียงอัตโนมัติ(เอจีวี)ด้วยการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- พงศกร ชาญชัยชูจิต. (2561). ระบบการจัดการหุ่นยนต์หลายตัวสำหรับขนถ่ายวัตถุในโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พีรเดช เปรมใจ. (2560). การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์หลายแพลตฟอร์ม ระบบฮาร์ดแวร์ การควบคุมและแสดงตำแหน่ง. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

- สรายุทธ นาขมิ้น, และณิชนันท์ ขาวมงคล. (2560). **พาหนะขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยระบบขับเคลื่อนแบบล้อแมคคานัม**. ปรินซ์นิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา. (2563). **กติกการแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา”บริการทางการแพทย์”ประจำปีการศึกษา 2563**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
- สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา. (2564). **กติกการแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา “บริการทางการแพทย์” (VEC Robots : Medical Transportation) ประจำปีการศึกษา 2563**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.
- Guo, S., (2016). Accuracy analysis of omnidirectional mobile manipulator with mecanum Wheels. **Adv. Manuf.** 15(4), 363-370.
- Kuaykaew, S., Kerdmee, S., Banyenugam, P., Moonsri, P., & Hutem, A. (2016). The Analytical Description of Projectile Motion of Cricket Ball in a Linear Resisting Medium the Storm Force. **Applied Mechanics and Materials**, 855, 188-191.
- Peng, T., & Qian, J. (2016). Mechanical Design and Control System of an Omni-directional Mobile Robot for Material Conveying. **ScienceDirect .Procedia CIRP**, 56(12) 412-415
- Polset, S., Wadsuntud, K., & Jaikwang, P. (2020). The development of small free 4-wheel drive electric cart for the disabled. **VRUResearch and Development Journal Science and Technology**, 15(3), 119-128.
- Shu, B. (2017). Position Compensation Algorithm for Omnidirectional Mobile Robots and Its Experimental Evaluation. **International Journal of precision engineering and manufacturing**, 18(12), 1755-1762.
- Sun, Z. (2020). Path-following control of Mecanum-wheels omnidirectional mobile robots using nonsingular terminal sliding mode. **Mechanical Systems and Signal Processing**, 147(2021), 107128.
- Teheri, H. (2020). Omnidirectional mobile robots, mechanisms and navigation Approaches. **Contents lists available at ScienceDirect, Mechanism and Machine Theory**, 153(2020), 103958.
- Zijie, N., Qiang, L., Yonjie, C. & Zhijun, S. (2019). Fuzzy Control Strategy for Course Correction of Omnidirectional Mobile Robot. **International Journal of Control, Automation and Systems**, 17(9), 2354-2364.

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างผนังอาคาร

สมศณ เกียรติก่อ^{1*} ศุภลักษณ์ ใจเรือง² วิวัฒน์ คลังวิจิตร³

Received : June 30, 2022

Revised : December 24, 2022

Accepted : December 27, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆ ของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ได้แก่ 1) ด้านคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ได้แก่ การทดสอบการรับแรงอัด การทดสอบการรับแรงดัด การทดสอบแรงดึงตึงฉากของผิววัสดุ การทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น โดยศึกษาในส่วนของการผสมปูนซีเมนต์มอร์ต้า (ปูนซีเมนต์ : ทรายละเอียด) สูตรทดลองปูนมอร์ต้า มี 4 สูตร ได้แก่ สูตร 1 (60 : 40) / สูตร 2 (65 : 35) / สูตร 3 (55 : 45) / สูตร 4 (40 : 60) นำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า ปูนมอร์ต้าอันดับที่ 1 ได้แก่ สูตร 2 มีกำลังอัดที่ 609 ksc. มีระยะการก่อตัวที่ 4.35 min อันดับ 2 ได้แก่ สูตร 1 มีกำลังอัดที่ 564 ksc. มีระยะการก่อตัวที่ 3:51 min, อันดับ 3 ได้แก่ สูตร 4 มีกำลังอัดที่ 507 ksc. มีระยะการก่อตัวที่ 4:04 min 2) ด้านคุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมกับเส้นใยพืช โดยการนำเส้นใยพืช 4 ชนิด ได้แก่ กล้วย ฐาภาชี กก และต้นไมยราบยักษ์ มาปั่นให้ละเอียด นำไปตากให้แห้ง แล้วผสมกับปูนมอร์ต้าสูตรที่ 2 นำไปหล่อเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ด แบบแยกเส้นใยพืช ขนาด 40 x 40 x 2.5 cm. (กxยxn) ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 จากการทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน พบว่า อันดับที่ 1 แผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยกก มีแรงดึงตึงฉาก 0.19 MPa การรับแรงกดที่ 40.78 kg : cm² มอดูลัสยืดหยุ่นที่ 9209 MPa การดูดความชื้นร้อยละ 3.9 การซับเสียงลดลงที่ 14.33 db. และผ่านมาตรฐานการทนไฟ อันดับ 2 แผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยไมยราบยักษ์ มีแรงดึงตึงฉาก 0.19 MPa, การรับแรงกดที่ 42.52 kg : cm² มอดูลัสยืดหยุ่นที่ 7312 MPa. การดูดความชื้นร้อยละ 4.0 การซับเสียงลดลงที่ 14.87 db. และผ่านมาตรฐานการทนไฟ

คำสำคัญ: คุณสมบัติเชิงกล ซีเมนต์บอร์ด เส้นใยพืช

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นักศึกษาหลักสูตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ อีเมล: som0425@yahoo.com

² รองศาสตราจารย์ ดร. อาจารย์ที่ปรึกษาหลักสูตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ อีเมล: j.supalux@gmail.com

