



วารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

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

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม 2567)
Volume 19 Number 2 (May - August 2024)



วัตถุประสงค์

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

เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

กำหนดออกเผยแพร่

ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

คณะที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมบัติ คชสิทธิ์

รศ.ดร.อรสา จรุงธรรม

ผศ.ดร.ภิกษุศักดิ์ กัลยาณมิตร

บรรณาธิการ

ผศ.ดร.บุญยง นิลแสง

รองบรรณาธิการ

ผศ.กุลชาติ พันธวรกุล

คณะผู้จัดทำวารสารและเผยแพร่

ผศ.ดร.วีระวัฒน์ อุ๋นแสนหา

อ.ดร.มนฤดี ช่างฉำ

นางนงลักษณ์ สมณะ

นางสาวปรียา ยอดจันทร์

นายชูศักดิ์ ชันธชาติ

กองบรรณาธิการ

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

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2909 3036
E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th
Website: <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

ข้อความและบทความในวารสารนี้
เป็นความคิดเห็นของผู้นิพนธ์โดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหา
และข้อคิดเห็นอื่นๆ แต่อย่างใด

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
VRU Research and Development Journal
Science and Technology

บทบรรณาธิการ

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

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

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ญาตา เรียมริมมะดัน วัลลภ ใจดี เอ็มอัชมา วัฒนบุรานนท์	1
ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตำรายาตรีธาตุ รัฐศาสตร์ เด่นชัย สุรพงศ์ รัตนะ	16
การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสินค้าภายในคลังสินค้าโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ กิตติศักดิ์ แสนราช คณิงนิต ปทุมมาเกษร เอนก เทียนบุชา	29
การใช้หินพัมมิสและเศษเปลือกหอยนางรมในงานจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ คุณาธิป รวีวรรณ ไพฑูรย์ นาแสง เอกพงศ์ วิริยะพานิชย์ กิ่งแก้ว พรหมโคตร4 ชูชัย สิ้นไชย รังษี นันทสาร	44
พฤษเคมี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดหยาบดอกกล้วยไม้ ณพัชรอร บัวฉุน	60
ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมต่ออาสาสมัครประจำบ้านแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี ณเอลินัญ สิริเศณษฐภพ สมคิด ต้นแก้ง จันทรรัตน์ จาริกสกุลชัย รัฐพล ศิลปรัตน์	75
การคำนวณหาความเร็วและการกระจัดขึ้นอยู่กับเวลาของอนุภาค ภายใต้แรงต้านทานอากาศ แรงยกและแรงภายนอกในการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ จุฑามาศ ช่างคำ ปิยรัตน์ มุลศรี อาทิตย์ ฟูเต็ม	90
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง อัจฉริยะกุล พวงเพชร พรอริยา ฉรินัง ศิริวรรณ ณะวงษ์	107
การพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของ ชุมชนตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี พัลลภ ไกยะวินิจ สุภาพร ใจการุณ กุลชญา ลอยหา	122
การพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว ภควัต เกอะประสิทธิ์ อติศร จรัสวรกุลวงศ์ อธิธิ ผลิตศิริ	136
การพัฒนาาระบบติดตามพฤติกรรม การขับซึ่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ ประวีณ ไม้เกตุ	151
CYTOTOXICITY OF <i>ALPINIA GALANGA</i> RHIZOME EXTRACTS AND ISOLATED COMPOUNDS AGAINST SMALL CELL LUNG CANCER NCI-H187 CELL LINE Anchulee Pengsook Parinthorn Temyarasilp Wanchai Pluempanu	166

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2

ญาดา เรียมริมมะดัน¹ วัลลภ ใจดี^{2*} เอ็มอัชมา วัฒนบุรานนท์³

Received : November 8, 2023

Revised : February 25, 2024

Accepted : March 21, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศมีแนวโน้มสำคัญในการให้บริการสุขภาพต่อผู้สูงอายุ รวมถึงผู้สูงอายุที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ การนำเอาข้อมูล กิจกรรมและคำแนะนำในการปฏิบัติตัวตามแนวคิดทางสุขภาพมาเสนอผ่านสมาร์ตโฟน ช่วยเปิดโอกาสให้ผู้สูงอายุเข้าถึงข้อมูลที่ทันสมัย น่าเชื่อถือ สามารถเรียนรู้และนำไปใช้ในการดูแลตนเองอย่างเหมาะสม ส่งผลให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 2) ประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน และ 3) ประเมินความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชัน กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง จากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 ท่าน และผู้สูงอายุที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ 1) เว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ใช้โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ Apache ประมวลผลด้วยภาษา PHP ฐานข้อมูล MySQL และใช้โปรแกรม Visual studio code สำหรับสร้างเว็บแอปพลิเคชัน 2) แบบประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน มีค่าความตรงเชิงเนื้อหาเท่ากับ 1.00 ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.76 และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีค่าความตรงเชิงเนื้อหาเท่ากับ 0.87 ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.81 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$)

ผลการวิจัยพบว่า ผลการประเมินความสมบูรณ์เว็บแอปพลิเคชันมีค่าเฉลี่ยระดับอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 98 (\bar{X} = 19.60, $S.D.$ = 0.547) และผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีความพึงพอใจต่อเว็บแอปพลิเคชันโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.66, $S.D.$ = 0.546) ดังนั้นเว็บแอปพลิเคชันจึงมีความพร้อมที่จะนำไปใช้ในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในวงกว้างต่อไป ซึ่งจะนำไปสู่การลดภาวะแทรกซ้อนและช่วยให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ผู้สูงอายุ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 เว็บแอปพลิเคชัน

¹ นักศึกษา หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

อีเมล: 64810079@go.buu.ac.th

² อาจารย์ ดร., คณะสาธารณสุขศาสตร์ หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา

อีเมล: wanlopj@buu.ac.th

³ ศาสตราจารย์ ดร., คณะสาธารณสุขศาสตร์ หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา

อีเมล: aimutchow@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: wanlopj@buu.ac.th

DEVELOPMENT OF A BLOOD GLUCOSE MONITORING WEB-BASED APPLICATION FOR ELDERLY PEOPLE WITH TYPE 2 DIABETES

Yada Reamrimmadun¹ Wanlop Jaidee^{2*} Aimutcha Wattanaburanon³

Abstract

Nowadays, information technology is a major trend in the delivery of healthcare services to elderly people, especially those with type 2 diabetes who struggle to manage their blood sugar levels. By using smartphones to present activity information and recommendations on self-care and practices, it is possible to provide elderly people with current, trustworthy information that they can learn and use to take proper care of themselves and effectively control their blood sugar levels. The objectives of this study were to 1) develop a blood glucose monitoring web-based application for elderly people with type 2 diabetes, 2) evaluate the completeness and usability of the web-based application, and 3) measure the user with the web-based application. The sample consisted of 5 information technology experts and 30 elderly people with type 2 diabetes which were selected using purposive sampling. The research instrument used in this study were 1) a blood glucose monitoring web-based application for elderly people with type 2 diabetes which was developed using the Apache Web Server Software processed in PHP language, the MySQL database, and the Visual Studio Code Software, 2) a completeness assessment form for web-based application with a content validity index of 1.00 and a reliability coefficient of 0.76, and 3) survey on satisfaction of elderly people with type 2 diabetes with a content validity of 0.87 and a reliability coefficient of 0.81. The quality of these tools was inspected and determined by experts. Data were analyzed using descriptive statistics including frequency, percentage, mean (\bar{X}), and standard deviation (*S.D.*).

The results showed that the completeness of the web-based application was evaluated at a high level of 98% ($\bar{X} = 19.60$, *S.D.* = 0.547). Overall, elderly people with type 2 diabetes expressed the highest level of satisfaction with the web-based application ($\bar{X} = 4.66$, *S.D.* = 0.546). As a result, the developed web-based application can be widely utilized to regulate blood sugar levels in elderly people with type 2 diabetes and it is expected to lead to a reduction in complications and an improvement in the quality of life of elderly people.

Keywords: Blood sugar control, Elderly, Type 2 diabetes, Web-based application

¹ Doctoral Student, Faculty of Public Health, Doctor of Public Health Program, Burapha University,
e-mail: 64810079@go.buu.ac.th

² Dr. Lecturer, Faculty of Public Health, Doctor of Public Health Program, Burapha University,
e-mail: wanlopj@buu.ac.th

³ Professor Dr. Lecturer, Faculty of Public Health, Doctor of Public Health Program, Burapha University,
e-mail: aimutchaw@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: wanlopj@buu.ac.th

บทนำ

โรคเบาหวานเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรังโรคหนึ่งที่เป็นปัญหาสำคัญของประชากรทั่วโลก ซึ่งจากรายงานสถานการณ์ผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วโลกในปี พ.ศ. 2564 พบผู้ป่วยโรคเบาหวานอายุระหว่าง 20-79 ปี จำนวน 536.6 ล้านคน และมีการคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2588 จะมีอัตราผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 12.2 หรือประมาณ 783.2 ล้านคน โดยพบผู้ป่วยจำนวนมากในกลุ่มผู้สูงอายุ (Sun et al., 2022) เช่นเดียวกับรายงานของประเทศไทยในปี 2565 โดยกระทรวงสาธารณสุข ระบบ Health data center พบว่า มีผู้สูงอายุในระบบจำนวน 9,527,054 ได้รับการประเมินและคัดกรองสุขภาพ จำนวน 7,501,688 คน หรือร้อยละ 78.74 มีปัญหาสุขภาพส่วนใหญ่จะเจ็บป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง และพบอัตราการเจ็บป่วยด้วยโรคเบาหวานสูงถึงร้อยละ 21.1 (กรมอนามัย, 2565) นอกจากนี้ยังพบว่า มีผู้ป่วยโรคเบาหวานที่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี น้อยกว่าร้อยละ 40 ซึ่งยังไม่บรรลุตามเกณฑ์ที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดเป้าหมายไว้ (มนตรีธรรม สมหมาย และคณะ, 2564) ปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติเป็นระยะเวลาเวลานานจะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนของหลอดเลือดแดงทั่วร่างกาย โดยภาวะแทรกซ้อนของหลอดเลือดแดงขนาดเล็กในผู้ที่เบาหวานเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญ นำไปสู่การเกิดภาวะทุพพลภาพและอันตรายถึงแก่ชีวิต ผู้ที่เป็นเบาหวานมีโอกาสเกิดโรคไตเรื้อรังระยะสุดท้ายได้ถึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับผู้ที่ไม่เป็นเบาหวาน และหนึ่งในสามของผู้เป็นเบาหวานจะนำไปสู่ปัญหาเรื่องการมองเห็น (Karuranga et al., 2017) และปัญหาที่เกิดกับเท้า ก่อให้เกิดการสูญเสียการปกป้องอันตรายที่เท้า จากประสาทรับความรู้สึกเสียหน้าที่ เท้าผิดรูป เกิดแผลที่เท้าและถูกตัดนิ้วเท้า เท้าและขาในที่สุด นอกจากนี้โรคเบาหวานยังเป็นอีกหนึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดอาการสมองเสื่อม ทำให้ความสามารถในการดูแลตนเองของผู้สูงอายุลดลง จึงเป็นการเพิ่มภาระการดูแลให้กับครอบครัว ผู้สูงอายุอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2560)

จากผลการศึกษาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุต่อระดับน้ำตาลในเลือดของผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ชี้ให้เห็นว่าความรอบรู้ทางด้านสุขภาพ (Health literacy) ของกองสุขศึกษา (2554) การรับรู้สมรรถนะแห่งตน (Self-efficacy) ของ Bandura (1986) พฤติกรรมการดูแลตนเอง (Self-care) ของ Orem (2001) มีอิทธิพลต่อระดับน้ำตาลในเลือด ดังนั้นในการดูแลผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ควรมีการพัฒนาตนเองตามแนวคิดสุขภาพดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น เพื่อจะช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้สูงอายุกลุ่มนี้ได้มากที่สุด (Reamrimmadun et al., 2024) ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีด้านสุขภาพผ่านมือถือ (Mobile health technology) โดยเป็นการลดช่องว่างของการเข้าถึงข้อมูลในยุคที่เทคโนโลยีมีอิทธิพลในการดำรงชีวิตของมนุษย์ (อังคินันท์ อินทรกำแหง และแม่แก้วกาสกล แอน, 2562) จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศที่เกิดขึ้น ทำให้การใช้มบายแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์ติดตามตัวในการดูแลสุขภาพได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มความสำคัญในการใช้เพื่อให้บริการผู้สูงอายุ (รัชชานันท์ ศรีสุภักดิ์ และคณะ, 2562) โดยกลุ่มแอปพลิเคชันเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพเป็นแอปพลิเคชันที่ผู้สูงอายุมีความต้องการให้มีใน

โทรศัพท์มือถือมากที่สุด เพื่อช่วยควบคุมการดูแลสุขภาพตนเองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Yangchen & Chintakovid, 2014) จากการศึกษาแอปพลิเคชันเกี่ยวกับการส่งเสริมสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุที่ผ่านมา พบว่ามีแอปพลิเคชันให้เลือกใช้เป็นจำนวนมาก แต่มีจำนวนน้อยที่พัฒนาขึ้นตามทฤษฎีพฤติกรรมสุขภาพอย่างเป็นระบบ ชัดเจนและยังไม่มีประสิทธิภาพในการรับรู้หรือการศึกษาพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาต่าง ๆ (King et al., 2016) ดังนั้นการพัฒนาความรู้ทางด้านสุขภาพ การรับรู้สมรรถนะแห่งตนและพฤติกรรมดูแลตนเองให้ดียิ่งขึ้น เพื่อจะช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้สูงอายุตามผลการศึกษาที่ผ่านมา (Reamrimmadun et al., 2024) โดยการนำเอาข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องตามแนวคิดทฤษฎีด้านสุขภาพมานำเสนอผ่านสมาร์ตโฟน จึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่ง ซึ่งหากคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน การเข้าถึงได้ง่าย ไม่ต้องติดตั้งหลายขั้นตอน การพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน (Web application) จึงเป็นทางเลือกที่ดี นอกจากนี้จะเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เว็บแอปพลิเคชันยังสามารถอัปเดตและดูแลระบบ โดยไม่ต้องแจกจ่ายหรือติดตั้งซอฟต์แวร์บนเครื่องผู้ใช้ (อมิณา ฉายสุวรรณ และชุมพล จันทร์ฉลอง, 2566) จึงมีความเหมาะสมกับการใช้งานของผู้สูงอายุ ช่วยเปิดโอกาสให้เข้าถึงข้อมูลสุขภาพที่ทันสมัย น่าเชื่อถือ สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองตลอดเวลาตามความสะดวก

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุกลุ่มโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยคำนึงถึงความสามารถ ความเหมาะสมในการนำเสนอข้อมูลเนื้อหา กิจกรรม การประเมินผลพฤติกรรมรวมถึงการบริหารจัดการทางระบบสารสนเทศที่มีความครอบคลุมกับขอบเขตของการทำงาน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ Apache ประมวลผลด้วยภาษา PHP ใช้ฐานข้อมูลเป็น MySQL และใช้โปรแกรม Visual studio code สำหรับสร้างเว็บหรือเขียนโค้ด ประกอบกับการนำแนวคิดทางด้านสุขภาพมาใช้ในการพัฒนาเนื้อหา รวมถึงกิจกรรมภายในเว็บแอปพลิเคชัน ทั้งนี้เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะเป็นนวัตกรรมใหม่ ที่ช่วยให้ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมสุขภาพที่เหมาะสม สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดียิ่งขึ้น ลดภาวะแทรกซ้อน ลดภาวะพึ่งพิงและช่วยให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2
2. เพื่อประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ผลการวิเคราะห์โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุต่อระดับน้ำตาลในเลือดของผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Reamrimmadun et al, 2024) ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์เป้าหมายที่จะต้องพัฒนาผู้สูงอายุ รวมถึงวิเคราะห์แหล่งข้อมูล การกำหนดแหล่งที่มาของข้อมูล โดยข้อมูลเนื้อหาที่นำมาใช้ผ่านการพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมจากแพทย์ ซึ่งเป็นแพทย์เฉพาะทางสาขาอายุรศาสตร์ และสาขาเวชศาสตร์ครอบครัว ปฏิบัติหน้าที่ในโรงพยาบาลชุมชน

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบ เป็นการนำผลลัพธ์จากขั้นตอนการจัดทำข้อมูลที่เกี่ยวข้อง มาออกแบบตามหลักการ User Experience Design (UX) และ User Interface Design (UI) ประกอบด้วยการออกแบบกิจกรรม ได้แก่ เนื้อหา การเลือกสื่อ/กิจกรรม วิธีการนำเสนอ การวัดผล และการออกแบบหน้าจอภาพ เป็นการจัดการพื้นที่ในการนำเสนอเนื้อหา ภาพ ต้องพิจารณาสี การจัดพื้นที่หน้าจอ เลือกรูปแบบ ขนาดอักษร ไอคอนในการเชื่อมโยงเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชันเพื่อความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างเว็บแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือ Open source ทั้งหมด โดยคำนึงถึงความสามารถ ความเหมาะสมในการนำเสนอข้อมูลเนื้อหา กิจกรรม รวมถึงการบริหารจัดการทางระบบสารสนเทศ ที่มีความครอบคลุมกับขอบเขตของการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็น Apache โปรแกรมภาษาสำหรับประมวลผลเป็นภาษา PHP เวอร์ชัน 5.6 ขึ้นไป โปรแกรมฐานข้อมูลเป็น MySQL เวอร์ชัน 5.1 เป็นฐานข้อมูล โปรแกรมสำหรับสร้างเว็บหรือเขียนโค้ดเป็น Visual studio code ในการสร้างเว็บแอปพลิเคชันจะต้องมีความสามารถในการรองรับการใช้งานจากหลายอุปกรณ์ โดยการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันขึ้นในรูปแบบ Responsive Website

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อประเมินความสมบูรณ์และความพึงพอใจที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกดังต่อไปนี้ คือเป็นผู้ที่มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาโทขึ้นไป และอาจมีตำแหน่งทางวิชาการในสาขาที่เกี่ยวข้อง มีความรู้ ความสามารถเชี่ยวชาญในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ สื่อการสอน การวัดและประเมินผล มีประสบการณ์ในการทำโครงการวิจัยหรือเป็นที่ปรึกษางานวิจัยเกี่ยวข้องกับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และมีประสบการณ์ในการประเมินเทคโนโลยีสารสนเทศ นวัตกรรมหรือสื่อสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับทางด้านสุขภาพ ผู้เชี่ยวชาญทำการทดลองใช้เว็บแอปพลิเคชันเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นจึงทำการประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน

ส่วนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชัน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุ จำนวน 30 คน คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกดังต่อไปนี้ คือเป็นผู้สูงอายุป่วยด้วยโรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 ที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้ (FBS > 130 mg/dl และ HbA1C > 7%) รักษาตัวไม่น้อยกว่า 5 ปีและไม่เกิน 15 ปี อ่านออก เขียนได้ สื่อสารได้ปกติ ได้รับการรักษาด้วยการรับประทานยากระดับน้ำตาลในเลือดทุกชนิดที่แพทย์เป็นผู้สั่งจ่าย มีและสามารถใช้สมาร์ตโฟน คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คอมพิวเตอร์ชนิดพกพา ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ สามารถติดต่อทางโทรศัพท์หรือแอปพลิเคชันไลน์ได้และยินดีเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยเปิดระบบให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใช้งานเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นจึงทำการประเมินความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชัน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน พัฒนาขึ้นจากจากแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันทางสุขภาพบนโทรศัพท์มือถือของไทย (Thai Mobile Health Apps Rating Scale: THARS) (วิลาสินี หงสนันท์ และศุภชัย อินสุข, 2562) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน จำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วยการประเมินคุณภาพทั่วไป จำนวน 15 ข้อ และการประเมินความเสี่ยงในการใช้งานของผู้ใช้ จำนวน 5 ข้อ เป็นลักษณะคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ได้แก่ ใช่ ไม่ใช่ ไม่น่าใจ เกณฑ์การให้คะแนนของข้อคำถามที่แสดงประสิทธิภาพดีที่สุดจนถึงน้อยที่สุด ใช่ ไม่ใช่ ไม่น่าใจ เกณฑ์การให้คะแนน ตอบใช่ หมายถึงมีความสมบูรณ์ ให้ 1 คะแนน ตอบไม่ใช่หรือไม่ น่าใจ หมายถึงไม่สมบูรณ์ ให้ 0 คะแนน เกณฑ์การพิจารณาระดับความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งออกเป็น 3 ระดับตามแนวคิดของ Bloom (1971) ดังต่อไปนี้ คะแนนร้อยละ 80 ขึ้นไป (16.00 คะแนนขึ้นไป) หมายถึงมีความสมบูรณ์อยู่ในระดับมาก คะแนนร้อยละ 60-79 (12.00-15.99 คะแนน) หมายถึงมีความสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง คะแนนน้อยกว่าร้อยละ 60 (น้อยกว่า 12.00 คะแนน) หมายถึงมีความสมบูรณ์อยู่ในระดับน้อย ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจากผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน มีค่าความตรงเชิงเนื้อหา S-CVI = 1.00 และค่าความเชื่อมั่น Cronbach's Alpha = 0.76

2. แบบสอบถามความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชัน พัฒนาขึ้นจากแบบประเมินความพึงพอใจของ วุฒิพงศ์ ชินศิริ และศิริวรรณ วาสุกี (2558) และศิริพล แสนบุญสูง (2559) มีจำนวน 14 ข้อ เพื่อทราบความคิดเห็นในประเด็นความสะดวกในการใช้งานระบบ เนื้อหาทันสมัย ครอบคลุมความต้องการ เข้าใจง่าย นำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ภาพและสีน่าสนใจ ภาษาเข้าใจได้ง่าย รูปแบบเหมาะสม และความสวยงามของสื่อ เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) (บุญชม ศรีสะอาด, 2560) ดังต่อไปนี้ ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง มีความพึงพอใจ ในระดับน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึงมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจากผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน มีค่าความตรงเชิงเนื้อหา S-CVI = 0.87 และค่าความเชื่อมั่น Cronbach's Alpha = 0.81

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

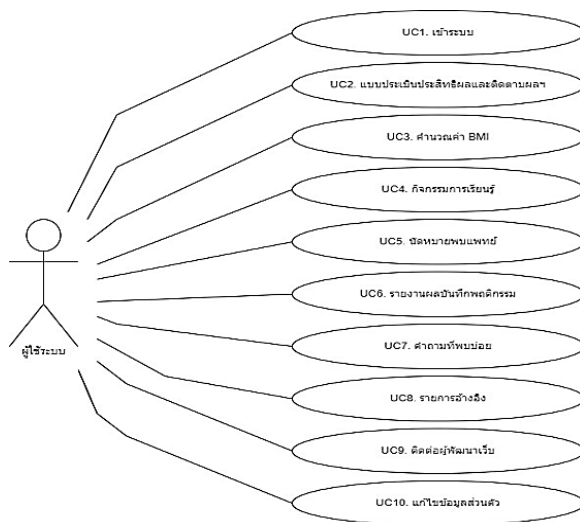
การวิจัยครั้งนี้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา (IRB3-037/2566) รหัสโครงการวิจัย G-HS015/2566 ประเภท Full Board รับรองเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2566 ผู้วิจัยทำการพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างโดยกลุ่มตัวอย่างมีสิทธิ์ที่จะตอบรับหรือปฏิเสธการให้ข้อมูล โดยไม่เสียผลประโยชน์หรือได้รับผลกระทบใดๆ จากการเข้าร่วมวิจัย ซึ่งในระหว่างการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจะไม่ละเมิดความเป็นส่วนตัว ไม่มีการระบุชื่อ-สกุลของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับถูกเก็บเป็นความลับ ตลอดจนมีการนำเสนอข้อมูลในภาพรวมเท่านั้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

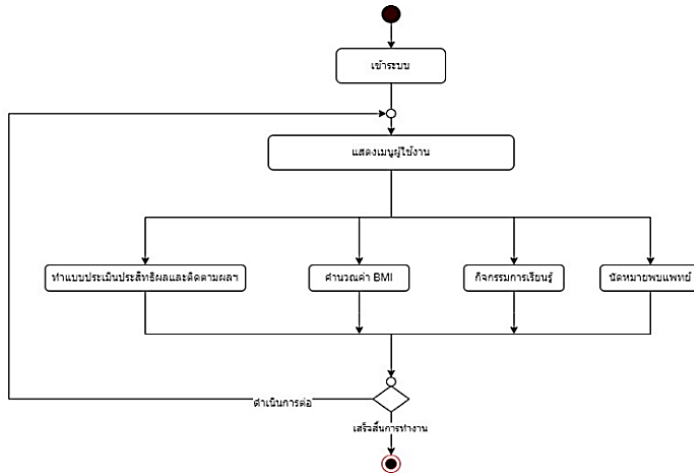
ผลการวิจัย

1. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้พัฒนาผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต บนเว็บไซต์ www.dmhealthgroup.com ใช้โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ Apache ภาษา PHP สำหรับประมวลผล ฐานข้อมูล MySQL สร้างเว็บหรือเขียนโค้ดด้วย Visual studio code ซึ่งในระบบมีการทำงานประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนของผู้ใช้และส่วนของผู้ดูแลระบบ

ส่วนของผู้ใช้ สามารถใช้งานหลักประกอบไปด้วย ลงทะเบียนเข้าสู่ระบบด้วยตนเอง สมัครเข้าใช้งาน (โดยกรอกข้อมูลชื่อ - สกุล เพศ สถานภาพ อายุ ระดับการศึกษา ศาสนา รายได้ต่อเดือน น้ำหนัก ส่วนสูง ระยะเวลาเจ็บป่วย กรอกโรคประจำตัวอื่นๆ ID Line กำหนดชื่อผู้ใช้ กำหนดรหัสผ่าน และยืนยันรหัสผ่าน) การประเมินและติดตามผล การคำนวณ BMI กิจกรรมการเรียนรู้ นัดหมายพบแพทย์ รายงานผลบันทึกพฤติกรรม คำถามที่พบบ่อย รายการอ้างอิง ติดต่อผู้พัฒนาและแก้ไขข้อมูลส่วนตัว แสดงความเชื่อมโยงระบบ ดังภาพที่ 1-2

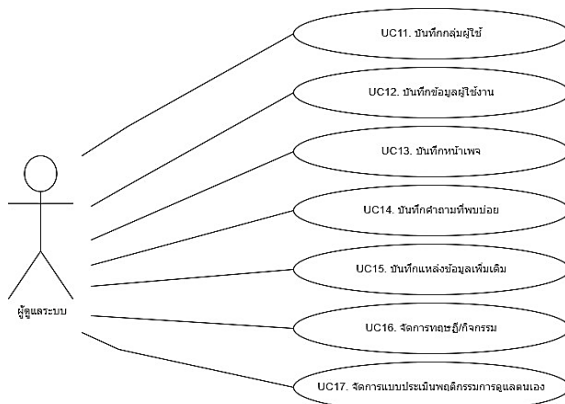


ภาพที่ 1 Use case Diagram ของผู้ใช้งาน

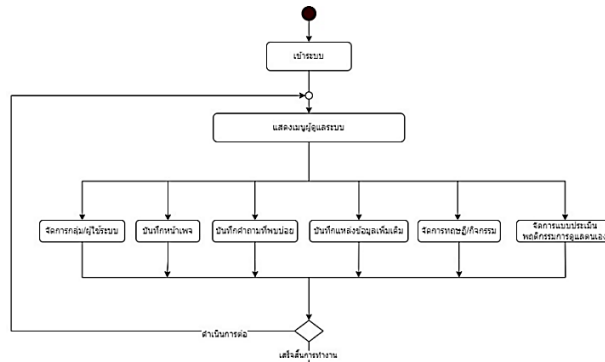


ภาพที่ 2 Activity Diagram ของผู้ใช้งาน

ส่วนผู้ดูแลระบบ สามารถใส่ข้อมูลคำถามที่พบบ่อย แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม เพิ่มเติม/แก้ไขทฤษฎี/กิจกรรม และการจัดการแบบประเมินพฤติกรรมตนเองได้ แสดงความเชื่อมโยงระบบเว็บแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3 Use case Diagram ของผู้ดูแลระบบ



ภาพที่ 4 Activity Diagram ของผู้ดูแลระบบ

เว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 พัฒนาขึ้นตามแนวคิดทฤษฎีอย่างเป็นระบบ มีการประเมินความรอบรู้ การรับรู้สมรรถนะแห่งตนและพฤติกรรมที่เปลี่ยนไป ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาความรู้ทางด้านสุขภาพ (Health literacy) ตามแนวคิดของกองสุศึกษา มีทั้งสิ้น 6 ทักษะ ได้แก่ การเข้าถึงข้อมูลและบริการสุขภาพ ทักษะการสื่อสาร การรู้เท่าทันสื่อ ทักษะความรู้ความเข้าใจ ทักษะการตัดสินใจ ทักษะการจัดการตนเอง เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความรู้ทางด้านสุขภาพตามลำดับขั้นที่สูงขึ้น โดยเชื่อมโยงไปสู่ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเสริมความมั่นใจที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม (Self-efficacy) และขั้นตอนที่ 3 การปฏิบัติเพื่อผลลัพธ์สุขภาพที่ดี (Self-care behavior) นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันเพิ่มเติมสำหรับสนับสนุนข้อมูลในการดูแลตนเองให้กับผู้สูงอายุ ได้แก่ โปรแกรมคำนวณ BMI บันทึกนัดหมายพบแพทย์ รายงานผลบันทึกพฤติกรรม คำถามที่พบบ่อย รายการอ้างอิง แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อผู้พัฒนาเว็บ ติดต่อผู้ให้คำแนะนำทางสุขภาพ และข้อมูลพื้นฐานของระบบ ซึ่งแสดงตัวอย่างของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังภาพที่ 5-7



ภาพที่ 5 เว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2



ภาพที่ 6 หน้าจอหลักของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการเข้าสู่กิจกรรมการเรียนรู้ของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2

2. ผลการประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 5 คน ทำการทดลองใช้เว็บแอปพลิเคชันสื่อต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นจึงทำการประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน ที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการประเมินคุณภาพทั่วไป และการประเมินความเสี่ยงในการใช้งานของผู้ใช้ พบว่า ผลการประเมินความสมบูรณ์เว็บแอปพลิเคชันในภาพรวมอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 98 (\bar{X} = 19.60, S.D. = 0.547) เมื่อพิจารณาผลการประเมินเว็บแอปพลิเคชันมีความสมบูรณ์รายข้อทุกข้ออยู่ในระดับมาก โดยมีผลการประเมินความสมบูรณ์ คิดเป็นร้อยละ 100.00 จำนวนทั้งสิ้น 18 ข้อ ได้แก่ ข้อ 1 เว็บแอปพลิเคชันมีเมนูต่าง ๆ ให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย ข้อ 2 รูปแบบการจัดวางเมนูและไอคอนอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม สามารถมองเห็นได้ชัดเจน ข้อ 3 รูปแบบการนำเสนอข้อมูลสวยงาม น่าสนใจ ข้อ 4 ขนาดตัวอักษรที่ใช้ สามารถมองเห็นชัดเจน ข้อ 5 ใช้ภาษาที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย ข้อ 6 มีเมนูที่แนะนำวิธีการใช้งาน ข้อ 7 มีช่องทางให้ผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ให้คำแนะนำทางสุขภาพ ข้อ 8 มีช่องทางให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อเสนอแนะไปยังผู้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ข้อ 9 ให้ประโยชน์ด้านสุขภาพต่อผู้ใช้ ข้อ 10 สามารถบันทึกข้อมูลการใช้งาน เช่น ความก้าวหน้าที่ผ่านมาของผู้ใช้งาน ข้อ 12 สามารถทำงานได้รวดเร็วตามความต้องการ ข้อ 13 มีฟังก์ชันให้เลือกใช้งานสอดคล้องกับการพัฒนาความรู้ การรับรู้สมรรถนะและพฤติกรรม ข้อ 14 มีฟังก์ชันการใช้งานที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาความรู้ การรับรู้สมรรถนะและพฤติกรรม ข้อ 15 ท่านไม่พบปัญหาทางเทคนิคจากการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันโดยตรง เช่น จอค้าง เป็นต้น ข้อ 16 เนื้อหาในเว็บแอปพลิเคชันมาจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ เช่น มีการอ้างอิงเอกสารงานวิจัยทางการแพทย์/หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ข้อ 18 มีการแจ้งนโยบายความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้งานโดยใช้ภาษาไทย ข้อ 19 มีการแจ้งให้ทราบว่า จะเก็บรักษาข้อมูลของ

ผู้ใช้งานนี้เป็นความลับ และข้อ 20 กำหนดให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดรหัสผ่านในการเข้าใช้และเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังพบว่าผลการประเมินความสมบูรณ์ คิดเป็นร้อยละ 80.00 มีจำนวน 2 ข้อ ได้แก่ ข้อ 11 เว็บแอปพลิเคชันสามารถรายงานผลจากการใช้งานให้ผู้ใช้งานทราบ และข้อ 17 ไม่มีเนื้อหาเชิญชวนให้ซื้อขายหรือผลิตภัณฑ์สุขภาพใด ๆ ในลักษณะทางการค้า

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ จำนวน 30 คน โดยเปิดระบบให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใช้งานเพื่อประเมินความพึงพอใจเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งแสดงรายละเอียดผลการประเมินทั้งรายข้อและในภาพรวม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันจากผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 30 คน

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. เนื้อหาที่มีความทันสมัย	4.70	.466	มากที่สุด
2. เนื้อหาครอบคลุมตามความต้องการ	4.70	.534	มากที่สุด
3. เนื้อหาเข้าใจง่าย	4.60	.563	มากที่สุด
4. เนื้อหาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง	4.67	.546	มากที่สุด
5. เนื้อหานำเสนอเหมาะสมกับสื่อ	4.56	.504	มากที่สุด
6. สื่อประกอบมีความดึงดูดความสนใจ	4.63	.614	มากที่สุด
7. สื่อประกอบมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	4.63	.534	มากที่สุด
8. ความสะดวกในการใช้งาน	4.70	.556	มากที่สุด
9. ภาษาที่ใช้ ทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจง่าย	4.53	.628	มากที่สุด
10. ความชัดเจนของสื่อประกอบ	4.70	.534	มากที่สุด
11. ความชัดเจนในการจัดวางภาพหน้าจอ	4.63	.668	มากที่สุด
12. ตัวอักษรมีขนาดชัดเจน	4.63	.534	มากที่สุด
13. ตัวอักษรมีรูปแบบที่เหมาะสม	4.70	.490	มากที่สุด
14. ความสวยงามของสื่อในภาพรวม	4.80	.484	มากที่สุด
ความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชันในภาพรวม	4.66	.546	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีความพึงพอใจต่อเว็บแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.66$, S.D. = 0.546) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าผู้ประเมินมีความพึงพอใจมากที่สุด ได้แก่ ความสวยงามของสื่อในภาพรวม ($\bar{X} = 4.80$, S.D. = 0.484) รองลงมาได้แก่ เนื้อหาที่มีความทันสมัย ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.466) เนื้อหาที่มีความครอบคลุมตามความต้องการ ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.534) ความสะดวกในการใช้งาน ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.556) ความชัดเจนของสื่อประกอบ ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.534) ตัวอักษรมีรูปแบบที่เหมาะสม ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.490) และเนื้อหาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ($\bar{X} = 4.67$, S.D. = 0.546)

อภิปรายผล

1. เว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 พัฒนาผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้ในการพัฒนาได้ใช้เครื่องมือที่เป็น Open source ทั้งหมด เนื่องจากคำนึงถึงความสามารถ ความเหมาะสมในการนำเสนอข้อมูลเนื้อหา กิจกรรม รวมถึงการบริหารจัดการทางระบบสารสนเทศที่มีความครอบคลุมกับขอบเขตของการทำงานที่มีประสิทธิภาพ สามารถเข้าถึงได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว ไม่มีค่าใช้จ่ายและสามารถนำไปใช้พัฒนาต่อยอดได้ โดยไม่ติดลิขสิทธิ์ จึงใช้ภาษา PHP เนื่องจากเป็นภาษาที่มีการเติบโตรวดเร็วจึงทำให้สามารถหาข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการพัฒนาได้มากยิ่งขึ้น เป็นที่นิยมและแพร่หลาย โดยเฉพาะกับการทำงานร่วมกับ Apache Web Server อีกทั้งยังมีความนิยมใช้ภาษา PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL มากที่สุด เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลขนาดกลางที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำมาใช้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย สอดคล้องกับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันของพรเทพ ด่านน้อย และคณะ (2562) ศึกษาพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้บริการผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูงของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล โดยพัฒนาด้วยภาษา PHP เป็นหลักและใช้ฐานข้อมูล MySQL ในการเก็บข้อมูลของผู้ใช้ ส่งผลให้รายงานผลการตรวจของผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกสบายในการใช้งานทุกอุปกรณ์ที่เข้าถึงเว็บเบราว์เซอร์ได้ โดยพบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการวิจัยของอมิญา ฉายสุวรรณ และชุมพล จันทรฉลอง (2566) ที่ใช้ภาษา PHP ในการพัฒนาและใช้ฐานข้อมูลด้วย MySQL ซึ่งสามารถประมวลผลและแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ สามารถใช้งานได้ทั้งคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊กหรือสมาร์ทโฟน โดยระบบมีประสิทธิภาพที่ดี เข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว อีกทั้งผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันและความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้เว็บแอปพลิเคชันอยู่ในระดับดี

2. การประเมินความสมบูรณ์ของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 พบว่าผลการประเมินความสมบูรณ์เว็บแอปพลิเคชันรายอยู่ในระดับมาก โดยมีผลการประเมินความสมบูรณ์ ร้อยละ 100.00 จำนวน 18 ข้อ และมีผลการประเมินความสมบูรณ์ ร้อยละ 80.00 จำนวน 2 ข้อคือ 1) สามารถรายงานผลการใช้งานให้ผู้ใช้จนทราบ ทั้งนี้เนื่องมาจากภายในเว็บแอปพลิเคชันมีการรายงานผลการใช้งานในภาพรวมเป็นหลัก ซึ่งยังไม่มีรายงานผลการใช้งานอย่างละเอียดในทุกฟังก์ชัน และ 2) ไม่มีเนื้อหาเชิญชวนให้ซื้อยาหรือผลิตภัณฑ์สุขภาพใด ๆ ในลักษณะทางการค้า อาจเป็นเพราะในบางกิจกรรม เป็นการไปงานออนไลน์ ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่ไม่มีค่าใช้จ่าย ทำให้ในขณะใช้งานอาจมีโฆษณาบางส่วนปรากฏขึ้นบ้าง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการประเมินความสมบูรณ์เว็บแอปพลิเคชันในภาพรวม อยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 98 ($\bar{X} = 19.60$, S.D. = 0.547) ซึ่งอาจเป็นเพราะการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันมีการออกแบบระบบการทำงาน การนำเสนอข้อมูล มีความสอดคล้องและเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ ไม่พบปัญหาทางเทคนิค เนื้อหาม่าเชื่อถือ มีการแจ้งนโยบายความเป็นส่วนตัว การเก็บรักษาความลับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนัชชา เธอจันทิก และคณะ (2565) พัฒนาต้นแบบระบบการให้คำปรึกษาแบบโต้ตอบโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงด้วยเว็บโมบายและเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า ระบบสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี และผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมาก

3. การประเมินความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ผู้ประเมินมีความพึงพอใจในด้านความสวยงามของสื่อ เนื้อหาที่มีความทันสมัย เนื้อหาครอบคลุมความต้องการ

ความสะดวกในการใช้งาน ความชัดเจนของสื่อ ตัวอักษรมีรูปแบบที่เหมาะสมและเนื้อหาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเว็บแอปพลิเคชันออกแบบขึ้นตามหลักการ UX, UI Design รวมถึงการใช้โปรแกรมเชิร์ฟเวอร์ ภาษาสำหรับประมวลผล ฐานข้อมูลและโปรแกรมสำหรับสร้างเว็บที่ครอบคลุมขอบเขตการทำงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งาน การจัดวางองค์ประกอบ ความสวยงาม ความสะดวกและความสมบูรณ์ในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการนำเสนอเนื้อหาที่ทันสมัย ครอบคลุมความต้องการ พัฒนาตามแนวคิดสุขภาพ ทั้งในการพัฒนาความรู้ทางด้านสุขภาพ ส่งเสริมการรับรู้สมรรถนะแห่งตน การการดูแลตนเองที่เหมาะสม บันทึกข้อมูลสุขภาพและพฤติกรรม รวมถึงการให้คำแนะนำทางด้านสุขภาพ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง สอดคล้องกับผลการศึกษาศึกษาของกษมา ดอกดวง และคณะ (2564) พัฒนาแอปพลิเคชันช่วยดูแลสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวาน สำหรับผู้สูงอายุในจังหวัดอุบลราชธานี สำหรับบันทึกค่าน้ำตาลในเลือดและแนะนำแนวทางปฏิบัติ ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความต้องการของผู้ใช้พบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ด้านการทำงานตามฟังก์ชัน ความง่ายต่อการใช้งานและความเหมาะสมของเนื้อหา