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมดุษฎีนิพนธ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยวไลยอลงกรณ์

ในพระบรมราชูปถัมภ์ เขตคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี อีเมล: vivat.tum@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: som0425@yahoo.com

A STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT BOARDS MIXED WITH PLANT FIBERS FOR BEING USED AS A BUILDING WALL CONSTRUCTION MATERIAL

Somkanee Kiatkong^{1*} Supaluck Jairueang² Wiwat Klangwichit³

Abstract

The purpose of this research was to study various physical properties of the cement boards, namely 1) the mechanical properties of the cement board i.e., compressive strength test, bending strength test, material surface perpendicular tensile test and elastic modulus test. By studying the proportion of mixing cement mortar (cement: fine sand), there were 4 formulas of mortar experimental mortar, namely Formula 1 (60: 40), Formula 2 (65: 35), Formula 3 (55: 45) and Formula 4 (40: 60). They were used to test with the compressive strength and found that the first ranked mortar was Formula 2, which had a compressive strength of 609 ksc., with a setting time of 4.35 minutes, the second place was Formula 1, which had a compressive strength of 564 ksc., with a setting time of 3.51 minutes, the third one was the Formula 4, which had a compressive strength of 507 ksc. with a formation stage of 4.04 minutes. 2) the properties of cement board mixed with plant fibers by bringing 4 types of them, spun each type of plant fiber -they are banana tree, cattail, reed and giant mimosa then hang to dry and mixed them with the mortar formula 2, and molded into cement board with the size of 40 x 40 x 2.5 cm. (WxSxD) according to the TIS. 878-2537. From the test of the properties suitable for use, it was found that No 1 the reed fiber cement board showed the perpendicular tensile strength of 0.19 MPa, the compressive strength of 40.78 kg.: cm², the elastic modulus of 9209 MPa., hygroscopicity of 3.9%, sound absorption reduction of 14.33 db, and passed the fire resistance standard. No 2 the cement mixed with giant mimosa fibers had the perpendicular tensile strength of 0.19 MPa, the compressive strength of 42.52 kg.: cm², elastic modulus of 7312 MPa., hygroscopicity of 4.0%, sound absorption reduction of 14.87 db, and passed the fire resistance standard.

Keywords: Mechanical properties, Cement board, Plant fibers

¹ Graduate Students, Technology Management, Industrial Technology Faculty of Pranakorn Rajabhat University, Bangkok, e-mail: som0425@yahoo.com

² Thesis Advisor, Industrial Technology Faculty of Pranakorn Rajabhat University, Bangkok, e-mail: j.supalux@gmail.com

³ Co-thesis Advisor, Industrial Technology Faculty of Valaya Alongkorn Rajabhat University under royal patronage, Pathum Thani Province, e-mail: vivat.tum@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: som0425@yahoo.com

บทนำ

เนื่องจากในแต่ละชุมชน จะมีพืชที่นิยมปลูกในชุมชน เช่น กล้วย รวมถึงพืชต่างๆ ที่เข้ามาสู่รกราก และไม่สามารถทำให้เกิดประโยชน์ โดยส่วนมากเกษตรกรจะนำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก หรือ เเผา เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก แต่เป็นการสร้างมลพิษ และทำลายสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อม การจัดการกับพืชที่หมดประโยชน์ แล้ว และพืชเหล่านี้ จึงเป็นปัญหาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การแปรรูปจึงเข้ามามีบทบาทในการกำจัดพืช และพืชเหล่านี้ โดยหนึ่งในงานวิจัยที่ได้ทดลองทำกัน คือ การนำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อนำไปผลิตแผ่น ซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช เช่น เส้นใยจากกล้วย มาผสมกับปูนซีเมนต์ (เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และสุรเชษฐ์ ดุ้มมี, 2563) เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างประเภทผนังอาคาร ในกระบวนการผลิตเส้นใยพืช ต้องนำเส้นใยมาย่อยให้มี ขนาดเล็กมากที่สุด เพื่อที่จะสามารถใช้เป็นส่วนผสมกับปูนซีเมนต์ได้

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช ที่หาได้จากในชุมชนท้องถิ่น (ตฤณ ดิษฐลาภ และกิตติพงษ์ สุวิโร, 2560) ได้นำผักตบชวามาบดผสมกับซีเมนต์ ผู้วิจัยจึงใช้วัสดุในท้องถิ่น ที่หาง่าย ได้แก่ กล้วย กก ธูปฤาษี ต้นไมยราบยักษ์ นำมาย่อยให้มีขนาดเล็กที่สุด จากนั้นนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ มอร์ต้า ตามสูตรที่ผู้วิจัยกำหนด (ปูนมอร์ต้า : เส้นใยพืช) ในสัดส่วนที่เหมาะสม และสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่น ซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืชความหนาแน่นสูง เพื่อเป็นวัสดุในการก่อสร้างอาคาร หรือ ผลิตเพื่อจำหน่ายสร้าง รายได้ให้กับชุมชนได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตที่ง่าย สะดวก ไม่ซับซ้อน สำคัญคือ คนที่สนใจที่จะผลิตแผ่น ซีเมนต์บอร์ดที่สามารถมาเป็น “แรงงาน” ซึ่งก็คือ ต้นทุนในการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช เพื่อใช้เป็น วัสดุสำหรับสร้างที่พักอาศัยในชุมชน และให้ชุมชนสามารถผลิตวัสดุแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช ได้แก่ การทดสอบแรงดึงตั้งฉากการ ทดสอบการรับแรงอัด การทดสอบแรงดัดมอดูลัสยืดหยุ่น
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมกับเส้นใยพืช ด้านการใช้งานตามมาตรฐาน มอก. 878-2537 ได้แก่ การดูดซึมน้ำ การซับเสียง การทนความร้อน (ทนไฟ)