สรุป

เว็บแอปพลิเคชันควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีผลการประเมินความสมบูรณ์จากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมากทั้งในภาพรวมและรายข้อ ผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีความพึงพอใจต่อเว็บแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุดทั้งในภาพรวมและรายข้อ ดังนั้นเว็บแอปพลิเคชันจึงมีประสิทธิภาพที่ดีและพร้อมที่จะนำไปใช้ในวงกว้าง โดยเว็บแอปพลิเคชันจะช่วยพัฒนาความรู้ทางสุขภาพในระดับบุคคลให้เพิ่มสูงขึ้น ส่งเสริมการรับรู้สมรรถนะแห่งตนและพฤติกรรมดูแลตนเอง ซึ่งช่วยให้ผู้สูงอายุมีทักษะในการเข้าถึง เข้าใจ ตัดสินใจในการเลือกนำข้อมูลมาใช้ปฏิบัติ และมีพฤติกรรมดูแลสุขภาพที่ถูกต้องเหมาะสม นำไปสู่การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้และช่วยให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผู้สูงอายุที่ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 สามารถใช้เว็บแอปพลิเคชันในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงลดภาระในการดูแลผู้สูงอายุให้กับผู้ดูแลและครอบครัวได้
2. บุคลากรทางการแพทย์สามารถนำเว็บแอปพลิเคชันไปใช้ในการดูแล กำกับ ติดตามและประเมินผลลัพธ์ทางสุขภาพของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้อย่างเป็นระบบ
3. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสามารถใช้นวัตกรรมเว็บแอปพลิเคชันในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการและการแก้ไขปัญหาสุขภาพของผู้สูงอายุโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. อาจพัฒนาต่อยอดเพื่อให้งานบนสมาร์ตโฟนลื่นไหลและรองรับขนาดหน้าจอที่หลากหลาย โดยสามารถเขียนเป็น Native Application ทั้งระบบ IOS และ Android
2. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ทำให้ระบบการสื่อสารเน้นการติดต่อผ่านการใช้แอปพลิเคชัน Line เป็นหลัก ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปอาจมีการพัฒนาการสื่อสารตอบโต้ด้วย Chatbot ร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแพทย์ทุกท่านที่ร่วมพิจารณาตรวจสอบข้อมูลเนื้อหาภายในเว็บแอปพลิเคชัน ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเว็บแอปพลิเคชัน ผู้สูงอายุทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและความยินดีในการเข้าร่วมโครงการวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย. (2565). **กรมอนามัยเผย ผู้สูงวัยป่วยเบาหวานเป็นอันดับ 2 รองจากความดัน แนะนำอาหาร น้ำตาล ออกกำลังกาย**. สืบค้นจาก <https://multimedia.anamai.moph.go.th/news/141165>.
- กษมา ดอกดวง, บุญมี โททา, และปิยภัทร โกษาพันธ์. (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันช่วยดูแลสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวาน สำหรับผู้สูงอายุ ในจังหวัดอุบลราชธานี. **วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**, 11(2), 53–65.
- กองสุศึกษา. (2554). **ความฉลาดทางสุขภาพ**. กรุงเทพฯ: นิเวศมตาการพิมพ์.
- พรเทพ ด่านน้อย, อุบลรัตน์ ศิริสุขโกคา, และไพศาล สิมาลาเต่า. (2562). **การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้บริการผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล**. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 11 – 12 กรกฎาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- นัชชา เธอจันทัก, ไพศาล สิมาลาเต่า, และอุบลรัตน์ ศิริสุขโกคา. (2565). **การพัฒนาต้นแบบระบบให้คำปรึกษาแบบโต้ตอบโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงด้วยเว็บโมบายและเว็บแอปพลิเคชัน**. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 7 – 8 กรกฎาคม 2565 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). **การวิจัยเบื้องต้น** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- มนตรีธรรม์ สมหมาย, ชนัญญา จิระพรกุล, และเนาวรัตน์ มณีนิล. (2564). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการควบคุมระดับน้ำตาลสะสมไม่ได้ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่เป็นผู้สูงอายุ จังหวัดยโสธร : การศึกษาแบบจับคู่ย้อนหลัง. **วารสารควบคุมโรค**, 47(2), 289-299.
- มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2560). **สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2560**. นครปฐม: สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รัชชานันท์ ศรีสุภักดิ์, ประภากร ศรีสว่างวงศ์, ปภาวี รัตนธรรม, และพัชระ นาเส็งยม. (2562). **นวัตกรรมโมบายแอปพลิเคชันเพื่อการดูแลสุขภาพส่วนบุคคลสำหรับผู้สูงอายุ**. (รายงานการวิจัย). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- วิลาสินี หงสนันท์, และศุภชัย อินสุข. (2562). การพัฒนาแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันทางสุขภาพของไทย. **วารสารเภสัชกรรมไทย**, 11(1), 181-193.
- วุฒิพงศ์ ชินศิริ, และศิริวรรณ วาสุกี. (2558). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการวิเคราะห์ข้อสอบปรนัย.

- วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 10(1), 1-17.
- ศิริพล แสนบุญส่ง. (2559). การพัฒนาเว็บไซต์คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาด้วยระบบบริหารจัดการเนื้อหาบนเว็บไซต์. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 10(2), 117-128.
- อมีนา ฉายสุวรรณ, และชุมพล จันทรฉลอง. (2566). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันพจนานุกรมคำศัพท์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 18(2), 29-44.
- อังคินันท์ อินทรกำแหง, และแม่ค้ำสกลิ แอน. (2562). การประเมินและการสร้างเสริมความรอบรู้ด้านสุขภาพและสภาวะครอบครัวกลุ่มเสี่ยงโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง: การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุทางวัฒนธรรมของพฤติกรรมสุขภาพและโปรแกรมจิตวิทยาเชิงบวกและความรอบรู้ด้านสุขภาพ: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bloom, B. S., Madaus, G. F., & Hastings, J. T. (1971). *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. New York: McGraw-Hill.
- Karuranga, S., Fernandes, J. d. R., Huang, Y., & Malanda, B. (2017). *IDF Diabetes Atlas*. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation.
- King, A. C., et al. (2016). Effects of three motivationally targeted mobile device applications on initial physical activity and sedentary behavior change in midlife and older adults: a randomized trial. *PLoS one*, 11(6), e0156370. doi:10.1371/journal.pone.0156370
- Orem, D. E. (2001). *Nursing: Concepts of practice*. (6th ed.). St.Louis, MO: Mosby.
- Reamrimmadun Y., Jaidee W., Wattanaburanon A. (2024). A Causal Relationship Model of Health Literacy, Self-Efficacy Perception, Self-Care Behaviors on Blood Sugar Levels among Elderly people with Type 2 Diabetes. *Journal of Health Sciences*, 14(1).
- Sun, H., Saeedi, P. et al. (2022). IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice*, 183, 109119. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>
- Yangchen T., & Chintakovid T. (2014). *Mobile phone Applications design Quideline for the future generation of elderly users*. International Conference on Trends in Multidisciplinary Business and Economics Research, 27-28 March 2014, Bangkok, Thailand.

ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุ

รัฐศาสตร์ เต็นชัย^{1*} สุรพงษ์ รัตน์ะ²

Received : July 7, 2023

Revised : February 7, 2024

Accepted : March 22, 2024

บทคัดย่อ

ตรีธาตุ ประกอบด้วยสมุนไพร 3 ชนิด คือ เปลือกอบเชย (*Cinnamomum verum* J. Presl.) เมล็ด กระวาน (*Amomum testaceum* Ridl.) และดอกจันทน์เทศ (*Myristica fragrans* Houtt.) ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 มีสรรพคุณ แก้อาการท้องเสีย แก้ลม แก้เสมหะ แก้ไข้ บำรุงดวงจิต แก้ปวดมดลูก ปลูกธาตุอันดับให้เจริญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุ ทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือน้ำ เอทานอลร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 95 นำสารสกัดมาศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุ พบว่าสารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด ในวิธี DPPH โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 10.72±0.20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก ($p < 0.05$) และวิธี FRAP สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด มีค่าไมโครโมลาร์สมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมสารสกัดเท่ากับ 1.79±0.05 มิลลิโมลาร์สมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัด มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานคือกรดแอสคอร์บิกและแอลฟาโทโคฟีรอล ($p < 0.05$) และการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า สารสกัดด้วยน้ำ มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 2.62±0.32 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด

คำสำคัญ: กระวานไทย ดอกจันทน์ ตำรับยาตรีธาตุ ฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อบเชย

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาการแพทย์แผนไทย คณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา

อีเมล: rathazart_d@hotmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

อีเมล: surapong.r@npu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: rathazart_d@hotmail.com

TOTAL PHENOLIC CONTENTS AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF THE EXTRACT OF TRI-CHATIKA PHARMACOPOEIA

Rattazart Denchai^{1*} Surapong Rattana²

Abstract

The Tri-Chatika formula contains three types of herbs: cinnamon bark (*Cinnamomum verum* J. Presl.), cardamom seeds (*Amomum testaceum* Ridl.), and mace (*Myristica fragrans* Houtt) in a 1:1:1 ratio. The Tri-Chatika formula possesses properties to relieve dyspepsia, flatulence, clear excess phlegm, reduce fever, nourish the mind, relieve uterine pain, and promote a well-balanced body composition of the four elements. The objective of this research was to investigate the total phenolic and antioxidant capacity of the Tri-Chatika pharmacopoeia using four extract solvents: water, 50% ethanolic, 80% ethanolic, and 95% ethanolic. The extracts were analyzed for antioxidant activities using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assays, and the total phenolic contents were determined using the Folin-Ciocalteu assay. The results showed that the 95% ethanolic extract of the Tri-Chatika formula exhibited the highest antioxidant activities in the DPPH assay ($EC_{50} = 10.72 \pm 0.20 \mu\text{g/ml}$), with differences observed compared to the ethanolic extract and standard ascorbic acid ($p < 0.05$). The Tri-Chatika formula also exhibited the highest antioxidant activities in the FRAP assay ($1.79 \pm 0.05 \text{ mM Fe}^{2+} \text{ equivalent/g extract}$), with differences observed among the ethanolic extract, standard ascorbic acid, and α -Tocopherol ($p < 0.05$). Upon investigating the total phenolic contents of the Tri-Chatika formula, it was found that the phenolic content was $2.62 \pm 0.32 \text{ mg gallic acid equivalent/g extract}$ when extracted with water.

Keywords: *Amomum krervanh*, *Myristica fragrans*, Tri-Chatika pharmacopoeia, Total Phenolic, Antioxidant activities, *Cinnamomum verum*

¹ Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of Allied Health Sciences, Nakhonratchasima College,
e-mail: rathazart_d@hotmail.com

² Division of Science Education, Faculty of Education, Nakhon Phanom University,
e-mail: surapong.r@npu.ac.th

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

บทนำ

ประเทศไทยมีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน และในปัจจุบันได้รับความนิยมนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ยารักษาโรค ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เวชสำอาง และเครื่องสำอาง เป็นต้น พฤติกรรมของผู้บริโภคมีการหันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติมากขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลข้างเคียงจากการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์สมุนไพรหรือผลิตภัณฑ์เวชสำอางจากสมุนไพรไทยให้มีคุณภาพมาตรฐาน และความปลอดภัยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง รวมถึงการสนับสนุนของรัฐบาลโดยกำหนดแผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทย ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560-2564 ที่มีเป้าหมายส่งเสริมผลิตผลของสมุนไพรที่มีศักยภาพ พัฒนาอุตสาหกรรมและตลาดสมุนไพรให้มีคุณภาพระดับสากล สนับสนุนการใช้สมุนไพรเพื่อการรักษาโรคและการส่งเสริมสุขภาพอย่างยั่งยืน (กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข, 2559) อย่างไรก็ตามยังมีสมุนไพรอีกจำนวนมากที่ยังขาดข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์ รวมถึงพิกัดยาตรีธาตุ ที่เป็นพิกัดยาสมุนไพรพิกัดหนึ่งที่มีการใช้มาตั้งแต่อดีต แต่ยังขาดข้อมูลการวิจัยด้านฤทธิ์ทางชีวภาพ

ตรีธาตุ (ตรีชาติ) ประกอบด้วยสมุนไพร 3 ชนิด คือ เปลือกอบเชย (*Cinnamomum verum* J. Presl.) เมล็ดกระวาน (*Amomum testaceum* Ridl.) และดอกจันทน์เทศ (*Myristica fragrans* Houtt.) (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข, 2559) การนำสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดนี้มารวมแต่ละอย่างมีน้ำหนักรวมหรือเท่ากัน เรียกว่า พิกัดตรีธาตุ หากตัวยามีน้ำหนักยาไม่เท่ากัน เรียกว่า มหาพิกัด (มูลนิธิฟื้นฟูส่งเสริมการแพทย์ไทยเดิมฯ อายurveda วิทยาลัย (ชีวโกมารภักจ), 2548) และจากสรรพคุณสมุนไพรเดี่ยวในตำรับยามีชื่อของ อบเชย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cinnamomum verum* J. Presl. อบเชยเป็นเครื่องยา และเครื่องเทศ ที่ได้จากการชูดเอาเปลือกชั้นนอกออกให้หมด แล้วลอกเปลือกชั้นในออกจากแก่นลำต้น โดยใช้มีดกรีดตามยาวของกิ่ง แล้วรวบรวมนำไปผึ่งที่ร่มสลับกับการนำออกตากแดดประมาณ 5 วัน ขณะตากใช้มือม้วนขอบทั้งสองข้างเข้าหากัน จนเปลือกแห้งจึงมัดรวมกัน เปลือกอบเชยที่ดีจะมีสีน้ำตาลอ่อน (สีสนิม) มีความตรงและบางสม่ำเสมอ ยาวประมาณ 1 เมตร มีกลิ่นหอมเฉพาะ รสสุขุม เผ็ด หวานเล็กน้อย (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์, 2551) กระวาน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amomum krevanh* Pierre ex Gagnep. ตามสรรพคุณตำรายาไทย ผลแก่ มีรสเผ็ดร้อน กลิ่นหอม ใช้แก้อาหารท้องอืด ท้องเฟ้อ ช่วยขับลม และแก้แน่นจุกเสียด มีฤทธิ์ขับลม และบำรุงธาตุ แก้อาการไม่ปกติ บำรุงกำลัง ขับโลหิต แก้อลมในอกให้ปิตธาตุ แก้อลมเสมหะให้ปิตธาตุ แก้อลมในลำไส้ เจริญอาหาร รักษาโรครำมะนาด แก้อลมสันนิบาต แก้อลมอีก แก้อัมพาตรักษาอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน เมล็ด แก้อาการพิการ อุจจาระพิการ บำรุงธาตุ ขับเสมหะ แก้อืดท้อง ขับลม (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์, 2551) ดอกจันทน์ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Myristica fragrans* Houtt. ลักษณะภายนอกของเครื่องยาดอกจันทน์ (mace) คือส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด ลักษณะเป็นริ้วสีแดง

จัด ดูเหมือนร่างแห เป็นแผ่นบางมีหลายแฉกหุ้มเมล็ด มีกลิ่นหอม รสขม ผาต เผ็ดร้อน มีสรรพคุณบำรุงโลหิต บำรุงธาตุ ขับลม แก้ปวดมดลูก แก้ท้องร่วง บำรุงกำลัง บำรุงผิวเนื้อให้เจริญ น้ำมันระเหยง่ายใช้เป็นส่วนผสมของ ขี้ผึ้งที่ใช้ทาาระงับความปวด ใช้ขับประจำเดือน ทำให้แห้ง ทำให้ประสาทหลอน ประเทศอินโดนีเซียใช้บำรุงธาตุ แก้ปวดข้อ กระดูก (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์, 2551)

ดังนั้นผลของการวิจัยในครั้งนี้ จึงเป็นแนวทางในการพิสูจน์ว่าสารละลายที่เหมาะสมต่อการสกัดจาก ตำรับยาตรีธาตุที่มีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระที่ดี เพื่อการสนับสนุนภูมิปัญญาทางการแพทย์แผนไทยและสร้างความเชื่อมั่นต่อประโยชน์ของตำรับยาตรีธาตุมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัด

1.1 นำสมุนไพรแห้งทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย กระวานไทย อบเชย และดอกจันทน์ มาทำการ คัดเลือกสิ่งปลอมปนหรือสิ่งแปลกปลอมออก แล้วนำไปล้างทำความสะอาดและหั่นเป็นชิ้น จากนั้นจึงนำไปอบใน ตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทกันแสง จนกว่าจะนำไปใช้

1.2 นำสมุนไพรที่ได้เตรียมไว้ในข้อ 1.1 ทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วยกระวานไทย อบเชย ดอกจันทน์ มาทำการชั่งน้ำหนักในอัตราส่วน 1:1:1 นำมาผสมกันเป็นตำรับยาตรีธาตุ และนำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิดคือ น้ำ เอทานอล ร้อยละ 50 เอทานอล ร้อยละ 80 เอทานอลร้อยละ 95 แล้วนำสารสกัดที่ได้ไประเหย แห้งด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบหมุนด้วยแรงดัน (Rotary evaporator) และนำไประเหยแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง เยือกแข็งแบบระเหิดในสุญญากาศ (Freeze dry) จากนั้นเก็บตัวอย่างสารสกัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป แล้วคำนวณหาร้อยละของสารสกัด (% yield) จากสมการที่ 1 แล้วจึงนำเก็บในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

สมการที่ 1

$$\% \text{ Yield} = \left[\frac{\text{น้ำหนักของส่วนสกัดหยาบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของพืชตัวอย่าง (กรัม)}} \right] \times 100$$

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ดัดแปลงจาก พัชรินทร์ บุญหล้า และคณะ, 2557) เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ในเมทานอล ปิเปตสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุหรือสารมาตรฐาน แต่ละความเข้มข้นปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตรใส่ใน 96-well plate ตั้งทิ้งไว้ที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลีนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis microplate reader (BMG Labtech รุ่น: Spectrostar Nano) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ซ้ำ หาค่า % radical scavenging จากสมการที่ 2 จากนั้นนำค่า % Inhibition คำนวณค่า EC₅₀ (ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถกำจัดอนุมูล DPPH ได้ร้อยละ 50) โดยการสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างและ % inhibition

$$\% \text{ DPPH radical scavenging} = [(OD_{\text{control}} - OD_{\text{sample}}) / OD_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ OD_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ในเมทานอล

OD_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ร่วมกับสารสกัดตัวอย่างในเมทานอล

2.2 การทดสอบฤทธิ์ด้วยวิธี FRAP

ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างด้วยวิธี FRAP (Benzie & Strain, 1996) เทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน คือ Ascorbic acid และ α -tocopherol ทำการเตรียมสารตัวอย่าง ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสารละลาย FRAP Reagent โดยผสม 300 มิลลิโมลาร์ Acetate buffer (pH 3.6), 20 มิลลิโมลาร์ Ferric chloride solution และ 10 มิลลิโมลาร์ TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine ใน 40 mM HCl) อัตราส่วน 10:1:1 จากนั้นนำสารตัวอย่างปริมาตร 10 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใน 96-well microplate แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วย 96-well microplate reader ทำการทดลองตัวอย่างละ 6 ครั้ง นำค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ได้เทียบกับโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate (FeSO₄) แสดงค่าในรูปของมิลลิโมลาร์สมมูลของ Fe²⁺ ต่อกรัมสารสกัด (mM Fe²⁺ equivalent/g sample extract)

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ใช้วิธี Folin-Ciocalteu (Gong et al., 2012) และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง Microplate reader โดยเตรียมสารมาตรฐาน gallic acid ที่ความเข้มข้น 3.90, 7.81, 15.62, 31.25, 62.50, 125, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำกลั่น และเตรียมสารสกัดตัวอย่างเจือจาง 1:3 โดยปริมาตร โดยปิเปตสารละลายสารสกัดตัวอย่างที่ได้จากการสกัด 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 1.5 มิลลิลิตร ในขวดใส่สารพลาสติกขนาด 2 มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ผสมกับ Folin-Ciocalteu reagent

(เจือจางด้วยน้ำ 1:5 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติม NaOH 0.35 โมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใน หลุมไมโครเวลเพลท ที่ง้วนาน 3 นาที ที่อุณหภูมิ ห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายที่ยังไม่เติมสารตัวอย่าง (blank) หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดโดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย gallic acid ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรด แกลลิกต่อกรัมของสารสกัด 1 กรัม (mg GAE/g of crude extract)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า EC_{50} และใช้สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance: One-way ANOVA)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

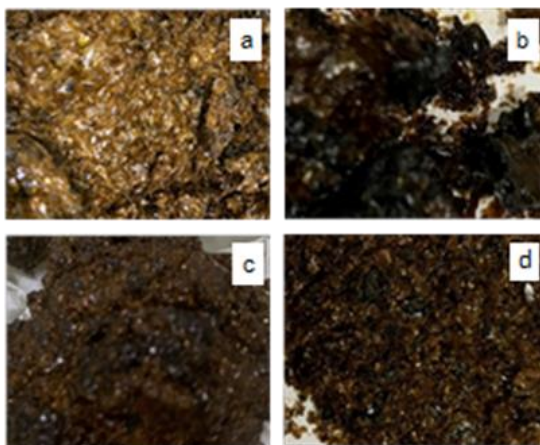
ผลการวิจัย

1. ผลการสกัดตำรับยาตรีธาตุ

จากการนำผงตำรับยาตรีธาตุมาสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ เอทานอลร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 95 พบว่า สารสกัดด้วยน้ำ มีลักษณะเป็นผง สีน้ำตาล สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 มีลักษณะเป็นผง สีน้ำตาลดำ สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 มีลักษณะเป็นผง สีน้ำตาลดำ และสารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 มีลักษณะเป็นผง สีน้ำตาลดำ ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 เมื่อชั่งน้ำหนักแห้งและคิดร้อยละของสารสกัด พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 มีร้อยละของการสกัดสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 14.21 สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 คิดเป็นร้อยละ 12.84 สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50 คิดเป็นร้อยละ 10.74 และสารสกัดด้วยน้ำ มีร้อยละของการสกัดต่ำที่สุด คิดเป็นร้อยละ 8.36 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละน้ำหนักสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุ

ชนิดตัวทำละลาย	น้ำหนักผงยา (กรัม)	น้ำหนักสารสกัด (กรัม)	ร้อยละของผลผลิต
น้ำ	300	38.53	8.36
เอทานอลร้อยละ 50	300	25.08	10.74
เอทานอลร้อยละ 80	300	42.63	12.84
เอทานอลร้อยละ 95	300	32.21	14.21



ภาพที่ 1 ลักษณะของสารสกัดจากต๋ำรับยาตรีธาตุ

- (a) สารสกัดด้วยน้ำ
- (b) สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95
- (c) สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80
- (d) สารสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 50

2. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากต๋ำรับยาตรีธาตุ ด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ เอทานอลร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 95 ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และคำนวณค่า 50% Effective Concentration (EC₅₀) เปรียบเทียบกับ Ascorbic acid พบว่า สารสกัดจากต๋ำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอลร้อยละ 95 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด มีค่า EC₅₀ = 10.72±0.20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ สารสกัดจากต๋ำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอลร้อยละ 50 มีค่า EC₅₀ = 27.45±0.94 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดจากต๋ำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอลร้อยละ 80 มีค่า EC₅₀ = 36.66±0.47 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารสกัดจากต๋ำรับยาตรีธาตุด้วยน้ำ มีค่า EC₅₀ = 63.87±0.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

สารสกัดตรีธาตุ	EC ₅₀ (µg/ml) (Mean ± S.D., n=5)
น้ำ	63.87 ± 0.50 ^e
เอทานอลร้อยละ 50	27.45 ± 0.94 ^d
เอทานอลร้อยละ 80	36.66 ± 0.47 ^c
เอทานอลร้อยละ 95	10.72 ± 0.20 ^b
Ascorbic acid	2.40 ± 0.07 ^{a*}

หมายเหตุ a, b, c, d, e อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

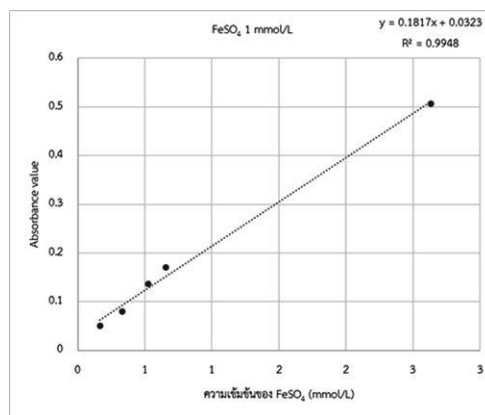
2.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือน้ำ เอทานอลร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 95 ด้วยวิธี Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน คือ ascorbic acid และ α -tocopherol โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นของ FeSO_4 เป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ดังแสดงภาพที่ 2 และรายงานค่าเป็นมิลลิโมลาร์สมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัด (mM Fe^{2+} equivalent/g extract) พบว่า สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอล ร้อยละ 95 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอล ร้อยละ 80 สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอลร้อยละ 50 และสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยน้ำ มีค่ามิลลิโมลาร์สมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดเท่ากับ 1.79 ± 0.05 , 1.73 ± 0.05 , 0.76 ± 0.01 และ 0.27 ± 0.03 มิลลิโมลาร์สมมูลของเฟอร์รัสไอออนต่อกรัมของสารสกัดตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

สารสกัดตรีธาตุ	mM Fe ²⁺ equivalents/g extract (Mean \pm S.D., n=6)
น้ำ	0.27 ± 0.03^c
เอทานอลร้อยละ 50	0.76 ± 0.01^b
เอทานอลร้อยละ 80	1.73 ± 0.05^a
เอทานอลร้อยละ 95	$1.79 \pm 0.05^{a*}$
Ascorbic acid	30.16 ± 1.16
α -Tocopherol	9.00 ± 1.22

หมายเหตุ a, b, c อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานสารละลาย FeSO_4 (n = 3)

3. การศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ เอทานอลร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 95 พบว่า สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยน้ำ เอทานอลร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 95 มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 2.62 ± 0.32 , 2.21 ± 0.42 , 0.43 ± 0.06 , และ 0.52 ± 0.03 มิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อกรัมสารสกัดตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic) ของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุ

สารสกัดตรีธาตุ	Gallic acid Equivalent (mg GAE/g extract) (Mean \pm S.D., n=6)
น้ำ	2.62 ± 0.32^a
เอทานอลร้อยละ 50	0.52 ± 0.00^c
เอทานอลร้อยละ 80	0.43 ± 0.06^d
เอทานอลร้อยละ 95	2.21 ± 0.42^b

หมายเหตุ a, b, c, d อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

อภิปรายผล

การศึกษาร้อยละของผลผลิต (% yield) พบว่า การใช้เอทานอลร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายให้ผลผลิตสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 14.21 สอดคล้องกับการศึกษาของอรพิน เกิดชูชื่น และคณะ (2553) รายงานว่าการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายให้ค่าร้อยละของผลผลิตสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum ether) ในการสกัดสารสกัดหยาบจากพริกไทยขาว พลูและขึ้นฉ่าย สอดคล้องกับการศึกษาของจิราภรณ์ บุราคร และเรื่อนแก้ว ประพฤติ (2555) รายงานว่าการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายให้ค่าร้อยละของผลผลิตสูงที่สุดในการสกัดสารสกัดหยาบจากโหระพา คิดเป็นร้อยละ 34.65 เมื่อเปรียบเทียบกับเมทานอลและน้ำเป็นตัวทำละลาย มีค่าร้อยละของผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 20.00 และ 4.10 ตามลำดับ และมีรายงานสนับสนุนของจาตุรงค์ จงจิ้น (2557) รายงานว่าร้อยละของผลผลิตจากสารสกัดหยาบใบสาบเสือมีค่าสูงเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย คิดเป็นร้อยละ 18.34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ให้ผลผลิตสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการเลือกตัวทำละลายควรพิจารณาถึงความสามารถในการละลายสารสำคัญมากที่สุด และควรพิจารณาถึงความคงตัว หาได้ง่าย ราคาถูก ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ไม่ระเหยง่ายหรือยากเกินไป และเหมาะสมต่อการสกัดตามสภาพของสมุนไพร (จักรรินทร์ ศรีวิไล และพิพรธพงศ์ จบมะรุ่ม, 2551)

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ เอทานอลร้อยละ 95 เอทานอลร้อยละ 80 และเอทานอลร้อยละ 50 พบว่า ในการทดสอบทั้ง 2 วิธี สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอลร้อยละ 95 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 10.72 ± 0.20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และถ้าค่า EC_{50} ต่ำกว่า 65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรแสดงว่ามีฤทธิ์ดีมาก (Gomes de Melo et al., 2010) ในขณะที่การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลด้วยวิธี FRAP พบว่า สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยเอทานอลร้อยละ 95 และร้อยละ 80 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sindhe et. al. (2013) และรัฐศาสตร์ เด่นชัย และคณะ (2564) ที่พบว่า สารสกัดเอทานอลของสมุนไพรให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดน้ำ

การศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุในครั้งนี้ พบว่า สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุด้วยน้ำมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด แต่สารสกัดน้ำแสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากสารสกัดน้ำมีสารกลุ่มแทนนินออกมาด้วย เนื่องจากแทนนินให้ผลบวกกับการหาปริมาณฟีนอลิก เนื่องจากในโมเลกุลแทนนินมีโครงสร้างของกลุ่มฟีนอล สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของคัปรอบทางเคมีของสารสกัดจากเปลือกอบเชยด้วยน้ำมีแทนนินเป็นองค์ประกอบ (Saeed et. al., 2020) และการศึกษาของ Kim (2013) พบว่า สารสกัดผลพีชตระกูลส้มมีค่า Total tannin ในสารสกัดน้ำสูงกว่าสารสกัดเอทานอล และค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดชั้นเอทานอลให้ฤทธิ์ดีกว่าสารสกัดชั้นน้ำ เนื่องแทนนินบางชนิดมีโครงสร้างใหญ่ (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2547) และเมื่อเปรียบเทียบกับสารกลุ่มกรดฟีนอลิก (Phenolic acid) ที่ได้จากชั้นเอทานอลทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของ DPPH และ FRAP (โอภา วัชระคุปต์, 2550) แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ตัวทำละลายและการนำปริมาณสารสกัดมาใช้ควรศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษประกอบด้วย (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2547)

สรุป

ในการศึกษานี้สารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ให้ร้อยละของผลผลิตสูงที่สุด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งวิธี DPPH และวิธี FRAP ดีที่สุด และสารสกัดจากตำรับยาตรีธาตุที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด

รัฐศาสตร์ เด่นชัย, ผลิตา ไพบูลย์, นพวรรณ พรศิริ, และสุรพงศ์ รัตน์. (2564).ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ สารฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดมะหาด (*Lepisanthes rubiginosa*). **วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร**, 43(2), 1-9.

รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2547). การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพรร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข. (2559). **พจนานุกรมศัพท์แพทย์และเภสัชกรรมไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2559**. กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน.

โอภา วัชรคุปต์. (2550). **สารต้านอนุมูลอิสระ = Radical scavenging agents**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: พิมพ์ลักษณ์.

อรพิน เกิดชูชื่น, ณีฐฐา เลาทกุลจิตต์, และมณฑาทาญจน์ ชนะภัย. (2553). คุณลักษณะสารสกัดจากพืชวงศ์ Apiaceae และ Piperaceae จำนวน 4 ชนิด. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต**, 3, 35-44.

Benzie, I. F. F., & Strain, J.J. (1996). The Feric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

Gong, Y., Liu, X., He, W. -H., Xu, H. -G., Yuan, F., & Gao, Y. -X. (2012). Investigation into the antioxidant activity and chemical composition of alcoholic extracts from defatted marigold (*Tagetes erecta* L.) residue. **Fitoterapia**, 83(3), 481-489. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2011.12.013>.

Gomes de Melo, J., De Sousa Araújo, T. A., Thijian Nobre de Almeida e Castro, V., Lyra de Vasconcelos Cabral, D., Do Desterro Rodrigues, M., Carneiro do Nascimento, S., Cavalcanti de Amorim, E. L., et al. (2010). Antiproliferative activity, antioxidant capacity and tannin content in plants of Semi-Arid Northeastern Brazil. **Molecules**, 15(12), 8534–8542. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules15128534>.

Kim J. S. (2013). Preliminary evaluation for comparative antioxidant activity in the water and ethanol extracts of dried citrus fruit (*Citrus unshiu*) peel using chemical and biochemical *in Vitro* assays. **Food and Nutrition Sciences**, 4(2), 177-188.

Saeed, M., Erwa, I., Ahmed, H., Ramadhani, A., & Ishag, O. (2020). Phytochemical Screening, Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Cinnamon verum* Bark.

International Research Journal of Pure and Applied Chemistry, 21, 36-43.

Sindhe, M. A., Yadav, D. B., & Chandrashekar A. (2013). Antioxidant and *In Vivo* anti-hyperglycemic activity of *Muntingia calabura* leaves extracts. **Der Pharmacia Lettre**, 5, 427-435.

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสินค้าภายในคลังสินค้าโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์

กิตติศักดิ์ แสนราช¹ คณินิต ปทุมมาเกษร^{2*} อเนก เทียนบุชา³

Received : July 7, 2023

Revised : February 11, 2024

Accepted : March 22, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสินค้าภายในคลังสินค้าโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบปรับปรุงพื้นที่ของคลังสินค้าโดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ และเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้า จากการศึกษารวบรวมข้อมูลพบปัญหาการส่งสินค้าไปยังสาขาต่าง ๆ นั้นมีปริมาณไม่ถูกต้อง สินค้าผิดขนาด คุณลักษณะไม่ตรงตามความต้องการ ทำให้ต้องมีการส่งสินค้ากลับไปยังคลังสินค้าและรอสินค้าส่งกลับมาทดแทนซึ่งเป็นการสูญเสียต้นทุนและเวลา จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการจัดสินค้าผิดพลาดด้วยแผนภาพสาเหตุและผล หามาตรฐานแก้ไขปัญหานำเอาการวิเคราะห์แบบเอปซีมาแบ่งประเภทของสินค้าเพื่อออกแบบพื้นที่ของคลังสินค้า นำเสนอแนวทางของการหยิบจัดสินค้าเพื่อลดเวลาและระยะทางของการจัดหยิบสินค้าตามใบขอโอนสินค้า การสร้างจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Flexsim เพื่อการออกแบบปรับปรุงพื้นที่คลังสินค้าและทดสอบประมวผลโปรแกรมการจัดสินค้าตามใบขอโอนตามโมเดลที่นำเสนอ พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานแบบเดิมของพนักงาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้านเวลาของโมเดล 1 และโมเดล 2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 36.97 และร้อยละ 48.97 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการทำงานด้านระยะทางของโมเดล 1 และโมเดล 2 เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 23.98 และร้อยละ 32.36 ตามลำดับ ผลการดำเนินงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงกับการบริหารจัดการคลังสินค้าของบริษัทได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า การจำลองสถานการณ์ ประสิทธิภาพ

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม อีเมล: kittisak.san64@chandra.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม อีเมล: kanuengnit.p@chandra.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม อีเมล: anek.t@chandra.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: kanuengnit.p@chandra.ac.th

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF THE PICKING PROCESS IN WAREHOUSES USING SIMULATION TECHNIQUES

Kittisak Sanrat¹ Kanuengnit Patoommakesorn^{2*} Anek Thienboocha³

Abstract

This research on the efficiency improvement of the picking process in the warehouse, using simulation techniques, aimed to design an improvement plan to enhance the efficiency of warehouse areas through simulation techniques and propose ways to improve the efficiency of product picking processes according to goods transfer requisitions. The study revealed that the problems in delivering products to branches included incorrect quantities, sizes, brands, and specifications that did not meet goods transfer requisitions. Consequently, products were sent back, awaiting replacement, which affected costs and time consumption. Subsequently, data were analyzed to identify the causes of product misordering using cause-and-effect diagrams to determine problem-solving measures. An ABC analysis of product assortment was conducted to design space placement in the warehouse. Picking guidelines were then proposed to reduce staff time and distance. Warehouse space improvement designs were created through simulations using Flexsim, and picking and handling were tested according to the presented models. As a result, efficiency increased compared to traditional staff work. The efficiency improvement in Model 1 and Model 2, based on time performance test results, increased by 36.97 percent and 48.97 percent, respectively, while the distance performance of Model 1 and Model 2 increased by 23.98 percent and 32.36 percent, respectively. The findings of this research can be effectively applied to the company's warehouse management.

Keywords: Warehouse management, Simulation, Efficiency

¹ Department of Manufacturing Engineering and Energy Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, e-mail: kittisak.san64@chandra.ac.th.

² Assistance Professor, Department of Manufacturing Engineering and Energy Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, e-mail: kanuengnit.p@chandra.ac.th.

³ Assistance Professor, Department of Manufacturing Engineering and Energy Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, e-mail: anek.t@chandra.ac.th.

* Corresponding author, e-mail: kanuengnit.p@chandra.ac.th.

บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจเพื่อสุขภาพประเภทนวดสปาเป็นการบริการเพื่อสุขภาพที่ช่วยผ่อนคลายร่างกาย จิตใจ และจิตวิญญาณ (body, mind and spirit) ซึ่งมีหลายวิธีที่ช่วยเสริมสร้างความสวยงาม สุขภาพที่ดีด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การนวดร่างกาย การบำบัด การนวดโดยอาจใช้ส่วนผสมของพืชธรรมชาติมาแปรรูปเพื่อเสริมคุณประโยชน์ต่อร่างกาย การบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพรวมทั้งการบริการเพื่อสุขภาพ ความงาม และชะลอวัย เป็นต้น ธุรกิจนวดสปายายเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันกันในตลาดของธุรกิจนวดสปาทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ธุรกิจนวดสปามีส่วนบริการนวดร่างกาย การบำบัด อีกทั้งยังมีการจัดส่งสินค้าสำหรับนวดสปา สินค้าเพื่อสุขภาพ ไปยังสาขาต่าง ๆ และช่องทางจัดจำหน่าย บริหารจัดการการจัดส่งสินค้าจากศูนย์คลังสินค้าที่สามารถเก็บรักษา จัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าอย่างถูกต้อง รวดเร็วและปลอดภัย ในประเทศไทยบริษัท SG จำกัด ดำเนินการธุรกิจประเภทนวดสปาทั้งหมด 30 สาขาทั้งในประเทศและต่างประเทศ อีกทั้งยังดำเนินธุรกิจนำเข้าและจัดจำหน่ายสินค้าเกี่ยวกับสปา และผลิตภัณฑ์เสริมความงามในประเทศ ทางบริษัทจึงมีคลังสินค้าขนาดใหญ่เพื่อรับเข้าผลิตภัณฑ์ จัดเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และเตรียมผลิตภัณฑ์ตามรายการสินค้าหรือเรียกว่าใบขอโอนสินค้าเพื่อส่งไปตามสาขาต่าง ๆ คลังสินค้าจึงเป็นหน่วยงานหนึ่งที่สำคัญในการบริหารจัดการสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดจากการจัดเก็บ การขนย้าย การบรรจุสินค้า หรือต้องดูแลรักษาสินค้าที่ระบุนานหลายอายุ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสปา สุขภาพและความงาม การบรรจุการจัดส่งผลิตภัณฑ์จึงต้องมีความละเอียด ความระมัดระวัง มีการตรวจสอบความถูกต้องทั้งชนิดและจำนวนก่อนจะถูกส่งไปยังสาขาต่าง ๆ ทั่วประเทศ ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาหน่วยงานคลังสินค้าของบริษัท SG จำกัด ได้รับข้อร้องเรียนจากสาขาต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น สินค้าผิวดู รุน จำนวนสินค้าไม่ถูกต้อง เป็นต้น ดังนั้นจึงสำรวจข้อมูลเบื้องต้นระบบการจัดเก็บสินค้า ระบบการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้า รวมทั้งสังเกตการณ์ทำงานของพนักงานภายในคลังสินค้า ผลสำรวจในเบื้องต้น พนักงานหาสินค้าไม่พบตามที่ระบุพื้นที่ไว้ทำให้พนักงานสูญเสียเวลาอย่างมากเพื่อค้นหาสินค้า ซึ่งเวลาของพนักงานสำหรับการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้านี้มีค่อนข้างจำกัด เร่งรีบทำงาน ไม่มีระบบการตรวจสอบสินค้าก่อนส่งสินค้าให้กับสาขาต่าง ๆ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ควรได้รับการแก้ไขปรับปรุงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาแนวทางจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ชยุดม บรรเทงจิตร (2561) ได้พัฒนารูปแบบการจัดวางสินค้าใหม่ด้วยการวิเคราะห์แบบเอปซีเพื่อลดเวลาในการขนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า การออกแบบระบบจัดวางสินค้าใหม่นั้นใช้การจำลองสถานการณ์ของผังคลังสินค้าโดยใช้โปรแกรม Flexsim เปรียบเทียบการจำลองสถานการณ์ของคลังสินค้าแบบเก่าและแบบใหม่ ผลการจำลองสถานการณ์ของคลังสินค้าแบบใหม่พบว่าสามารถลดเวลาขนย้ายสินค้าลดลงคิดเป็นร้อยละ 27.27 เช่นเดียวกับงานวิจัยของภักดี ใจชื่อ และไพฑูรย์ ศิริโอฬาร (2565) เลือกรูปแบบการวิเคราะห์ปัญหาการเบิกจ่ายวัตถุดิบของคลังสินค้าโดยใช้ Why Why Analysis มาหาสาเหตุเพื่อหาวิธีการลดข้อผิดพลาดของการส่งวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต และการออกแบบจำลองสถานการณ์สร้างโมเดลต้นแบบเพื่อลดเวลาในการเบิกจ่ายวัตถุดิบผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Flexsim เช่นกัน การใช้โปรแกรม Flexsim สามารถนำไปใช้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ได้อย่างหลากหลาย จารุพงษ์ บรรเทา และคณะ (2560) ได้นำไปประยุกต์ใช้กับหลักการระบบแถวคอย ณ จุดจ่ายยาของโรงพยาบาล เพื่อแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการทำงานและหา

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มากำหนดคุณสมบัติของแต่ละกระบวนการ สามารถตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ และสร้างทางเลือกเพื่อปรับปรุงกระบวนการจ่ายยาได้อีกด้วย เช่นเดียวกับ ดุสิตพล ชมพู และคณะ (2564) นำโปรแกรม Flexsim มาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ระบบแถวคอยหาหน่วยบริการที่เหมาะสม ช่วยลดเวลารอคอยเฉลี่ยทั้งระบบ 24.5 นาทีต่อคน ลดลงเหลือ 13.15 นาทีต่อคน Melynia et al. (2022) และคณะนำโปรแกรม Flexsim และโปรแกรม Promodel ออกแบบพื้นที่คลังสินค้าเพื่อใช้พื้นที่เกิดประโยชน์สูงสุด ลดเวลาการค้นหาวัตถุดิบ การจัดเก็บสินค้าไม่เป็นระบบ และต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งผลการทดสอบการออกแบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งวัตถุดิบมากขึ้นร้อยละ 38.34 และเช่นเดียวกัน Marek (2021) เลือกใช้โปรแกรม Flexsim ทำแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของฝ่ายผลิต นอกจากโปรแกรม Flexsim ยังมีนักวิจัยเลือกใช้โปรแกรมอารีนา (Arena) เช่นนักวิจัย ภาณุพงษ์ ศรีมุงคูล และรักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล (2563) เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า ซึ่งสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมอารีนา การวิเคราะห์แบบ ABC เพื่อออกแบบแผนผังวางสินค้า ผลลัพธ์ที่ได้รับคือประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายสินค้าในด้านระยะทาง เวลา ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 63.09 75.61 และ 62.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการคลังสินค้านั้นมีนักวิจัยเสนอวิธีการอื่น ๆ มากมาย เจนรตชา แสงจันทร์ (2562) นำเสนอเทคนิควิเคราะห์หาเหตุ (Why Why analysis) แผนภูมิการไหล (Flow process chart) เพื่อศึกษากระบวนการไหลของกระบวนการและลดเวลาการปฏิบัติงาน การจัดวางตำแหน่งสินค้าใช้วิธีวิเคราะห์เอฟเอสเอ็น (FSN analysis) ร่วมกับทฤษฎีการเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) ผลลัพธ์ของการวิจัยสามารถลดระยะทางการหยิบสินค้า และง่ายต่อการเบิกจ่ายสินค้าและควบคุมอายุของสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า เทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุและการแก้ปัญหาานั้นจะแตกต่างกันไปตามเหตุปัจจัยที่เกิดขึ้นแต่นักวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเลือกจะใช้แบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมเพื่อลดค่าใช้จ่าย ลดเวลา เพิ่มความแม่นยำของการแก้ปัญหา และสามารถวิเคราะห์ทางเลือกสำหรับการตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุดอีกด้วย

จากปัญหาระยะเวลาจัดสินค้าแต่ละรอบของใบขอโอนสินค้าใช้เวลานานเกินไป การค้นหาสินค้าเป็นเวลานานจัดส่งสินค้าไม่ทัน ความเร่งรีบ จัดสินค้าไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้าจากการจัดเก็บสินค้าไม่เป็นระบบ ใช้พื้นที่ภายในคลังอย่างไม่ประสิทธิภาพ จึงทำให้เกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้าของการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้าของบริษัท SG จำกัด จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการแก้ปัญหาด้วยการวิเคราะห์สาเหตุและผล อ้างอิงจากกิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547) การใช้แผนภูมิการไหล จากรัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม (2552) การวิเคราะห์แบบ ABC จากพจมาน เตียวัฒน์รัฐติกาล (2550) และการสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Flexsim จัดผังคลังสินค้าใหม่ ออกแบบขั้นตอนการจัดสินค้าจำนวนสองโมเดลในการหาแนวทางการทำงานที่ดีที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสินค้าตามใบสั่งซื้อของบริษัท SG จำกัด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบปรับปรุงพื้นที่การจัดวางตำแหน่งของคลังสินค้าโดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์
2. เพื่อเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้า

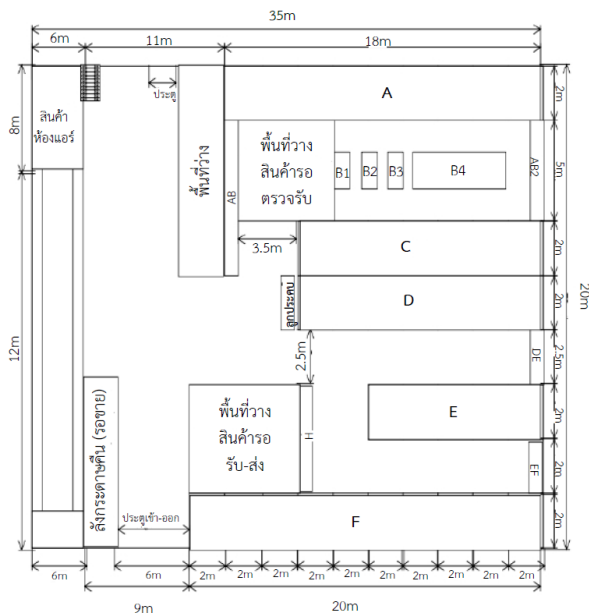
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูลของคลังสินค้า

จากปัญหารายงานข้อร้องเรียนจากลูกค้าของการรับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามใบขอโอนสินค้าในระยะเวลา 3 เดือนที่ผ่านมา พบว่า สินค้าไม่ครบจำนวนตามใบขอโอน สินค้าเกินจำนวน สินค้าผิดประเภทหรือชนิด สินค้าเสียหาย ปัญหาเหล่านี้พบข้อร้องเรียนมากที่สุดจากสาขา LRT ทำให้ส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียเวลา ส่งสินค้าคืนและทดแทนสินค้า ขาดความน่าเชื่อถือ และต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยทราบถึง ปัญหาข้างต้นจึงศึกษาแผนผังการจัดวางสินค้าเดิม ขั้นตอนการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้าของพนักงาน สังเกตวิธีการทำงานของพนักงาน เก็บข้อมูลการใช้เวลาและระยะทางการเดินของการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้าเพื่อจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป

1.1 แผนผังคลังสินค้า (ก่อนปรับปรุง)

จากสำรวจพื้นที่ของคลังสินค้าพบว่าจะมีพื้นที่สำหรับสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิและพื้นที่สำหรับสินค้าไม่ต้องควบคุมอุณหภูมิแต่มีการแยกการจัดเก็บ เช่น พื้นที่ A เป็นสินค้ารองเท้ากระดาษ พื้นที่ AB สเปรย์พ่นเท้า น้ำหอมผ้าหน้า พื้นที่ B2 แก้วชา แก้วกาแฟ และพื้นที่ C ของใช้ทั่วไป เป็นต้น แต่การจัดเก็บบนชั้นวางสินค้าและบนพื้นไม่คำนึงถึงขนาดของสินค้าหรือขนาดกล่องสินค้า สินค้าชนิดหรือประเภทเดียวกันจัดวางรวมกันแต่ไม่มีการแยกขนาดของสินค้า หรือระบุเพศที่สามารถใช้สินค้า ทำให้หยิบสินค้าผิด มีการวางสินค้ากีดขวางทางเดิน การจัดวางพื้นที่ไม่คำนึงถึงสินค้าเคลื่อนไหวเร็ว (Fast moving) สินค้าปกติ (Normal moving) หรือสินค้าไม่เคลื่อนไหว (Dead stock) และพบว่าไม่มีการจัดการและควบคุมสินค้าตามความสำคัญของสินค้า



ภาพที่ 1 แผนผังคลังสินค้าของบริษัท SG จำกัด

1.2 บันทึกเวลาและระยะทางของการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้า ผู้วิจัยเลือกใบขอโอนสินค้าของสาขา LRT และเลือกใบขอโอนสินค้าที่พบปัญหาข้อร้องเรียนมากที่สุด โดยให้พนักงานที่รับผิดชอบการจัดสินค้าของสาขา LRT จำนวน 3 คน ดำเนินการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้าตามสถานการณ์ปกติ ผู้วิจัยบันทึกเวลา ระยะทาง เส้นทางเดิน สังเกตพฤติกรรมการทำงานและบันทึกการทำงาน ดังแสดงตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สำหรับการบันทึกเส้นทางการเดินแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2

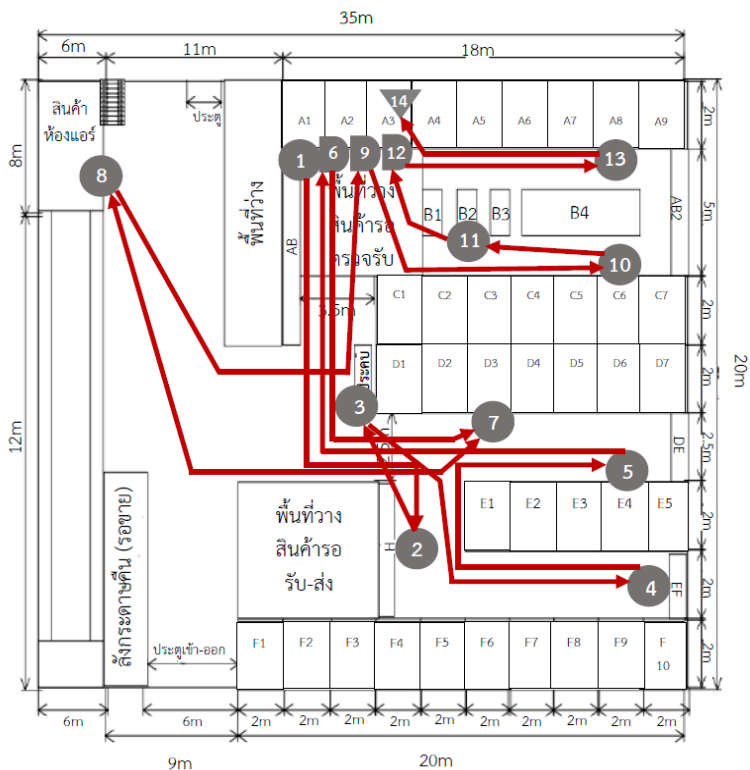
ตารางที่ 1 วิธีการทำงานของการจัดสินค้าตามใบขอโอนของพนักงาน

พนักงาน	วิธีการจัดสินค้า
คนที่ 1	พนักงานได้รับใบขอโอนสินค้าจะดูรายละเอียดของสินค้า ชื่อสินค้า จำนวน ตรวจสอบเช็คตำแหน่งของชั้นวางสินค้าหรือพื้นที่เก็บสินค้า หลังจากนั้นเดินไปหยิบสินค้าตามลำดับรายการในใบขอโอนสินค้า เมื่อสินค้าที่มีปริมาณมากหรือขนาดใหญ่จะใช้รถเข็นในการขนสินค้า เมื่อหยิบสินค้าทั้งหมดแล้วจะจัดเรียงสินค้าอีกครั้งพร้อมตรวจสอบรายการสินค้าและจำนวน การตรวจสอบจำนวนสินค้าพนักงานจะดูตัวเลขบรรจุหน้ากล่อง และถ้ามีเศษส่วนเกินจะนับและหยิบเพิ่มให้ครบตามจำนวนที่ระบุไว้
คนที่ 2	พนักงานได้รับใบขอโอนสินค้าจะดูรายละเอียดของสินค้า ชื่อสินค้า จำนวน ตรวจสอบเช็คตำแหน่งของชั้นวางสินค้าหรือพื้นที่เก็บสินค้า พนักงานเขียนลำดับสินค้าที่จะหยิบสินค้าจากเส้นทางพื้นที่หรือชั้นวางสินค้าที่ไกลมายังตำแหน่งพื้นที่ที่ใกล้สุด การหยิบสินค้าจะนำรถเข็นไปขนย้ายสินค้าทำตำแหน่ง เมื่อหยิบครบตามใบขอโอนสินค้าแล้วจะมาจัดเรียงสินค้าอีกครั้งพร้อมตรวจสอบรายการสินค้าและจำนวนตามที่ระบุไว้หน้ากล่องหรือหน้าถุงของสินค้า
คนที่ 3	พนักงานได้รับใบขอโอนสินค้าจะดูรายละเอียดของสินค้า ชื่อสินค้า จำนวน ตรวจสอบเช็คตำแหน่งของชั้นวางสินค้าหรือพื้นที่เก็บสินค้า พนักงานจะนำรถเข็นเดินไปหยิบสินค้าจะไม่มีลำดับที่แน่นอน แต่เมื่อเดินไปหยิบสินค้าในตำแหน่งใดก็จะหยิบสินค้าที่อยู่บริเวณใกล้เคียงในครั้งเดียว เมื่อหยิบสินค้าทั้งหมดแล้วจะจัดเรียงสินค้าอีกครั้งพร้อมตรวจสอบรายการสินค้าและจำนวนโดยการดูหน้ากล่องหรือฉลากที่ถุงของสินค้า

จากตารางที่ 2 ผลการบันทึกเวลาการทำงานและระยะทางของเส้นทางการเดินจัดสินค้าของพนักงาน ทั้งสามคน ได้เลือกใช้แผนภูมิการไหล (Flow process chart) ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งผลบันทึกแสดงถึงความแตกต่างของระยะทาง และเวลาในการหยิบจัดสินค้าเนื่องจากพนักงานทั้งสามคนมีหลักการและวิธีการทำงานที่ต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลการบันทึกเวลาและระยะทางการจัดสินค้าของพนักงาน

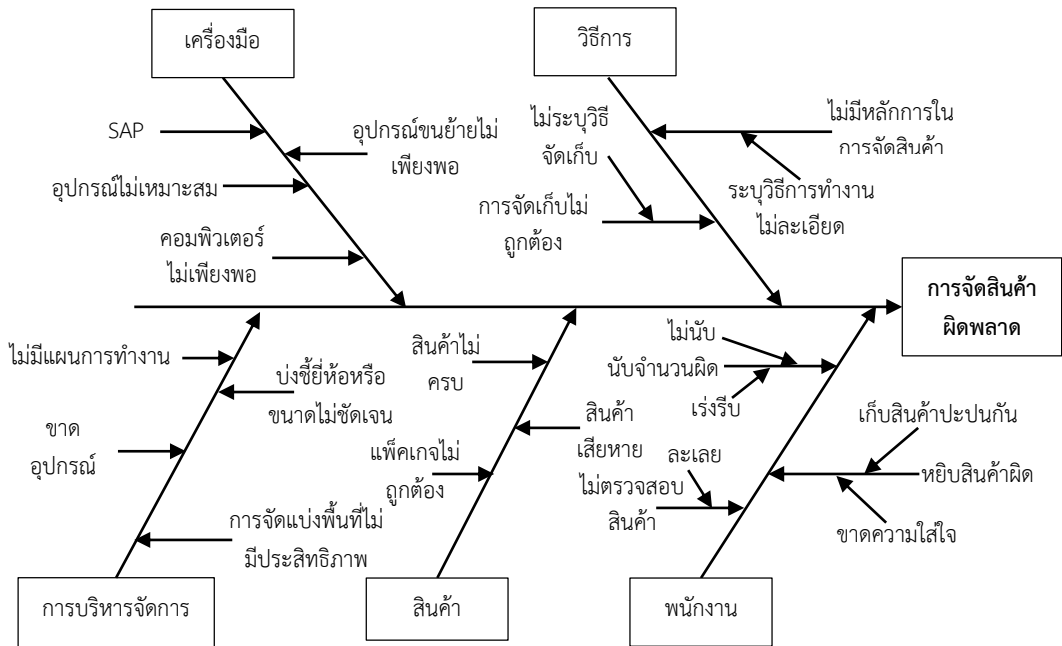
รายการ	พนักงาน 1	พนักงาน 2	พนักงาน 3	เฉลี่ย
ระยะทาง (เมตร)	465.0	425.4	402.8	428.06
เวลา (วินาที)	3,935	3,240	2,880	3,351.66



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการบันทึกแผนภาพการไหลของเส้นทางการเดินหยิบจัดสินค้าของพนักงาน

2. วิเคราะห์ข้อมูลสาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไข

2.1 การวิเคราะห์สาเหตุ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเลือกใช้แผนภาพก้างปลาหรือแผนภาพสาเหตุและผล โดยการระดมสมองของผู้ปฏิบัติงานการจัดสินค้า ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานเพื่อวิเคราะห์สาเหตุดังภาพที่ 3 พบว่าปัจจัยหลักที่นำมาวิเคราะห์สาเหตุประกอบด้วยเครื่องมือหรืออุปกรณ์ วิธีการ พนักงาน สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ และการจัดการบริหาร



ภาพที่ 3 แผนภาพก้างปลา

- 1) ปัจจัยด้านเครื่องมือหรืออุปกรณ์สำหรับขนย้ายสินค้ามีครบถ้วนเพียงพอต่อการทำงานของพนักงานทุกคนจึงไม่มีผลต่อการจัดสินค้าผิดพลาด
- 2) ปัจจัยด้านสินค้าที่มาจากผู้ส่งมอบนั้นทางคลังสินค้าของบริษัทมีกระบวนการตรวจสอบสินค้าก่อนรับเข้าสู่การจัดเก็บของระบบคลังสินค้า จากข้อมูลที่ผ่านมาพบปัญหาจากผู้ส่งมอบน้อยมาก ดังนั้นสาเหตุสินค้าไม่ครบ เสียหาย และบรรจุภัณฑ์ไม่ถูกต้องจึงไม่เป็นสาเหตุของปัญหาการจัดสินค้าผิดพลาด
- 3) ปัจจัยการบริหารจัดการของคลังสินค้าในการออกแบบการจัดวางต่าง ๆ นั้นพบปัญหาการไม่การวางแผนการทำงานล่วงหน้า การบ่งชี้สินค้า ชั้นวาง พื้นที่ไม่ชัดเจน การแบ่งพื้นที่ในการเก็บไม่เป็นหมวดหมู่หรือประเภททำให้เกิดการใช้พื้นที่ไม่มีประสิทธิภาพ
- 4) ปัจจัยด้านวิธีการหรือวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานพบว่ามีความรู้ในการปฏิบัติงานแต่รายละเอียดหรือขั้นตอนในการทำงานไม่ละเอียด ดังนั้นพนักงานจึงมีวิธีการหยิบจับสินค้าแตกต่างกันทำให้เกิดปัญหาในการจัดสินค้าผิดพลาด
- 5) ปัจจัยพนักงาน พนักงานไม่ทราบแผนงานล่วงหน้า พนักงานจะตรวจสอบสินค้าทุกครั้งแต่ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานอย่างละเอียดทำให้ต่างคนทำงานในวิธีของตนเอง มีความเร่งรีบในการทำงาน ส่งผลต่อการทำงาน พนักงานละเลยไม่เอาใจใส่ในการทำงาน เป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดปัญหาการจัดสินค้าผิดพลาด

จากปัจจัยการบริหารจัดการ วิธีการปฏิบัติงาน และพนักงาน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปัญหาการร้องเรียนของลูกค้า จากสาเหตุดังกล่าวจึงหาแนวการแก้ไข ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แนวทางการแก้ไขปัญหา และมาตรการแก้ไขปัญหา

ปัจจัยหลัก	สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย	มาตรการแก้ไขปัญหา
การบริหารจัดการ คลังสินค้า	การจัดแบ่งพื้นที่ไม่มี ประสิทธิภาพ บ่งชี้ยี่ห้อหรือขนาดไม่ ชัดเจน ไม่มีแผนการทำงาน ล่วงหน้า	- ชั้นวางไม่มีการแยก ยี่ห้อหรือขนาด	การจัดการคลังสินค้าคงคลัง ด้วยการวิเคราะห์แบบ ABC หัวหน้าแจ้งแผนการทำงานของ การจัดสินค้าล่วงหน้าแก่พนักงาน อย่างน้อย 1 วัน
วิธีการปฏิบัติงาน	ไม่มีหลักการในการจัด สินค้า	ระบุวิธีการทำงานไม่ ละเอียด	จัดทำวิธีการจัดสินค้าอย่างมี ประสิทธิภาพ
พนักงาน	หยิบสินค้าผิด นับจำนวนผิด	เก็บสินค้าปะปนกัน ขาดความใส่ใจ ไม่นับ เร่งรีบ	จัดทำวิธีการจัดสินค้าอย่างมี ประสิทธิภาพ พร้อมระบบการ ตรวจสอบสินค้าและปริมาณ