วิธีการดำเนินวิจัย

1. นำปูนมอร์ต้ามาผสมเส้นใยพืชตามสัดส่วน 2:1 เพื่อผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด 40x40x2.5 cm. จากนั้นนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน ได้แก่ แรงดึงตั้งฉากเพื่อดูการยึดเกาะของแผ่นซีเมนต์กับวัสดุ การทดสอบการรับแรงอัด การทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น และการใช้งาน ได้แก่ การดูดซึมน้ำ การซับเสียง การทน ความร้อน (ทนไฟ) โดยทดสอบตามมาตรฐาน มอก.878-2537

2. นำเส้นใยพืช (ที่ตากแห้งแล้ว 2-3 วัน) มาผสมกับปูนซีเมนต์ (สูตร 2) แยกตามประเภทชนิดของเส้น ใย) ผสมตามสัดส่วน (ข้อ 1) หล่อเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด 40x40x2.5 cm. (ขอบเรียบทั้ง 4 ด้าน)

แผ่นซีเมนต์บอร์ดและมาตรฐานแผ่นซีเมนต์บอร์ดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยพืช

มาตรฐานในการทดสอบแผ่นไม้อัดซีเมนต์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.878-2537 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2537)

- 1) แผ่นซีเมนต์อัด : มีความหนาแน่นสูง ระหว่าง 1100 – 1300 kg. ต่อลูกบาศก์เมตร
- 2) ชั้น (เศษเนื้อเซลลูโลส) ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักรให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก (ในงานวิจัยนี้ใช้ประมาณ “ซีเลื่อย หรือ ซีกบ”)
- 3) ความชื้น เหลืออยู่ที่ ร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15
- 4) การดูดซับเสียง ไม่เกิน 80 เดซิเบล ต่อ 8 ซม. (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ.2541) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512)
- 5) การทนความร้อน การทดสอบการทนไฟตามมาตรฐาน BS 476 (1000 °C)

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), (2537) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง มอก.878-2537

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทยและสากล

มาตรฐานผลิตภัณฑ์	แรงดึงตั้งฉาก MPa	การรับแรงอัด / แรงกด kg : cm ²	มอดุลัสยืดหยุ่น MPa
มอก. 878-2537	0.10	40.78	5,000-9,000
ASTM : D1037-99*	มากกว่า 0.5 ขึ้นไป	40.78	5,000-9,000

อ้างอิง: American Society for Testing and Materials, (2006) ASTM D 1037-99 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช โดยนำไปทดสอบกับเครื่องมือมาตรฐาน ในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1.1 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (มอก.878) ตัดแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด 10 x 10 x 2.5 cm. นำมาติดกับแผ่นเหล็ก เป็นชิ้นทดสอบทั้ง 4 ชนิดๆ ละ 5 ก้อน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงดึงตั้งฉาก Universal Testing Machine ITK-KUM-2N (ดังภาพที่ 1) แล้วบันทึกค่าแรงดึง (กรมชลประทาน, 2563)



ภาพที่ 1 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึงตั้งฉาก

1.2 ความต้านทานแรงดัด (มอก.878) ตัดแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด $5 \times 45 \times 2.5$ cm. นำมาติดกับแผ่นเหล็ก เป็นชั้นทดสอบทั้ง 4 ชนิดๆ ละ 5 ก้อน นำชั้นทดสอบไปเข้าเครื่องทดสอบกับเครื่องทดสอบการต้านทานแรงดัด Universal Testing Machine Compression (ดังภาพที่ 2) แล้วบันทึกค่าแรงดัด (กรมชลประทาน, 2563)



ภาพที่ 2 แสดงเครื่องทดสอบแรงดัด

1.3 มอดูลัสยืดหยุ่น (มอก.878) ตัดแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด $5 \times 45 \times 2.5$ cm. นำมาติดกับแผ่นเหล็ก เป็นชั้นทดสอบทั้ง 4 ชนิดๆ ละ 5 ก้อน นำชั้นทดสอบไปเข้าเครื่องทดสอบกับเครื่องทดสอบการต้านทานแรงดัด Universal Testing Machine Compression (ดังภาพที่ 3) แล้วบันทึกค่าแรงดัด (กรมชลประทาน, 2563)

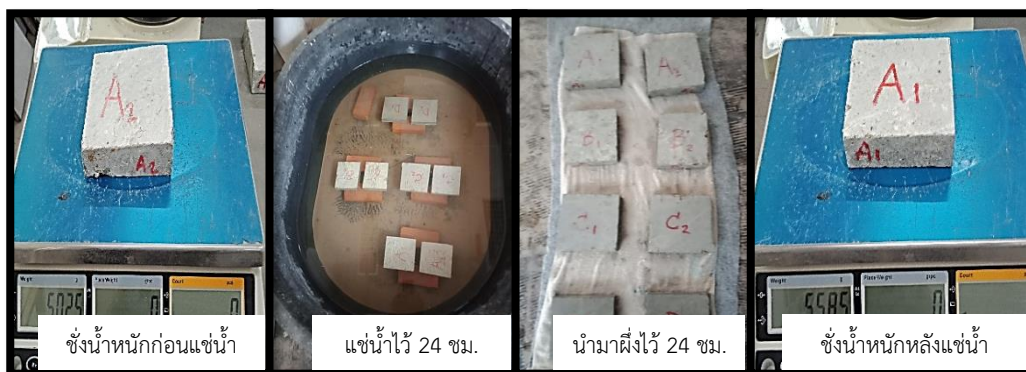


ภาพที่ 3 แสดงเครื่องทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น

หมายเหตุ ค่านมอดูลัสยืดหยุ่น = การคำนวณพฤติกรรมในการรับแรงของวัสดุ

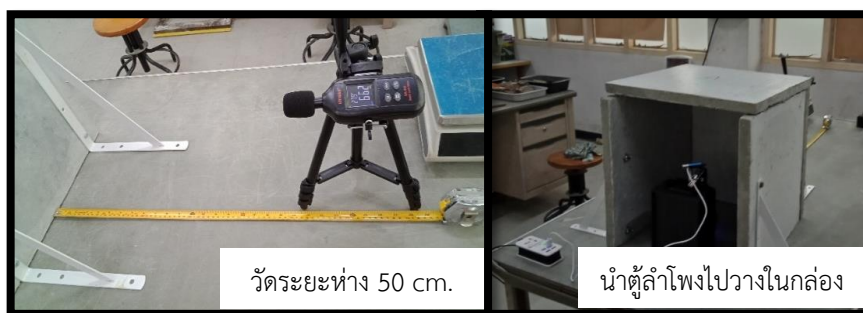
ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติการใช้งานของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

2.1 การดูดซึมน้ำ ตัดแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด $5 \times 10 \times 2.5$ cm. เป็นชิ้นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ๆ ละ 5 ก้อน นำไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึก นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ 24 ชม. นำขึ้นมาผึ่งไว้ 24 ชม. จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึก (ตฤณ ดิษฐล่ำภู และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2560) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.2 การดูดซับเสียง นำแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด $40 \times 40 \times 2.5$ cm. มาประกอบเป็นกล่องขนาด 40×40 cm. นำลำโพงไปไว้ในกล่อง แล้วเปิดเสียงลำโพงให้ดังสุด ตั้งเครื่องวัดระยะห่างจาก 50 cm. จากแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่กั้น แล้วบันทึกเสียง (ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และกนกวรรณ มะสุวรรณ, 2558; ปราโมทย์ วีรานุกูล และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2558) โดยผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการทดลองซักระยะในงานวิจัยของทั้ง 2 แบบ คือนำแผ่นซีเมนต์บอร์ดมาทำเป็นกล่องครอบลำโพง และเปิดลำโพง เพื่อทดสอบการดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (ดังภาพที่ 5) ความหนาของแผ่นทดสอบไม่น้อยกว่า 25 มม. โดยการทดลองทั้ง 2 แบบจะมีลักษณะที่เหมือนกัน



ภาพที่ 5 แสดงการทดสอบการดูดซับเสียง

2.3 การทนไฟ นำแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด $40 \times 40 \times 2.5$ cm. มาตั้ง นำหัวเผาไฟความร้อนสูง มาเผาแผ่นซีเมนต์บอร์ดวัดระยะห่างจาก 10 cm. จากแผ่นซีเมนต์บอร์ด เผาไพนาน 3 นาที แล้วบันทึกอุณหภูมิขณะเผา หลังเผา และฝังตรงข้ามที่เผา (มาตรฐาน : BS 476 Part 7 ทดสอบการทนไฟ, 1997) (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงทดสอบการทนไฟ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษา ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของแผ่นซีเมนต์บอร์ด โดยนำไปทดสอบกับเครื่องมือมาตรฐาน ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ชิ้นส่วนทดสอบ (ตามเกณฑ์มาตรฐาน) จากสูตรผสม ปูนมอร์ต้าสูตร 2 ผสมกับเส้นใยพืช สัดส่วน (2 : 1) โดยผู้วิจัยได้กำหนดชิ้นส่วนทดสอบ ไว้ดังนี้

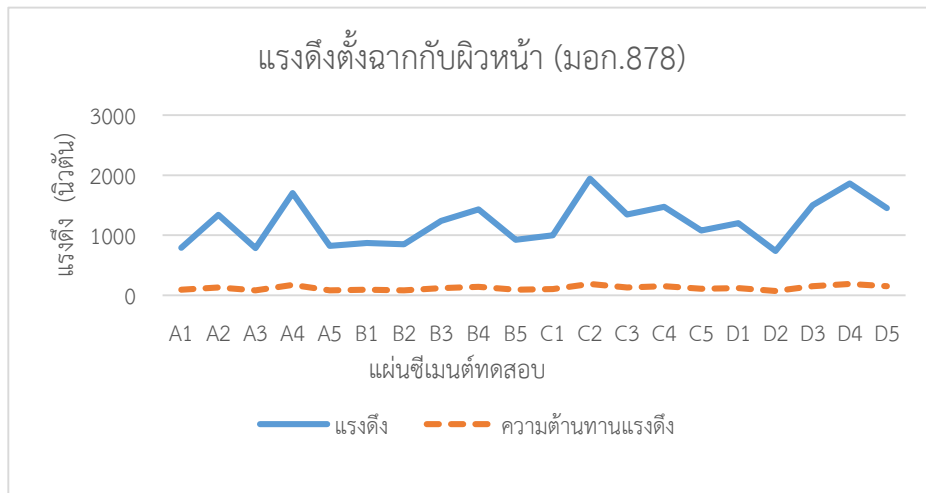
ตารางที่ 2 สูตรผสมปูนมอร์ต้ากับเส้นใยพืชและสัญลักษณ์ของชิ้นงานทดสอบ