3. ดำเนินการมาตรการและสร้างแบบจำลองสถานการณ์

ดำเนินการมาตรการแก้ไขปัญหาโดยเริ่มจากการจัดระบบบริหารจัดการและควบคุมสินค้าแบบวิเคราะห์เอปซี หลังจากนั้นจัดพื้นที่คลังสินค้าใหม่ให้เหมาะสมกับการจัดเก็บและหยิบจัดสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Flexsim เพื่อหาแนวทางขั้นตอนการปฏิบัติงานการจัดสินค้าที่รวดเร็ว และถูกต้อง

4. สรุปผลการดำเนินงาน

หลังจากทำแบบจำลองสถานการณ์คลังสินค้าใหม่ด้วยการวิเคราะห์แบบ ABC ออกแบบวิธีขั้นตอนการหยิบจัดสินค้าแล้วดำเนินการทดสอบเส้นทางการหยิบจัดสินค้าตามแบบจำลองสถานการณ์เพื่อผลลัพธ์ของเวลา ระยะทาง เส้นทาง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรหยิบจัดสินค้าแบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง หาประสิทธิภาพของการหยิบจัดสินค้าหลังปรับปรุงเพื่อสรุปผลการดำเนินงาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

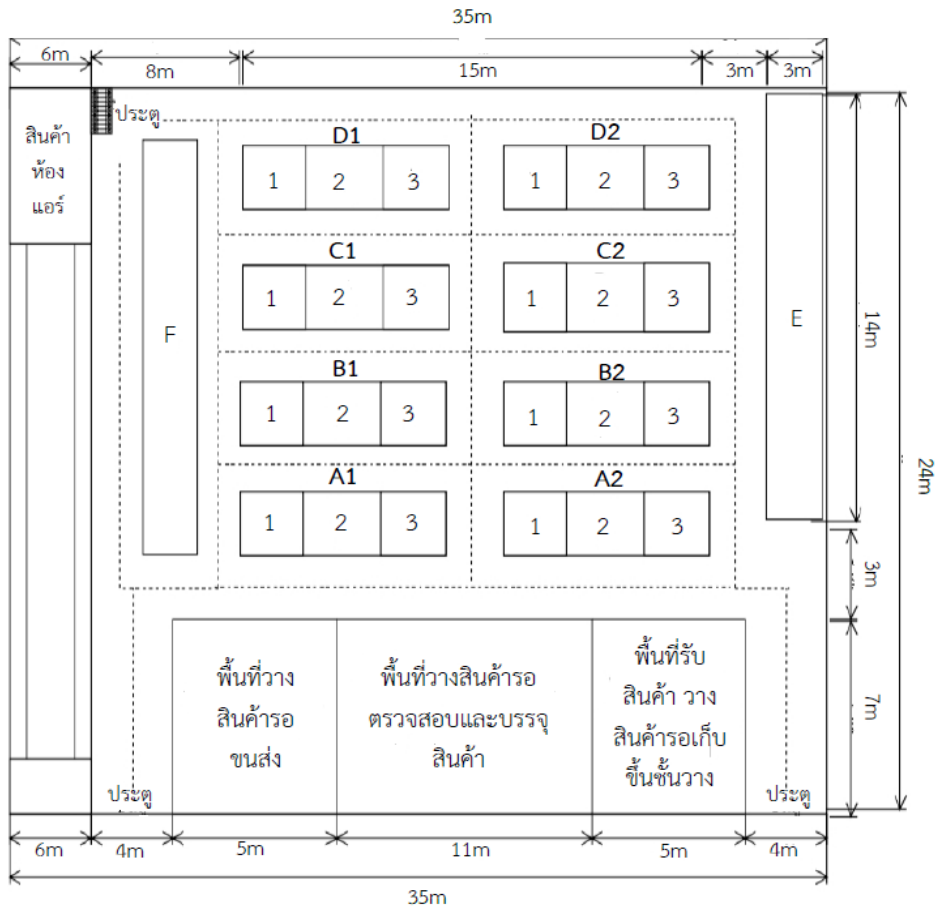
1. ผลการจัดประเภทสินค้าโดยใช้การวิเคราะห์แบบ ABC แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่ม A เป็นกลุ่มสินค้าที่มีปริมาณความต้องการของลูกค้าและยอดขายระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 77.80 กลุ่ม B เป็นกลุ่มสินค้าที่มีปริมาณความต้องการของลูกค้าและยอดขายระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 18.07 และกลุ่ม C เป็นกลุ่มสินค้าที่มีปริมาณความต้องการของลูกค้าและยอดขายระดับต่ำ คิดเป็นร้อยละ 4.13

2. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์คลังสินค้าโดยใช้โปรแกรม Flexsim มีเสนอแนวทางตามหลักการพื้นฐานการวางแผนและการออกแบบคลังสินค้า โดยกำหนดพื้นที่รับส่งสินค้าให้อยู่แยกพื้นที่กัน กำหนดจุดตรวจเช็คและบรรจุสินค้าอยู่ช่วงระหว่างพื้นที่ตรงกลางเพื่อมีพื้นที่ทำงานสะดวกขึ้น จัดชั้นวางให้อยู่แนวเดียวกันจำนวน 8 แถว แบ่งเป็น 2 ฝั่ง ฝั่งละ 4 แถว แบ่งชั้นวางสินค้าเป็น 4 ส่วน ส่วน A สำหรับพื้นที่สินค้าที่มีปริมาณสูง เคลื่อนไหวเร็ว ส่วน B เป็นพื้นที่สินค้าเคลื่อนไหวปานกลาง ส่วน C เป็นพื้นที่สินค้าเคลื่อนไหวช้า และส่วน D เป็นพื้นที่สินค้าที่ไม่มีการเคลื่อนไหวจะจัดอยู่ด้านในสุดของคลังสินค้า การจัดชั้นวางจะต้องจัดวางให้มีเส้นทางเดิน การเคลื่อนย้ายสะดวกไม่มีสิ่งกีดขวางมีลักษณะเป็นเส้นตรงและเชื่อมต่อไปยังชั้นวางแต่ละแถว สำหรับสินค้าชนิดเดียวกัน คนละยี่ห้อ หรือคนละขนาดต้องวางแยกชั้นกันอย่างชัดเจน การออกแบบคลังสินค้าจะจัดแบ่งตามกลุ่มสินค้า สร้างแบบจำลองสถานการณ์คลังสินค้าโดยใช้โปรแกรม Flexsim นำแผนภูมิการไหลของงาน (Flow process chart) มาวิเคราะห์เส้นทางเดินจัดสินค้าเพื่อลดความสูญเปล่าจากการเดินไปกลับระหว่างพื้นที่วางสินค้า รอตตรวจเช็ค และจัดส่งสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังภาพที่ 4

3. วิธีการเดินจัดสินค้าและการตรวจสอบตามใบขอโอนสินค้า ได้เสนอแนวทาง 2 โมเดลดังนี้

โมเดล 1

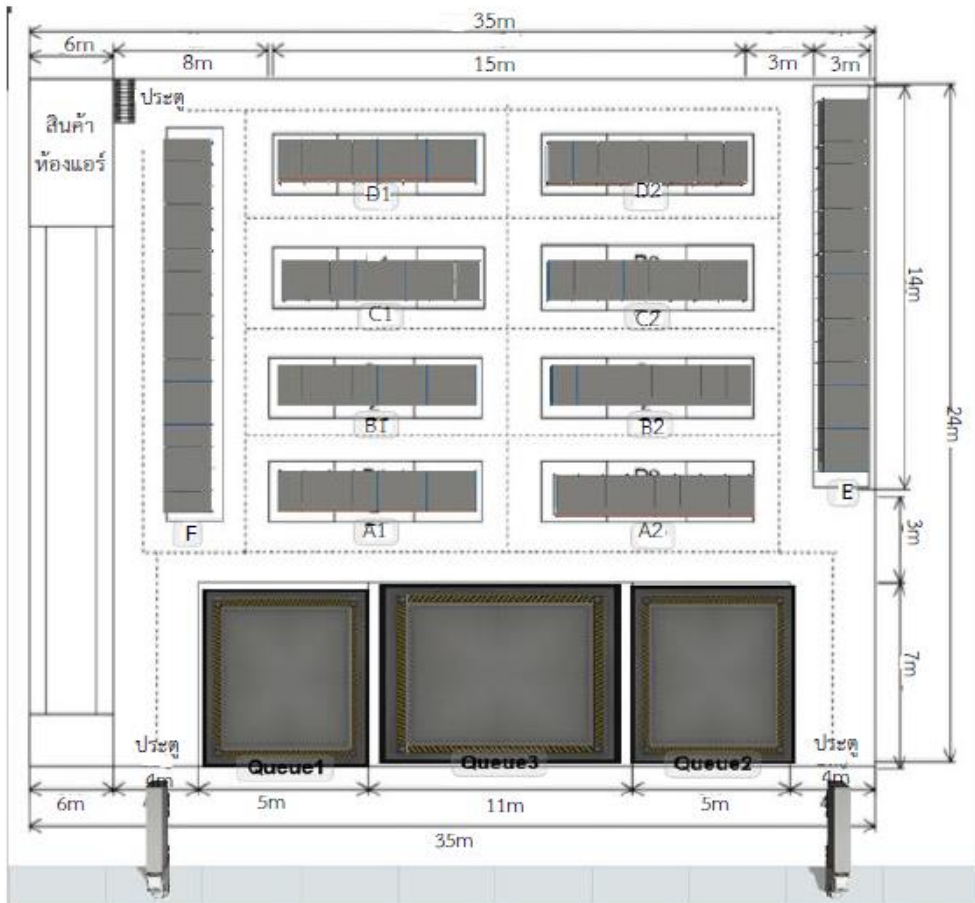
- 1) ตรวจสอบตำแหน่งชั้นวางของสินค้าทั้งหมดตามรายการของใบขอโอนสินค้า
- 2) จัดลำดับการเลือกหยิบสินค้าที่ตำแหน่งชั้นวางสินค้าที่ไกลสุดก่อน โดยการเลือกหยิบสินค้าที่มีน้ำหนักมากและกล่องขนาดใหญ่ก่อนเพื่อเรียงสินค้าขนาดเล็ก ๆ ได้ง่าย
- 3) การเดินหยิบจัดสินค้าจะเข้าไปหยิบในทีละแถวและหยิบสินค้าที่อยู่ใกล้เคียงกันนำมาวางพื้นที่จัดสินค้า และตรวจสอบชนิด ประเภท ยี่ห้อของสินค้าตามรายการที่ระบุไว้ทุกรายการ
- 4) ตรวจสอบสินค้าก่อนส่งของแต่ละรายการตามที่ระบุไว้ในใบขอโอนสินค้าด้วยการนับทีละชั้นถ้าสินค้าบรรจุแยกชั้น และนับสินค้าบรรจุต่อกล่อง หรือนับสินค้าบรรจุต่อถาด ในกรณีไม่มีรอยแกะหรือฉีกขาดของบรรจุภัณฑ์ แต่กรณีที่บรรจุภัณฑ์มีรอยแกะ ฉีกขาดให้เปิดนับสินค้าทีละชั้น
- 5) บันทึกรายงานและลงชื่อ วันเวลาของผู้จัดสินค้า



ภาพที่ 4 แผนผังคลังสินค้า (หลังปรับปรุง)

โมเดล 2

- 1) ตรวจสอบตำแหน่งชั้นวางของสินค้าทั้งหมดตามรายการของใบขอโอนสินค้า
- 2) จัดลำดับการเลือกหยิบสินค้าที่ตำแหน่งชั้นวางสินค้าเป็นกลุ่ม ๆ ที่ใกล้เคียงกันของแต่ละแถวของชั้นวางสินค้า
- 3) การเดินหยิบจัดสินค้าตามลำดับรายการที่จัดเรียงไว้ พร้อมตรวจสอบสินค้า ประเภท ยี่ห้อ และนับจำนวนสินค้าตามที่ระบุไว้ในใบขอโอนสินค้าด้วยการนับทีละชั้นถ้าสินค้าบรรจุแยกชั้น และนับสินค้าบรรจุต่อกถ่อ่ง หรือนับสินค้าบรรจุต่อกถ่อ่ง ในกรณีไม่มีรอยแกะหรือฉีกขาดของบรรจุภัณฑ์ แต่กรณีที่บรรจุภัณฑ์มีรอยแกะฉีกขาดให้เปิดนับสินค้าทีละชั้น และนำสินค้าไปวางที่พื้นที่จัดสินค้า
- 4) จัดสินค้าเพื่อรอส่ง บันทึกรายงานและลงชื่อ วันเวลาของผู้จัดสินค้า

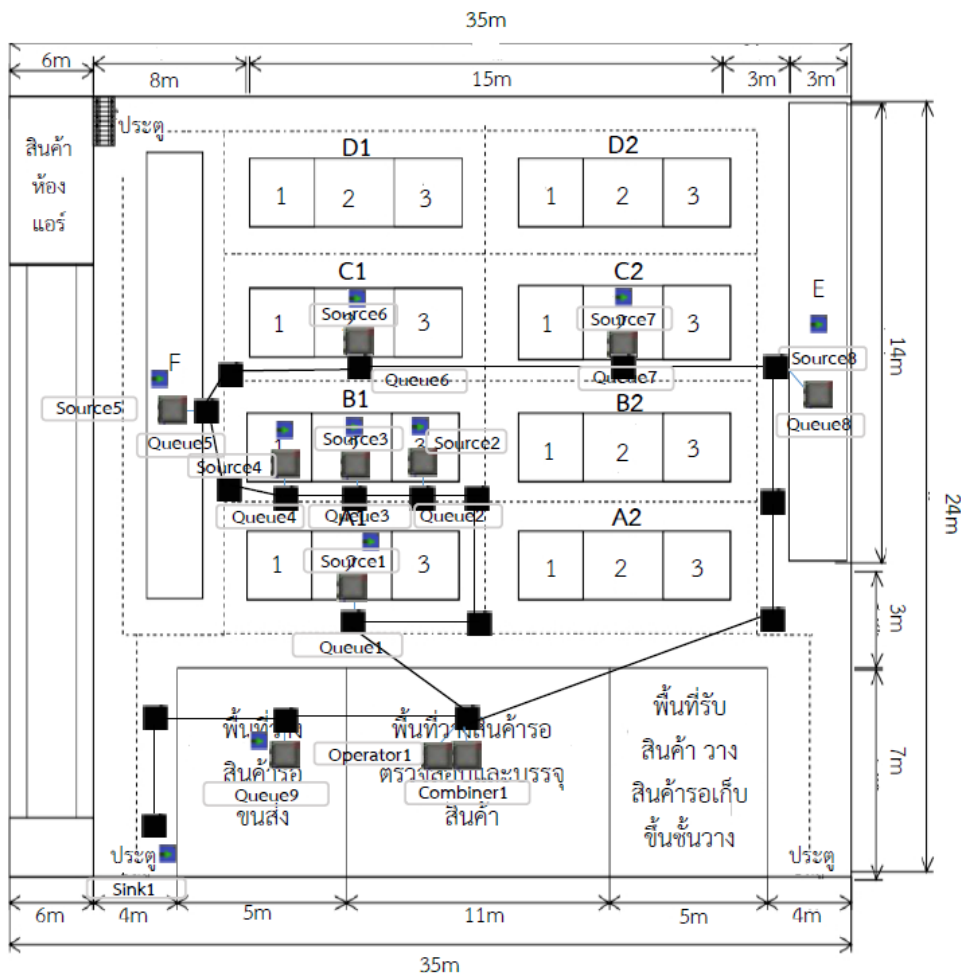


ภาพที่ 5 ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์แผนผังคลังสินค้าด้วยโปรแกรม Flexsim

4. ผลทดสอบการเดินจัดสินค้า

ผลการทดสอบการเดินจัดใบขอโอนสินค้าแสดงดังตารางที่ 4 เปรียบเทียบการทำงานของพนักงานก่อนปรับปรุง โมเดล 1 และโมเดล 2 โดยใช้โปรแกรม Flexsim สร้างแบบจำลองสถานการณ์และประมวลผล จากผลการทดสอบสามารถหาประสิทธิภาพของการจัดใบขอโอนสินค้าดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของการทำงาน} = \frac{\text{เวลาทำงานก่อนปรับปรุง} - \text{เวลาทำงานหลังปรับปรุง}}{\text{เวลาทำงานก่อนปรับปรุง}} \times 100$$



ภาพที่ 6 ตัวอย่างเส้นทางการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้า

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบการบันทึกเวลาและประสิทธิภาพการทำงานแต่ละโมเดล

โมเดล	เวลาทำงานก่อนปรับปรุง เฉลี่ย (วินาที)	เวลาที่ลดลง (วินาที)	ประสิทธิภาพการทำงาน เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
ก่อนปรับปรุง	3,351.26	-	-
โมเดล 1	2,112	1,239.26	36.97
โมเดล 2	1,710	1,641.26	48.97

ตารางที่ 5 ผลเปรียบเทียบการบันทึกระยะทางและประสิทธิภาพการทำงานแต่ละโมเดล

โมเดล	ระยะทางก่อนปรับปรุง เฉลี่ย (เมตร)	ระยะทางที่ลดลง (เมตร)	ประสิทธิภาพการทำงาน เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
ก่อนปรับปรุง	428.06	-	-
โมเดล 1	325.4	102.66	23.98
โมเดล 2	289.50	138.56	32.36

สรุป

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ออกแบบปรับปรุงพื้นที่การจัดวางตำแหน่งของคลังสินค้าโดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้า ดำเนินงานวิจัยโดยการรวบรวมข้อมูลของปัญหาห้องเรียนจากลูกค้า วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยวิธีแผนภาพก้างปลา พบสาเหตุจากทั้งพนักงานหยิบสินค้าผิด นับจำนวนผิด และการจัดแบ่งพื้นที่การรักษาสินค้าไม่มีประสิทธิภาพทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหาสินค้า ดังนั้นจึงนำการวิเคราะห์แบบเอปซีมาแบ่งประเภทสินค้าเพื่อนำมาออกแบบคลังสินค้าโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Flexsim บริหารจัดการคลังสินค้า จัดการพื้นที่ และระบบจัดเก็บสินค้า มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนผลการจัดสินค้าตามใบขอโอนสินค้านั้น หลังจากเสนอแนวทางปรับปรุงการทำงานใหม่คือ โมเดล 1 และโมเดล 2 มีผลการดำเนินงานของเวลาและระยะทางการทำงานของพนักงานลดลง การจัดสินค้าถูกต้องตามชนิดและจำนวนทุกรายการ ผลการทดสอบแบบจำลองสถานการณ์โมเดล 1 และโมเดล 2 พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานด้านเวลาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 36.97 และร้อยละ 48.97 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการทำงานด้านระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 23.98 และร้อยละ 32.36 ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงแบบจำลองสถานการณ์โมเดล 2 มีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าแบบโมเดล 1 เมื่อเปรียบเทียบระยะทางและเวลา ซึ่งผลการดำเนินงานของงานวิจัยเป็นไปตามหลักการและทฤษฎี สร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Flexsim ทำให้สามารถประหยัดเวลา ต้นทุนและระยะเวลาในการทดลอง แก้ไขปรับเปลี่ยนได้ง่ายเป็นที่นิยมกับงานวิจัยอื่น ๆ อีกมากมาย

ข้อเสนอแนะ

กรณีสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ระบุวันหมดอายุควรมีระบบการจัดเรียงสินค้าโดยใช้ทฤษฎีการเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) ส่วนสินค้าที่ต้องเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิควรมีการติดป้ายอย่างชัดเจนเพื่อพนักงานจัดเก็บสินค้าจะนำไปยังพื้นที่ที่ถูกต้อง และการทำวิจัยครั้งต่อไปควรจะออกแบบอุปกรณ์ เครื่องมือ ระบบอัตโนมัติเข้าประยุกต์เพื่อลดเวลา ลดความผิดพลาดจากพนักงาน และเพื่อความรวดเร็วแม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2547). **ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน : คิวซีเซอร์เคิล**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ส.เอเชียเพรส จำกัด.
- จารุพงษ์ บรรเทา, รุจีณี แคลนกระโทก, และรพีพันธ์ แก้วกลาง. (2560). **การจำลองสถานการณ์แถวคอย ณ จุดจ่ายยา กรณีศึกษาโรงพยาบาลโชคชัย**. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560, 12 - 15 กรกฎาคม 2560 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เจนรดชา แสงจันทร์. (2562). **การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าโดยประยุกต์ใช้วิธีการจัดแบ่งวัสดุตามความถี่ในการใช้ กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่งในอุตสาหกรรมการพิมพ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ชยุตม์ บันเทิงจิต. (2561). **การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ในการออกแบบผังคลังสินค้าเพื่อลดเวลาในการขนถ่ายวัสดุ**. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 8(3), 1-14.
- พจมาน เตียวัฒน์รัฐติกาล. (2550). **การบริหารและการจัดการองค์กรอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2552). **การศึกษางานอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- ดุสิตพล ชมพูนุท, กานอธิป โภคสวัสดิ์, ภาณุทัต ย่าแท่น, และภาณุพงษ์ ศรีมุงกุล. (2564). **การหาหน่วยบริการที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Flexsim กรณีศึกษาศูนย์บริการ AIS สาขาเซ็นทรัลขอนแก่น**. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 16 ประจำปี 2564, 27 ตุลาคม 2564 ณ ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ภาณุพงษ์ ศรีมุงกุล, และรัชนี้อย อัครรุ่งเรืองกุล. (2563). **การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าโดยใช้โปรแกรมอาร์เนา: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องตีพิมพ์**. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ปี พ.ศ.2563, 20 – 21 พฤษภาคม 2563 ณ สถาบันวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.
- ภักดี ใจซื่อ, และไพฑูรย์ ศิริโอสาร. (2565). **การลดเวลาการหยิบวัตถุดิบภายในคลังสินค้าไปยังแผนการผลิต โดยวิธีจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Flexsim**. Education and Business Transformation in the Virtual World: Opportunities and Challenges of the Metaverse. The 12th National and the 7th International PIM Conference 2022, 7 July 2022. Panyapiwat Institute of Management.
- Marek, k. (2021). Personnel Management on the Production Line Using the Flexsim Simulation Environment. *Manufacturing Technology*, 21(5), 657-667.
- Melynia, N.P., Lina, G., Frans, J.D., & Venny V. (2022). **Raw Material Warehouse Layout Design Using Class-Based Storage Method with ProModel and FlexSim Simulation at Automotive Assembling Company**. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 7-10 March 2022. Istanbul, Turkey.