ปูนมอร์ต้า (ปูน : ทราย)	ผสมเส้นใยพืช	สัญลักษณ์ชิ้นทดสอบ	ขนาดของชิ้นทดสอบ (mm.)*
สูตร 2 (65:35)	กล้วย	A	100 x 100 x 25
สูตร 2 (65:35)	ธูปฤาษี	B	100 x 100 x 25
สูตร 2 (65:35)	กก	C	100 x 100 x 25
สูตร 2 (65:35)	ไมยราบยักษ์	D	100 x 100 x 25

หมายเหตุ A1 = ชิ้นทดสอบปูนซีเมนต์ผสมเส้นใยกล้วย ขนาด 100 x 100 x 25 มม. ชิ้นที่ 1

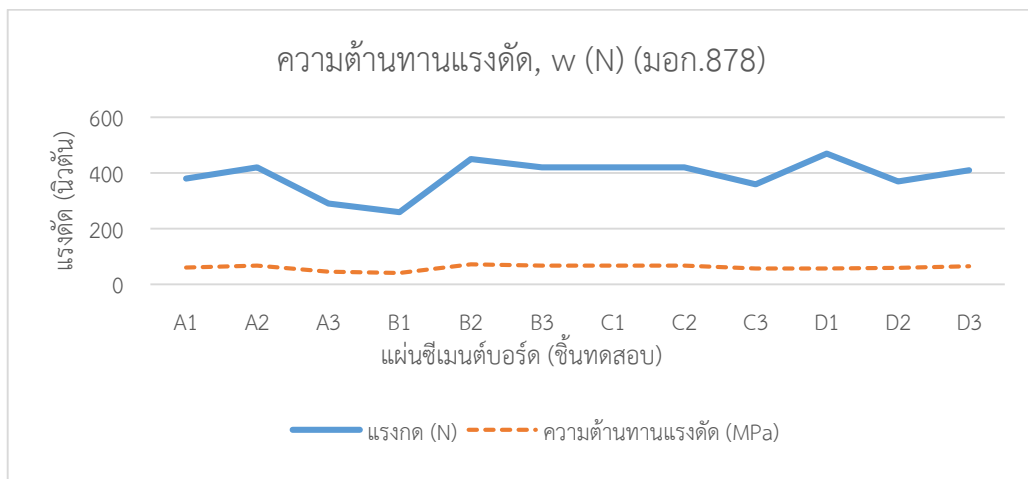
* ขนาดของชิ้นทดสอบ มีการเปลี่ยนแปลงตามเครื่องมือในการทดสอบ

1.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (มอก.878)



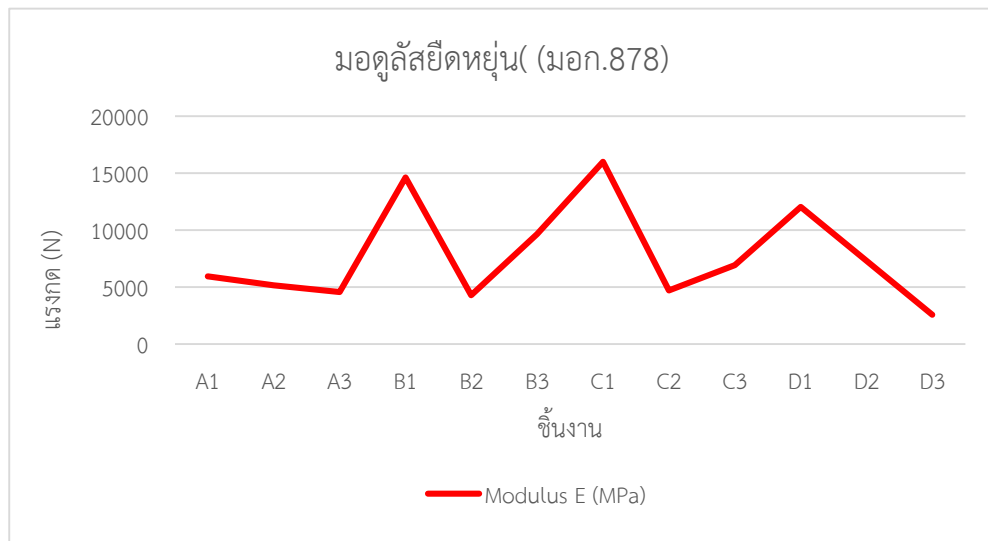
แผนภูมิที่ 1 แผนภูมิเส้นแสดงผลแรงดึงตั้งฉากของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

1.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด (มอก.878)



แผนภูมิที่ 2 แผนภูมิเส้นแสดงผลการต้านทานแรงดัดของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

1.3 ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น (มอก.878)

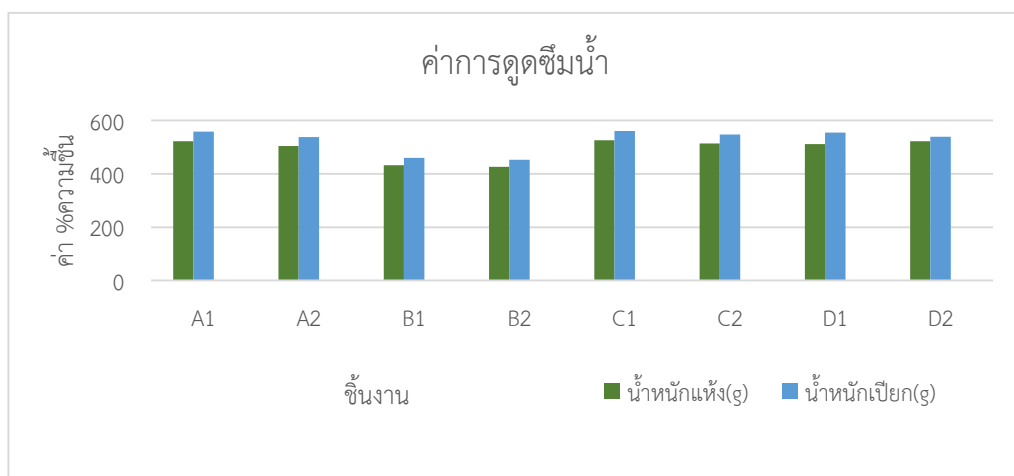


แผนภูมิที่ 3 แผนภูมิเส้นแสดงผลมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