การใช้หินพัมมิสและเศษเปลือกหอยนางรมในงานจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

คุณาธิป รวีวรรณ¹ ไพฑูรย์ นาแซง^{2*} เอกพงศ์ วิริยะพาณิชย์³ กิ่งแก้ว พรหมโคตร⁴
ชูชัย สิ้นไชย⁵ รังษี นันทสาร⁶

Received : September 25, 2023

Revised : March 5, 2024

Accepted : March 26, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติและความคงทนของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้หินพัมมิสผสมเศษเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุผงตั้งต้น กำหนดอัตราส่วนของหินพัมมิสต่อเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเท่ากับร้อยละ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ทดสอบคุณสมบัติและความคงทนของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ได้แก่ ค่าการไหลแผ่ กำลังรับแรงอัด การสูญเสียกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก ผลการศึกษาพบว่าค่าการไหลแผ่ของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น การใช้หินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 25 ต่อ 75 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 26.6 เมกะปาสคาลที่อายุ 90 วัน การสูญเสียกำลังของมอร์ตาร์จากการแช่ในสารละลายซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 90 วัน ไม่แสดงผลเสียต่อความสามารถรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียด อย่างไรก็ตามการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างมอร์ตาร์จากการทำลายของสารละลายกรดซัลฟิวริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวัสดุจีโอโพลิเมอร์จากหินพัมมิสผสมเศษเปลือกหอยนางรมสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในงานคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดไม่สูงมากซึ่งมีความทนทานต่อสารละลายซัลเฟตและสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กำลังรับแรงอัด ความคงทน จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ เปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียด หินพัมมิส

¹ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีเมล: kunatip.rav@neu.ac.th

² อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีเมล: phaithun.nas@neu.ac.th

³ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีเมล: ekkaphong.wir@neu.ac.th

⁴ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีเมล: kingkao.pro@neu.ac.th

⁵ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีเมล: chuchai.sin@neu.ac.th

⁶ รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีเมล: rangsi.nan@neu.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: phaithun.nas@neu.ac.th

USE OF PUMICE STONE AND OYSTER SHELL WASTE IN GEOPOLYMER MORTAR

Kunatip Raviwan¹ Phaithun Nasaeng^{2*} Ekkaphong Wiriyaphanit³ Kingkao Prommacot⁴
Chuchai Sinchai⁵ Rangsi Nanthasarn⁶

Abstract

The objective of this research was to study the properties and durability of geopolymer mortar using pumice stone mixed with oyster shell waste as the starting powder material. The pumice (GPM) to ground calcined oyster shell (GOS) ratios were 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100 by weight. The study tested the properties and durability of geopolymer mortar, viz., flow values, compressive strength, strength loss of mortar immersed in sodium sulfate solution, and weight loss of mortar immersed in sulfuric acid solution. The results of the study found that flow values of geopolymer mortar increased with increased GOS volume. The use of GPM mixed with GOS in the proportion of 25:75 by weight was a maximum compressive strength of 26.6 MPa at 90 days. The strength loss of mortars by 5% sodium sulfate solutions for 90 days did not show negative effects on the compressive strength of geopolymer mortar made from GPM mixed with GOS. However, the damage caused by the sulfuric acid solution tended to increase as the amount of GOS increased. The research results showed that geopolymer material from pumice stone mixed with oyster shell waste could be used as a cementitious material in concrete work with low compressive strength, in which sulfate or sulfuric acid resistance is remarkable.

Keywords: Compressive strength, Durability, Geopolymer mortar, Ground calcined oyster shells, Pumice

¹ Lecturer, Department of Civil Engineering, Northeastern University, e-mail: kunatip.rav@neu.ac.th

² Lecturer, Department of Civil Engineering, Northeastern University, e-mail: phaithun.nas@neu.ac.th

³ Lecturer, Department of Civil Engineering, Northeastern University, e-mail: ekkaphong.wir@neu.ac.th

⁴ Lecturer, Department of Civil Engineering, Northeastern University, e-mail: kingkao.pro@neu.ac.th

⁵ Lecturer, Department of Civil Engineering, Northeastern University, e-mail: chuchai.sin@neu.ac.th

⁶ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Northeastern University, e-mail: rangsi.nan@neu.ac.th

* Corresponding author, e-mail: phaithun.nas@neu.ac.th

บทนำ

จีโอโพลิเมอร์เป็นสารเชื่อมประสานชนิดใหม่ที่เกิดจากกระบวนการทางเคมีระหว่างวัสดุอะลูมิเนียมซิลิเกตและสารละลายอัลคาไลความเข้มข้นสูง ในปฏิกิริยาทางเคมีสารละลายต่างจะทำหน้าที่ชะละลายซิลิกาออกไซด์และอะลูมินาออกไซด์จากสถานะของแข็งกลายเป็นสารละลายและควบแน่นเกิดเป็นสารประกอบที่สามารถเชื่อมประสานวัสดุผสมคอนกรีตได้คล้ายกับสารซีเมนต์ (Provis & Deventer, 2009) ในยุคแรกวัสดุอะลูมิเนียมซิลิเกตที่นิยมใช้ ได้แก่ ดินขาวเผา ตะกรันเตาถลุงเหล็ก เถ้าลอยและวัสดุผงละเอียดที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวัสดุที่อุดมด้วยซิลิกาและอะลูมินาในรูปแบบบอไซด์ฐาน การทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอัลคาไลและสารอะลูมิเนียมซิลิเกตจะทำให้เกิดเจลโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮเดรต (N-A-S-H) ที่ทำหน้าที่ในการพัฒนาความแข็งแรงและความคงทนของจีโอโพลิเมอร์ (Davidovits, 1991)

หินพัมมิสเป็นมวลรวมเบาชนิดหนึ่งเกิดจากการเย็นตัวของลาวาจากภูเขาไฟสามารถพบได้ในหลายประเทศ เช่น ตุรกี อิตาลี และกรีซ (Safari et al., 2020) สำหรับประเทศไทยสามารถหาได้ในพื้นที่ภาคกลางแถบจังหวัดลพบุรี จากงานวิจัยของ Zeyad et al. (2020) พบว่า หินพัมมิสบดละเอียดมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานชนิด N เมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน ASTM C618-19 (2019) โดยประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมินาในรูปแบบบอไซด์ฐานเป็นส่วนใหญ่ (Gencel, 2015) เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุอะลูมิเนียมซิลิเกต พบว่า สามารถผลิตจีโอโพลิเมอร์ที่สามารถรับแรงอัดได้มากกว่า 40 เมกะปาสคาล เมื่อทดสอบที่อายุ 28 วัน (Yadollahi et al., 2015) นอกจากนี้การเลือกใช้วิธีการผลิตที่เหมาะสม การบ่มด้วยความร้อนในอุณหภูมิสูง (60 ถึง 100 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลานานกว่า 100 ชั่วโมงสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้สูงขึ้นได้ (Safari et al., 2020) อย่างไรก็ตามการบ่มด้วยความร้อนในระยะเวลาสั้นเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มต้นทุนการผลิตจีโอโพลิเมอร์จากหินพัมมิส การเพิ่มความสามารถรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ด้วยวัสดุที่มีแคลเซียมออกไซด์สูงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีการศึกษาในช่วงหลายปีที่ผ่านมา จากงานวิจัยของ Pangdaeng et al. (2014) พบว่า การเติมปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์เพสต์ทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) หรือแคลเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮเดรต (C-A-S-H) อยู่ร่วมกับโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้จีโอโพลิเมอร์ได้ Nasaeng et al. (2022) เลือกใช้สารซีเมนต์ธรรมชาติจากเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของจีโอโพลิเมอร์จากหินพัมมิส เนื่องด้วยเปลือกหอยนางรมอุดมไปด้วยแคลเซียมออกไซด์และยังเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ถูกนำไปทิ้งอย่างไม่เหมาะสมและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จากผลวิจัยพบว่าแคลเซียมที่ละลายได้จากเปลือกหอยนางรมช่วยสร้างแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและเพิ่มความแข็งแรงเช่นเดียวกับการเติมปูนซีเมนต์ แต่การใช้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) คล้ายกับผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันในคอนกรีตทั่วไป ซึ่งส่งผลเสียต่อสารเชื่อมประสานจีโอโพลิเมอร์ทำให้การพัฒนาความแข็งแรงของตัวอย่างทดสอบมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมส่วนเกินเหล่านี้อาจจะทำให้ความคงทนต่อสารเคมีของจีโอโพลิเมอร์ลดลงด้วย จากงานวิจัยของ Nehdi et al. (2014) พบว่า สารละลายโซเดียมซัลเฟตอาจไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของตัวอย่างคอนกรีต แต่จะส่งผลเฉพาะกับเนื้อคอนกรีตเท่านั้น อย่างไรก็ตามถ้าหากคอนกรีตถูกกัดกร่อนเป็นระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นก็มีโอกาสที่คอนกรีตจะสูญเสียคุณสมบัติเชิงกลได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sata et al. (2012) พบว่า จีโอโพลิเมอร์มีความคงทนต่อ

สารละลายกรดได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์เนื่องจากกลไกการทำลายของกรดมีสาเหตุเนื่องจากสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจเพื่อศึกษาให้มันโรว่าจีโอโพลิเมอร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในงานโครงสร้างคอนกรีตหรือในงานซ่อมแซมชิ้นส่วนอาคารได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งปลูกสร้างที่ตั้งอยู่ในน้ำหรือมีโอกาสสัมผัสกับน้ำใต้ดิน จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำทะเล และแหล่งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อาทิเช่น การกัดกร่อนจากสารละลายซัลเฟต การแทรกซึมของคลอไรด์ การกัดกร่อนโดยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟิวริก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการใช้หินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเป็นวัสดุผงตั้งต้นต่อกำลังรับแรงอัดของของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์
2. เพื่อศึกษาการสูญเสียกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดที่แช่ในสารละลายซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการใช้หินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเป็นวัสดุผงตั้งต้นต่อการสูญเสียน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3

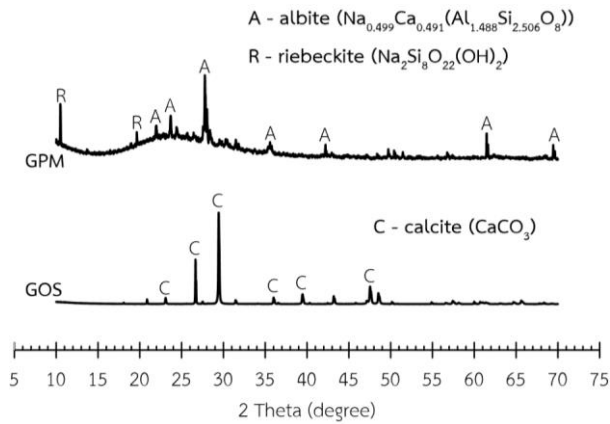
วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

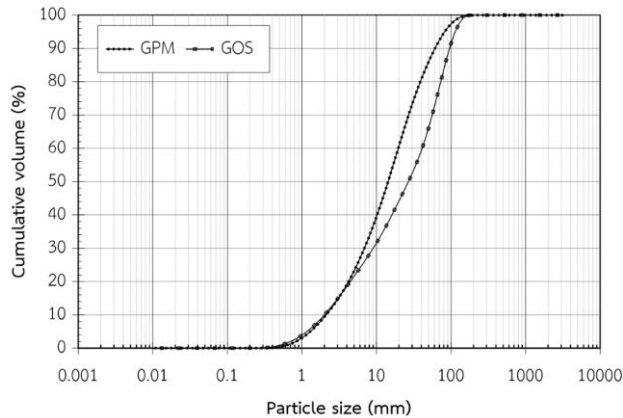
วัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ประกอบด้วย หินพัมมิส (GPM) ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร นำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยด้วยลูกบอลเหล็กจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด เปลือกหอยนางรม (GOS) จากพื้นที่ตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี นำมาล้างให้สะอาดแล้วตากให้แห้งจากนั้นนำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และนำมาบดด้วยด้วยลูกบอลเหล็กจนมีลักษณะเป็นผงละเอียดเช่นเดียวกัน ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าหินพัมมิสมีออกไซด์ของซิลิกาและอะลูมินาเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เปลือกหอยนางรมเผาประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 80 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา พบว่า หินพัมมิสตรวจพบส่วนที่เป็นสัณฐานในช่วง 20° ถึง $35^{\circ} 2 \theta$ และตรวจพบเฟสผลึกของอัลไบท์ (Albite) และรีเบคโคคิต (Riebeckite) สำหรับเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดตรวจพบเฟสผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตดังแสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกต

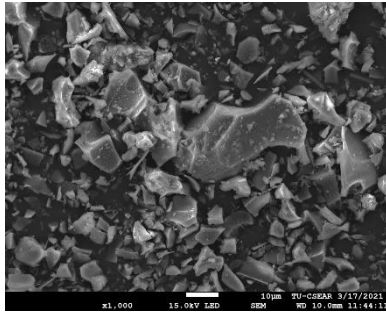
ออกไซด์	วัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกต (ร้อยละ)	
	GPM	GOS
SiO ₂	60.40	9.00
CaO	2.40	85.50
Al ₂ O ₃	16.70	0.90
Fe ₂ O ₃	4.00	0.80
SO ₃	-	0.80
MgO	0.90	1.40
Na ₂ O	4.0	0.60
K ₂ O	3.40	0.30
TiO ₂	0.50	0.10
P ₂ O ₅	-	0.10



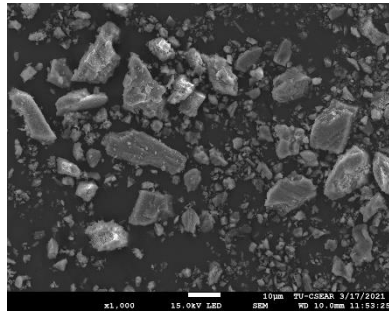
ภาพที่ 1 รูปแบบ XRD ของวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกต



ภาพที่ 2 การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกต



(ก) หินฟิมมิสบดละเอียด



(ข) เปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียด

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายขยาย 1,000 เท่า (Nasaeng et al., 2022)

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน พบว่า หินฟิมมิสและเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.32 และ 2.72 ตามลำดับ มีอนุภาคข้างตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร เท่ากับร้อยละ 25.0 และ 24.7 ตามลำดับ มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 4,230 และ 5,293 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 16.3 และ 30.4 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและลักษณะทางกายภาพแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ มวลรวมละเอียด (FA) ใช้ทรายแม่น้ำที่มีค่าความถ่วงจำเพาะรวมแบบอิมตัวผิวแห้งเท่ากับ 2.64 และโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.75 ใช้น้ำกลั่นสำหรับเตรียมสารละลาย สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชนิดเกล็ดละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่มีส่วนประกอบของซิลิกาออกไซด์ร้อยละ 35.12 โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 16.26 และน้ำร้อยละ 48.62 โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมซิลิเกตความเข้มข้นร้อยละ 5 และสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3

2. การออกแบบส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดและความคงทนต่อสารละลายซัลเฟตและสารละลายกรดซัลฟิวริกและของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินฟิมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียด กำหนดอัตราส่วนหินฟิมมิสต่อเปลือกหอยนางรมเท่ากับร้อยละ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุผงละเอียดเท่ากับ 0.70 โดยน้ำหนัก ใช้สารลดน้ำ (SP) เป็นของเหลวพิเศษเติมลงไปในขณะที่ทำการผสมเพื่อให้ตัวอย่างมอร์ตาร์มีความชื้นเหลวที่สะดวกต่อการเข้าแบบและมีค่าการไหลแผให้อยู่ในช่วง 110 ± 5 ตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-20b (2020a) ซึ่งจะทำให้การทดลองผสมเพื่อหาปริมาณที่ต้องการใช้งานก่อนทำการเตรียมตัวอย่างจริง โดยอัตราส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

ชื่อตัวอย่าง	วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง (กรัม)						อัตราส่วนโดยโมล	
	GPM	GOS	NaOH	Na ₂ SiO ₃	FA	SP	Si/Al	Ca/Si
GPM100	1000	-	350	350	2750	85	7.21	0.04
GPM75GOS25	750	250	350	350	2750	58	7.74	0.43
GPM50GOS50	500	500	350	350	2750	36	8.73	1.04
GPM25GOS75	250	750	350	350	2750	-	11.35	2.14
GOS100	-	1000	350	350	2750	-	36.92	4.68

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนำหินพัมมิสผสมเข้ากับเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดตามอัตราส่วนที่กำหนดในภาชนะแบบปิดแล้วทำการเขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเทวัสดุที่เตรียมไว้ลงในเครื่องผสมมอร์ตาร์แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์ ทำการผสมเป็นเวลา 5 นาที เททรายแม่น้ำที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งลงในส่วนผสม ทำการผสมเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตลงในส่วนผสมเป็นลำดับสุดท้ายทำการผสมต่ออีก 5 นาที เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ได้เทลงแบบหล่อขนาดต่าง ๆ และแบบหล่อมาตรฐาน ASTM C109/C109M-20b (2020a) ทำการปิดผิวหน้าให้เรียบแล้วห่อด้วยพลาสติกป้องกันการสูญเสียความชื้น ปล่อยให้ตัวอย่างก่อตัวในห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากจีโอโพลิเมอร์จากหินพัมมิสเป็นวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีแคลเซียมออกไซด์ต่ำทำให้ก่อตัวช้าในอุณหภูมิห้องจำเป็นต้องกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยความร้อน โดยนำตัวอย่างเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิภายในไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาให้ทุกสัดส่วนผสมเกิดการก่อตัวภายในระยะเวลาใกล้เคียงกัน เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำตัวอย่างออกจากตู้อบแล้วตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำการแกะแบบแล้วห่อตัวอย่างด้วยพลาสติกและบ่มในอุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ

3. การทดสอบมอร์ตาร์

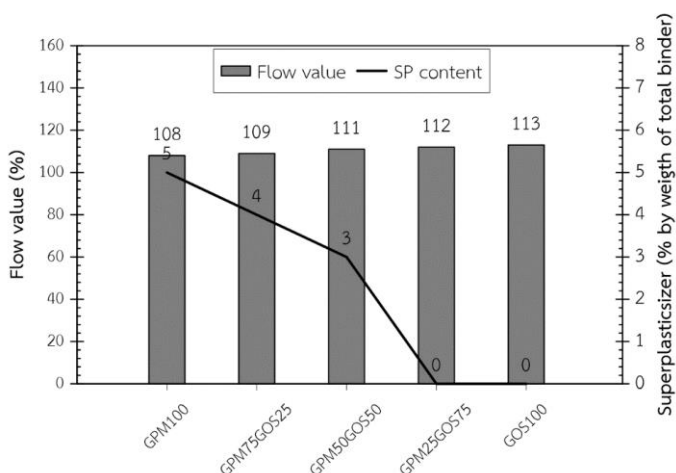
3.1 การทดสอบหาค่าไหลแผ่ (Flow value) ด้วยโต๊ะทดสอบการไหลแผ่โดยใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ยังไม่แข็งตัวโดยทดสอบทันทีหลังจากผสมตัวอย่างเสร็จ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1437-20 (2020b)