หมายเหตุ ผลการทดลองที่อัตราส่วนผสมของเส้นใยพืชที่ผสมอยู่ในแผ่นซีเมนต์บอร์ดส่งผลต่อค่าตัวเลขที่สูง-ต่ำ

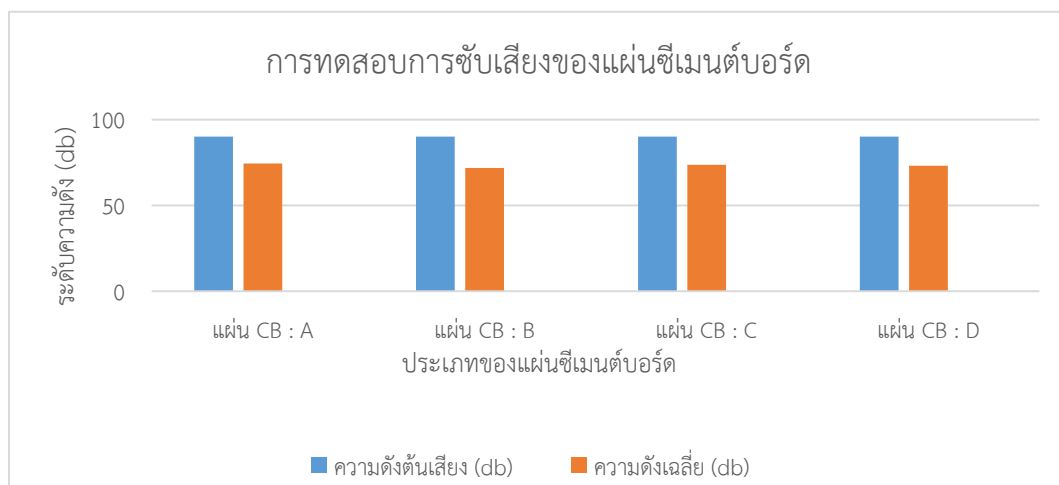
2. ผลการศึกษา ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติด้านการใช้งานของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

2.1 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ



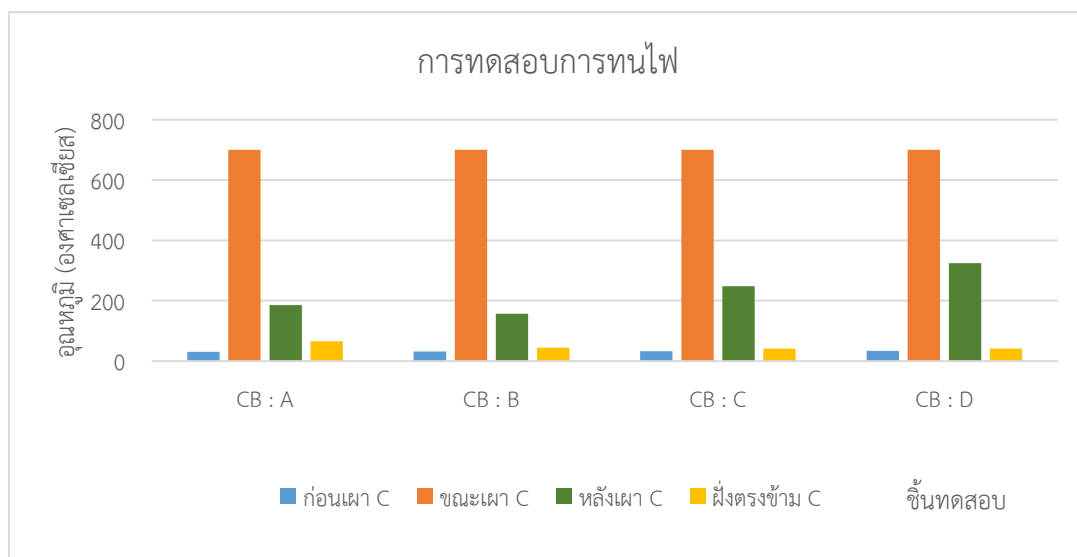
แผนภูมิที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงผลการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบ

2.2 ผลการทดสอบการดูดซับเสียง



แผนภูมิที่ 5 แผนภูมิแท่งแสดงผลการดูดซับเสียงของชั้นทดสอบ (CB = Cement Board : ชั้นงานทดสอบ)
(A=กล้วย, B=รูปถ่าย, C=กก, D=ไมยราบยักษ์)

2.3 ผลทดสอบการทนไฟ



แผนภูมิที่ 6 แผนภูมิแท่งแสดงผลการทนไฟของชั้นทดสอบ (CB = Cement Board : ชั้นงานทดสอบ)
(A=กล้วย, B=รูปถ่าย, C=กก, D=ไมยราบยักษ์)

อภิปรายผล

จากการทดสอบแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืชธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กล้วย, กก, ฐปฤาษี, และไมยราบยักษ์ โดยเปรียบเทียบการศึกษาจากงานวิจัยการพัฒนาแผ่นไม้อัดสำเร็จรูปจากเส้นใยพืชทางการเกษตร (วิวัฒน์ คลังวิจิตร และสมศเคณ เกียรติก่อง, 2561) พบว่า แผ่นไม้อัดสำเร็จรูปจากไม้ยูคาลิปตัส โดยมีความต้านทานแรงดึงต้งฉาก เท่ากับ 0.25 เมกะพาสคัล, ความต้านทานแรงดัด เท่ากับ 1.98 เมกะพาสคัล, มอดุลัสยืดหยุ่นของยูคาลิปตัส เท่ากับ 523.51 เมกะพาสคัล (นิรมล ปั่นลาย และคณะ, 2563) นำแผ่นใยซีเมนต์มาอัดผสมขานอ้อย พบว่า แผ่นขานอ้อยอัดซีเมนต์รับแรงดัดผิวหน้าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.878-2537 ที่กำหนดไว้ 0.5 เมกะพาสคัล คือปริมาณขานอ้อย ร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานแรงดัดที่ผิวหน้าเท่ากับ 0.60 เมกะพาสคัล จะสังเกตได้ว่าระดับตัวเลขที่ปรากฏในผลการทดลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน มอก. (ตารางที่ 1) แต่ก้ขึ้นอยู่กัปัจจัยอื่นๆ เช่น สัดส่วนการผสมของปูนซีเมนต์กับเส้นใยพืช การซัง และสัดส่วนการผสมน้ำ เวลาในการผสม ความแห้งและความชื้นของเส้นใยพืช เหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกักำลังของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดสอบแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืชกับมาตรฐาน มอก.และ ASTM

มาตรฐาน ของ มอก. / ASTM	แรงดัดต้ง ฉาก MPa	การรับ แรงกด (kg:m ²)	มอดุลัส ยืดหยุ่น MPa	การดูดซึม น้ำ ร้อยละ	การดูดซับ เสียง db (decibel)	การทนไฟ ทนความร้อนที่ 1000 °c
มอก. 878-2537	0.10	40.78	5,000 - 9,000	9-15	10-20	เกิน 2 ซม.
ASTM : D1037-99	0.5	40.78	5,000 - 9,000	9-15	10-20	เกิน 2 ซม.
CB ผสมกก	0.19	40.78	9209	3.90	14.33	ผ่าน
CB ผสม ไมยราบ ยักษ์	0.19	42.52	7312	4.00	14.87	ผ่าน

CB = แผ่นซีเมนต์บอร์ด

จากตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช กับมาตรฐานทั้งของไทย และสากล แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากต้นกก และแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากต้นไมยราบยักษ์ โดยแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมตามสัดส่วนที่กำหนด คือ ปูนซีเมนต์ ผสมทราย 2 (65 : 35) ปูนมอร์ต้า (ปูน : ทรายละเอียด) ผสมเส้นใยพืช สัดส่วน (2 : 1) นำมาผสมกัน แล้วหล่อเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ด ขนาด 40 x 40 x 2.5 cm. การผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืชทั้ง 2 แบบได้ทดสอบผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.878-2537 จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้าง (ผนังอาคาร) หรือไปประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสม ดูการทำแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยพืช ได้ใน Link : (www.youtube.com/watch?=9JpkdVFJfcs)

สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของปูนมอร์ต้าและปูนที่ผสมเส้นใยพืชเพื่อผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ด ได้แก่ การทดสอบแรงอัด การทดสอบแรงดัด การทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น การทดสอบแรงดึงตั้งฉากเพื่อดูการยึดเกาะของวัสดุ ด้านที่ 1 การวิเคราะห์ปูนมอร์ต้า โดยนำปูนซีเมนต์มาผสมกับทรายละเอียด (ตามสูตร) พบว่าปูนมอร์ต้า สูตร 2 มีกำลังอัดที่ 609 ksc. รองลงมาได้แก่ ปูนมอร์ต้า สูตร 1 มีกำลังอัดที่ 564 ksc. จากนั้นนำแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมกับเส้นใยพืช แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านเชิงกล ได้แก่ การรับแรงดึงตั้งฉาก การรับแรงกด มอดูลัสยืดหยุ่น และ การทดสอบด้านการใช้งานตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ได้แก่ การดูดซึมน้ำ, การซับเสียง การทนความร้อน (ทนไฟ) จากการทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน พบว่าอันดับที่ 1 แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมโยก มีแรงดึงตั้งฉาก 0.19 MPa. การรับแรงกดที่ 40.78 kg : cm². มอดูลัสยืดหยุ่นที่ 9209 MPa., การดูดความชื้นร้อยละ 3.9 การซับเสียงลดลงที่ 14.33 db. และผ่านมาตรฐานการทนไฟ รองลงมา อันดับที่ 2 แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมใยต้นไมยราบยักษ์ มีแรงดึงตั้งฉาก 0.19 MPa. การรับแรงกดที่ 42.52 kg : cm² มอดูลัสยืดหยุ่นที่ 7312 MPa. การดูดความชื้นร้อยละ 4.0 การซับเสียงลดลงที่ 14.87 db. และผ่านมาตรฐานการทนไฟ อันดับที่ 3 แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมใยต้นรูปฤาษี มีแรงดึงตั้งฉาก 0.14 MPa. การรับแรงกดที่ 38.44 kg : cm². มอดูลัสยืดหยุ่นที่ 9519 MPa. การดูดความชื้นร้อยละ 3.7 การซับเสียงลดลงที่ 16.15 db. และผ่านมาตรฐานการทนไฟ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

แผ่นซีเมนต์บอร์ดในงานวิจัยนี้ นอกจากนำมาก่อสร้างเป็นผนังอาคาร สามารถนำไปประยุกต์ได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ใช้เป็นแผ่นปูพื้นทางเดิน เป็นคอกเลี้ยงสัตว์ ทำบ่อน้ำ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยยังไม่ได้นำเส้นใยแต่ละประเภทมาผสมกัน โดยใช้เส้นใย 1 ชนิดผสมปูนซีเมนต์ ซึ่งในการทดลองครั้งต่อไป ควรนำเส้นใยที่มีคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ เช่น กก ผสมกับรูปฤาษี นำไปผสมกับปูนซีเมนต์สูตร 2 เพื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ต่อไป
2. ควรทำการทดลองเพิ่มเติม ได้แก่ นำเส้นใยจากพืชน้ำ หรือ แบบเถา ประเภทอื่นๆ ที่สามารถนำมาปั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยสามารถที่จะนำมาผสมกับปูนซีเมนต์สูตร 2 ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภลักษณ์ ใจเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ คลังวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบคุณสถานที่ทดสอบงานวิจัย กรมชลประทานที่ให้คำแนะนำต่างๆ รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องที่สนับสนุนผู้วิจัยจนสามารถผลิตงานวิจัยชิ้นนี้ออกมาจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. (2563). **ฝ่ายทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ**. สำนักงานวิจัยและพัฒนา. กรมชลประทานที่ 11 อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี.
- ตฤณ ดิษฐล้ำภู, และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2560). **การใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน**. ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- นิรมล ปั่นลาย, ประชุม คำพูน, และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2563). **แผ่นใยซีเมนต์อัดผสมขานอ้อย**. **วารสารเทคโนโลยีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**, 3(2), 59-67.
- ปราโมทย์ วีรานุกูล, และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2558). **การพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดด้วยกากกาแฟเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม**. ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์, และกนกวรรณ มะสุวรรณ. (2558). **การศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ**. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร**, 38(1), 71-86.
- มาตรฐาน : BS 476 Part 7. (1997). **การทดสอบการทนไฟบนวัสดุก่อสร้างและโครงสร้างส่วนที่ 7 วิธีการทดสอบเพื่อระบุประเภทของการแพร่กระจายของพื้นผิวของเปลวไฟของผลิตภัณฑ์**.
- วิวัฒน์ คลังวิจิตร, และสมคณ เกียรติก้อง. (2561). **การพัฒนาแผ่นไม้อัดสำเร็จรูปจากเส้นใยพืชทางการเกษตรเพื่อสร้างอาคารอนุรักษ์พลังงาน**. งานวิจัย วช., การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 17, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). (2537). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง มอก.878-2537**, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และสุรเชษฐ์ ตุ่มมี. (2563). **คุณสมบัติของแผ่นไม้อัดสำเร็จรูปจากเส้นใยธรรมชาติ**. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่4, ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- American Society for Testing and Materials. (2006). **ASTM D 1037-99 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials**, In Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia: ASTM.

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. วุฒิการศึกษาสูงสุด ☐ 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 เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาทเรียบร้อยแล้ว

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

ลงชื่อ.....ผู้นำส่งบทความวิจัย

(.....)

วันที่/...../.....

ระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

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 ไม่ได้ลอกเลียนหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้ส่งบทความวิจัยต้องชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาท โดยสามารถโอนเงินผ่านบัญชี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนครชื้อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3 พร้อมส่งสำเนาหลักฐานการชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารฯ ได้ 3 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 โทรสาร 0 2909 3036
 - 4.3 E-mail address: rdi_journalsci@vru.ac.th หรือเว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index>
5. ผู้เขียนบทความวิจัยต้องดำเนินการปรับแก้ไขบทความตามผลการอ่านประเมินของกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อย่างต่อเนื่องตลอดการตีพิมพ์ หากผู้เขียนบทความวิจัยซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าผู้นิพนธ์บทความไม่ปฏิบัติตามระเบียบการตีพิมพ์บทความวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ กองบรรณาธิการมีสิทธิ์แจ้งยกเลิกการพิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยโดยไม่คืนเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
6. บทความวิจัยที่ส่งมาจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการประเมินเห็นสมควรให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แต่งตั้งขึ้น อย่างน้อย 2 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 สามารถอธิบายสาระของเรื่องได้ที รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4.2 **ชื่อผู้นิพนธ์บทความ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุคำนำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์บทความและใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้บนเลขยกเพื่อแสดงว่าเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความและอีเมลผู้นิพนธ์หลักในเชิงอรรถ
 - 4.3 **ที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความ** ใส่รายละเอียดในเชิงอรรถข้อความที่เขียนไว้ส่วนล่างของหน้ากระดาษและมีเส้นคั่นระหว่างเชิงอรรถกับตัวบทคัดย่อ (Abstract) อย่างชัดเจน โดยขีดเส้นคั่นจากริมกระดาษด้านซ้าย ไปทางด้านขวาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 7 ตัวอักษร ใส่ตัวเลขกำกับไว้เหนือตัวอักษรตัวแรกเล็กน้อย ตัวเลขต้องตรงกับตัวเลขที่กำกับไว้กับชื่อผู้นิพนธ์บทความ ให้ระบุตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกท่าน 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 แผนภาพ ประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายได้รูป 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.
- ตัวอย่างเช่น 5. พจนานุกรม
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, หน้าที่มาอ้างอิง.
- 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** ผู้มีพันธะบทความต้องส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา 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 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้ที่มีพันธะบทความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้มีพันธะบทความจะได้รับหนังสือแจ้งพิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

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

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

รูปแบบบทความวิจัย
และพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

[illegible]

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)

เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา 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