3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน ด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ (UTM) และทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-20b (2020a) โดยทำการทดสอบ 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.3 การทดสอบความคงทนต่อการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C267-20 (2020c) โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 จนถึงอายุทดสอบที่ 60 และ 90 วัน นำชิ้นจากสารละลายแล้วล้างตัวอย่างในน้ำสะอาดขัดด้วยแปรงขนอ่อนเพื่อกำจัดผิวที่หลุดร่อนนำมาทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบ

กำลังรับแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์และทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-20b (2020a) โดยทำการทดสอบ 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.4 ความคงทนต่อการรดโดยหาค่าน้ำหนักที่ลดลงเมื่อแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกตามมาตรฐาน ASTM C267-20 (2020c) โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทำการบ่มมอร์ตาร์ในน้ำเพื่อให้ตัวอย่างอิมมัวด้วยน้ำเมื่อครบอายุ 28 วัน นำขึ้นจากน้ำแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นแช่ตัวอย่างลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จนถึงอายุทดสอบที่ 1, 3, 7, 14, 28, 56, 90, 120 และ 180 วัน นำขึ้นจากสารละลายกรดแล้วล้างตัวอย่างในน้ำสะอาดขัดด้วยแปรงขนอ่อนเพื่อกำจัดผิวที่หลุดร่อนนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักสัดส่วนผสมละ 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก



ภาพที่ 4 ค่าการไหลผ่านของของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การไหลผ่านของมอร์ตาร์

ผลทดสอบค่าการไหลผ่านของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์แสดงดังภาพที่ 4 พบว่า สัดส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์จากหินพัมมิสเพียงชนิดเดียว (ตัวอย่าง GPM100) มีค่าการไหลผ่านต่ำกว่าร้อยละ 110 ± 5 จำเป็นต้องเพิ่มสารลดน้ำพิเศษเท่ากับร้อยละ 5 ของน้ำหนักวัสดุเชื่อมประสานรวม เพื่อให้ค่าการไหลผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Mawlod et al. (2023) พบว่าจีโอโพลิเมอร์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นวัสดุผงตั้งต้นมีความสามารถในการไหลตัวต่ำเนื่องจากอนุภาคของหินพัมมิสมีลักษณะเป็นรูพรุน นอกจากนี้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของหินพัมมิสที่เล็กกว่าผงเปลือกหอยนางรมดังแสดงในภาพที่ 2 อาจทำให้ส่วนผสมมีความต้องการน้ำที่มากกว่าด้วย การผสมหินพัมมิสร่วมกับเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดทำให้มอร์ตาร์มีความเหลวมากขึ้น ยกตัวอย่างสัดส่วนผสมที่ใช้อัตราส่วนหินพัมมิสต่อเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเท่ากับร้อยละ 75:25 โดยน้ำหนัก (ตัวอย่าง GPM75GOS25) มีการใช้สารลดน้ำพิเศษเพียงร้อยละ 3 เท่านั้น และทำให้มีค่าการไหลผ่านสูงกว่าตัวอย่าง GPM100 ซึ่งมีการใช้สารลดน้ำพิเศษในปริมาณที่สูงกว่าแสดงให้เห็นว่าเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดมีส่วนช่วยให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีความสามารถทำงานได้ดีขึ้นอาจจะมิสาเหตุเนื่องจากเมื่อเปลือก

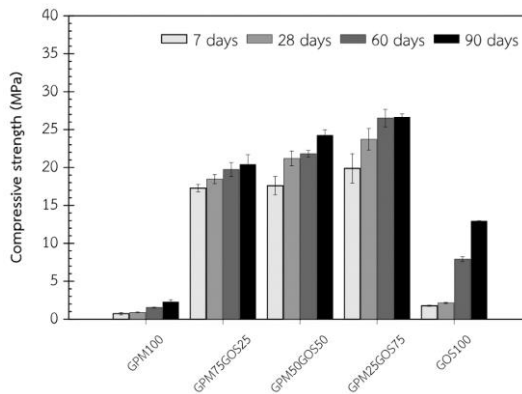
หอยนางรมเผาบลดละเอียดทำปฏิกิริยากับสารละลายจะทำให้เกิดแคลเซียมไอออนที่มีประจุบวก (Ca^{2+}) ล้อมรอบอนุภาคของวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตหลังจากนั้นสารละลายอัลคาไลที่มีสารประกอบจำพวกโซเดียมทำให้เป็นกลางของประจุไฟฟ้าจะเกิดการก่อตัวเป็นแคลเซียมเชิงซ้อนและโมเลกุลของสารละลายอัลคาไลจะกระจายตัวบนเม็ดวัสดุผงทำให้มีประจุเป็นลบในลักษณะคล้ายกับการใช้สารลดน้ำในซีเมนต์มอร์ตาร์ เมื่อเม็ดวัสดุผงที่มีประจุลบที่อยู่ติดกันจะแยกออกจากกันเนื่องจากแรงผลักไฟฟ้าช่วยเพิ่มความสามารถทำงานได้ (Xie & Kayali, 2016)

2. กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดในอัตราส่วนที่ต่างกันแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 5 พบว่า ตัวอย่าง GPM100 มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำมากทุกช่วงอายุการทดสอบสอดคล้องกับผลวิจัยที่รายงานก่อนหน้านี้ของ Nasaeng et al. (2022) เนื่องจากความแข็งแรงของจีโอโพลิเมอร์จากวัสดุผงที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำจะขึ้นอยู่กับ การก่อตัวของสารผลิตภัณฑ์โซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรตหรือจีโอโพลิเมอร์เจล การผสมหินพัมมิสร่วมกับเปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ได้ โดยกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดจนถึงอัตราส่วนการผสมหินพัมมิสร่วมกับเปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดเท่ากับร้อยละ 25:75 โดยน้ำหนัก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วันเท่ากับ 19.9, 23.7, 26.5 และ 26.6 เมกะปาสคาล ตามลำดับ การพัฒนาความแข็งแรงสูงที่เพิ่มขึ้นของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมผงเปลือกหอยนั้นเกิดจากไอออนของแคลเซียมอิสระที่มีอยู่ในเปลือกหอยนางรมเผา เมื่อพิจารณาอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al และ Ca/Si พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดที่เพิ่มขึ้น ซิลิกาและแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตอยู่ร่วมกับโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตไฮดรตส่งผลให้เนื้อจีโอโพลิเมอร์แน่นขึ้นและโพรงลดลงทำให้สารเชื่อมประสานมีความแข็งแรง (Chindaprasit et al., 2018) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al. (2023) ที่ศึกษา พบว่า เปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดมีส่วนร่วมในการทำปฏิกิริยากับวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตและสารละลายอัลคาไลส่งเสริมให้เกิดการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ไฮดรตขึ้น อย่างไรก็ตามกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่อใช้เปลือกหอยนางรมเผาบลดละเอียดเป็นวัสดุผงอะลูมิเนียมซิลิเกตเพียงชนิดเดียว เนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่าง GOS100 มีปริมาณแคลเซียมสูงแต่ขาดซิลิกาและอะลูมินา เมื่อปริมาณแคลเซียมออกไซด์มีมากเกินไปส่งผลให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่แข็งแรง (Ahmari et al., 2012) เมื่อพิจารณาผลของอายุของตัวอย่างต่อค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออายุของตัวอย่างเพิ่มขึ้นผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับผลวิจัยของ Chen & Zhu (2018) ที่พบว่า การกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยความร้อนจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์เมื่อตัวอย่างมีอายุครบ 7 วัน หลังจากนั้นการพัฒนาความแข็งแรงของตัวอย่างจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

ตารางที่ 3 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

ชื่อตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัดที่อายุการทดสอบแตกต่างกัน (เมกะปาสคาล)					
	ตัวอย่างที่อยู่ในสภาพแวดล้อมทั่วไป				ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย	
	7 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน	60 วัน	90 วัน
GPM100	0.7	0.9	1.5	2.3	1.4	2.0
GPM75GOS25	17.3	18.5	19.7	20.4	20.7	21.7
GPM50GOS50	17.6	21.2	21.8	24.2	21.3	23.6
GPM25GOS75	19.9	23.7	26.5	26.6	27.7	27.8
GOS100	1.8	2.1	7.9	12.9	9.1	15.8

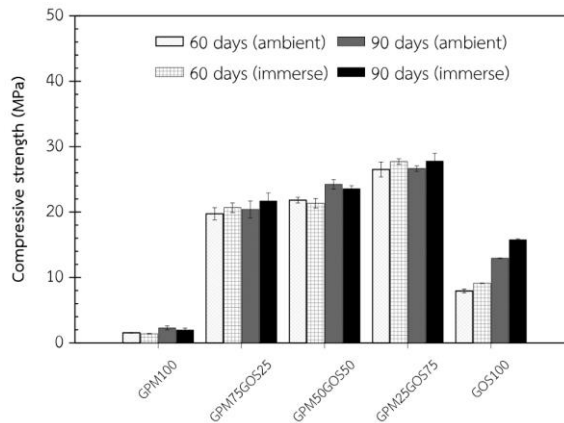


ภาพที่ 5 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียด

3. ความคงทนต่อสารละลายโซเดียมซัลเฟต

ภาพที่ 6 แสดงกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดที่ไม่ได้แช่ในสารละลายเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แช่ในสารละลายซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อายุ 60 และ 90 วัน พบว่า เมื่อทดสอบที่อายุ 60 วัน ตัวอย่าง GPM100, GPM75GOS25, GPM50GOS50, GPM25GOS75 และ GOS100 ที่ถูกทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมทั่วไปมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 0.9, 19.7, 21.8, 26.5 และ 7.9 เมกะปาสคาล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ใช้สัดส่วนผสมเดียวกันและแช่ตัวอย่างในสารละลายซัลเฟตพบว่าตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสเพียงชนิดเดียวไม่แสดงผลกระทบที่ชัดเจนมากนัก ในขณะที่ตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียด ได้แก่ตัวอย่าง GPM75GOS25, GPM50GOS50, GPM25GOS75 และ GOS100 มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.7, 2.2, 4.5 และ 15.1 ตามลำดับ ในลักษณะเช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุ

90 วัน ตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่มีเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดในส่วนผสม ได้แก่ ตัวอย่าง GPM75GOS25, GPM50GOS50, GPM25GOS75 และ GOS100 มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.3, 2.8, 4.3 และ 21.8 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Saavedra et al. (2016) ที่ศึกษาพบว่าจีโอโพลิเมอร์ที่ใช้วัสดุผงตั้งต้นที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกับการศึกษานี้แสดงความต้านทานการทำลายจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตได้ดีเยี่ยม โดยตัวอย่างที่แช่ในสารละลายที่อายุ 60 ถึง 360 วันมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ในสารละลาย



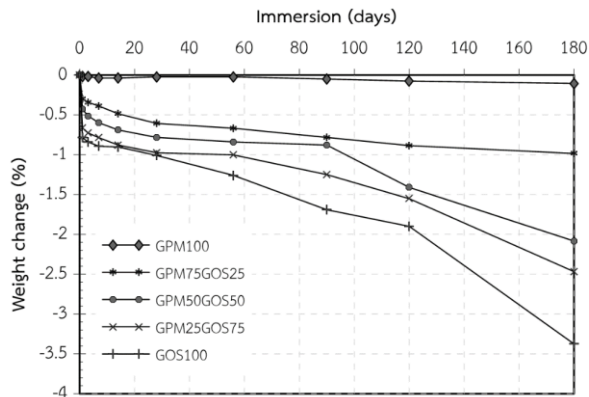
ภาพที่ 6 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่บ่มในสภาพแวดล้อมทั่วไปและตัวอย่างที่แช่ในสารละลายซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อายุ 60 และ 90 วัน

ในงานวิจัยนี้กำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดและแช่ในสารละลายซัลเฟตอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากการอัดแน่นของจีโอโพลิเมอร์เจลที่เกิดจากการขยายตัวของแคลเซียมออกไซด์ ผลจากการอัดตัวของสารประกอบแคลเซียมทำให้ตัวอย่าง GOS100 ที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกแช่ในสารละลายอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัวอย่างถูกแช่ทิ้งไว้ถึงอายุ 90 วัน เนื่องจากในส่วนผสมของตัวอย่าง GOS100 ใช้เปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเป็นวัสดุผงตั้งต้นเพียงชนิดเดียว เมื่อพิจารณาตารางที่ 1 พบว่า เปลือกหอยนางรมเผาามีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงแต่มีซิลิกาสำหรับสร้างผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซิลน้อยมาก ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮดรอกซิลที่ได้ส่วนมากอาจจะเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากตามไปด้วย โดยทั่วไปความรุนแรงจากสารละลายซัลเฟตขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโครงสร้างรูพรุนของตัวอย่าง (Nehdi et al., 2014) การเสื่อมสภาพของตัวอย่างซีเมนต์มอร์ตาร์เกิดจากปฏิกิริยาของสารละลายซัลเฟตกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมโมโนซัลโฟลูมิเนตจนเกิดเป็นยิปซัมและเอทริงไต์ (Ettringite) ซึ่งอาจนำไปสู่การสูญเสียความแข็งแรง การขยายตัว การแตกร้าว และสีกร่อนของผิว (Snelson & Kinuthia, 2010) จากงานวิจัยของ

Sata et al. (2012) ที่ศึกษา พบว่า จีโอโพลิเมอร์เกิดการขยายตัวเนื่องจากแคลเซียมที่มีอยู่ในวัสดุผงอะลูมินา ซิลิกาที่ใช้ผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์แต่ไม่สูงมากนักจนทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างภายใน ดังนั้น อาจจะอนุมานได้ว่า การขยายตัวที่ไม่มากนักทำให้เกิดการแน่นตัวทำให้รับกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

4. ความคงทนต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก

ภาพที่ 7 แสดงร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เนื่องจากการกัดกร่อนของสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3 กับระยะเวลาที่แช่ตัวอย่างในสารละลาย โดยปกติมอร์ตาร์ที่มีซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลักการสูญเสียน้ำหนักเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีอยู่ในตัวอย่างมอร์ตาร์และกรดที่ซึมเข้าผิว (Sata et al., 2012) ซึ่งสามารถทำให้เกิดความเค้นดึงส่งผลให้เกิดการแตกร้าวและการสูญเสียน้ำหนักบริเวณผิวตัวอย่าง หลังจากแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่อายุ 180 วัน น้ำหนักของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสเพียงชนิดเดียว (GPM100) เกิดการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างต่ำเท่ากับร้อยละ 0.10 เนื่องจากในหินพัมมิสมีออกไซด์ของซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก ซิลิกาออกไซด์และอะลูมินาออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาและก่อตัวเป็นโซเดียมอะลูมิโนซิลิเกตไฮเดรตทำให้น้ำของมอร์ตาร์หนาแน่นขึ้น นอกจากนี้สารประกอบจีโอโพลิเมอร์เจลมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ต่ำเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่มีเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเป็นส่วนประกอบทำให้การทำลายจากสารละลายกรดซัลฟิวริกเกิดขึ้นไม่มากนักดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่ใช้วัสดุผงที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำก็จะมีสารผลิตภัณฑ์แคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่ำด้วย (Ojha & Aggarwal, 2023) เมื่อพิจารณาจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสที่มีส่วนผสมของเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดพบว่าตัวอย่าง GPM75GOS25, GPM50GOS50, GPM25GOS75 และ GOS100 มีการสูญเสียน้ำหนักบริเวณผิวตัวอย่างที่อายุการแช่ 180 วัน เท่ากับร้อยละ 0.98, 2.08, 2.47 และ 3.37 ตามลำดับ สังเกตได้ว่าการทำลายจากสารละลายกรดซัลฟิวริกเกิดมากขึ้นเมื่อปริมาณเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณผงเปลือกหอยทำให้ส่วนผสมปริมาณแคลเซียมเพิ่มในขณะที่ปริมาณซิลิกาและอะลูมินาลดลงสังเกตได้จากอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al และ Ca/Si ในตารางที่ 2 เมื่อปริมาณซิลิกาและอะลูมินาสำหรับทำปฏิกิริยาไม่เพียงพอจะทำให้การก่อตัวของจีโอโพลิเมอร์เจลลดลง จากงานวิจัยของ Ahmari et al. (2012) พบว่า เมื่อระบบจีโอโพลิเมอร์มีปริมาณแคลเซียมสูงจะทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนของสารละลายกรดซัลฟิวริก การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่มากเกินไปในส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้เปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดในปริมาณสูงได้แก่ ตัวอย่าง GPM50GOS50, GPM25GOS75 และ GOS100 จะถูกทำลายจากสารละลายกรดมากกว่าตัวอย่าง GPM100 และ GPM75GOS25 อย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 8 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อแช่ตัวอย่างในสารละลายกรดซัลฟิวริกจนถึงอายุ 180 วัน ตัวอย่างมอร์ตาร์ทั้งหมดยังไม่เกิดการแตกร้าวอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากอนุภาคของผงเปลือกหอยนางรมเผาบดละเอียดที่สามารถละลายในของเหลวได้มีอยู่ค่อนข้างจำกัด โดยอนุภาคที่ไม่ทำปฏิกิริยาเหล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นมวลรวมขนาดเล็ก (Nasaeng et al., 2022) ทำให้สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3 ทำลายเฉพาะบริเวณผิวที่เป็นจีโอโพลิเมอร์เจล



ภาพที่ 7 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผา บดละเอียดที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3



ภาพที่ 8 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผา บดละเอียดที่แช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่อายุ 180 วัน

สรุป

การศึกษานี้ นำเสนอผลทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและความคงทนต่อสารละลายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผา บดละเอียดที่แช่ในสารละลายซัลเฟตและสารละลายกรดซัลฟิวริก จากผลวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

- กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเปลือกหอยนางรมเผา บดละเอียดเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนหินพัมมิสต่อเปลือกหอยนางรมเผา บดละเอียดเท่ากับร้อยละ 25 ต่อ 75 โดยน้ำหนัก แสดงค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 26.6 เมกะปาสคาล การผสมหินพัมมิสร่วมกับเปลือกหอยนางรมเผา บดละเอียดช่วยให้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในส่วนผสมเพิ่มขึ้นและเกิดการก่อตัวของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตช่วยเพิ่มความแข็งแรงของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ได้

2. จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบละเอียดแสดงความคงทนต่อการทำลายจากสารละลายซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 ได้เป็นอย่างดี โดยการแช่ตัวอย่างนานถึง 90 วัน ไม่ส่งผลเสียต่อความสามารถรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ทุกอัตราส่วนผสม

3. การทำลายสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3 ส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบละเอียดแสดงให้เห็นถึงความต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดอย่างดียิ่ง ในอัตราส่วนหินพัมมิสต่อเปลือกหอยนางรมเผาบละเอียดเท่ากับร้อยละ 25 ต่อ 75 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดแสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 2.47 เมื่อแช่ตัวอย่างไว้นาน 180 วัน

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและความคงทนต่อสารละลายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิส คือ ปริมาณการแทนที่หินพัมมิสด้วยเปลือกหอยนางรมเผาบละเอียด โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายในระดับทั่วไปจึงทำให้ไม่สามารถอธิบายถึงความแข็งแรงของตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์และระดับความรุนแรงจากการทำลายของสารละลายซัลเฟตและสารละลายกรดซัลฟิวริกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบด้านสารละลายอัลคาไลต่อความแข็งแรงและความคงทนของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากหินพัมมิสผสมเปลือกหอยนางรมเผาบละเอียด นอกจากนี้เพื่อให้เข้าใจถึงการทำลายของสารละลายในตัวอย่งจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ควรวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารอ้างอิง

Ahmari, S., Ren, X., Toufigh, V., & Zhang, L. (2012). Production of geopolymeric binder from blended waste concrete powder and fly ash. *Construction and Building Materials*, 35(2012), 718 - 729.

ASTM Standard C109/C109M-20b. (2020a). *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50 mm] cube specimens)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- ASTM Standard C1437-20. (2020b). **Standard test method for flow of hydraulic cement mortar**. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM Standard C267-20. (2020c). **Standard test methods for chemical resistance of mortars, grouts, and monolithic surfacings and polymer concretes**. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM Standard C618-19. (2019). **Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete**. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Chen, W., & Zhu, Z. (2018). Utilization of fly ash to enhance ground waste concrete-based geopolymer. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2018, 1 - 11.
- Chindaprasirt, P., Phoo-ngernkham, T., Hanjitsuwan, S., Horpibulsuk, S., Poowancum, A., & Injorhor, B. (2018). Effect of calcium-rich compounds on setting time and strength development of alkali-activated fly ash cured at ambient temperature. **Case Studies in Construction Materials**, 9, e00198.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers - Inorganic polymeric new materials. **Journal of Thermal Analysis**, 37(8), 1633 - 1656.
- Gencil, O. (2015). Characteristics of fired clay bricks with pumice additive. **Energy and Buildings**, 102, 217 - 224.
- Mawlod, A. O., Bzeni, D. K. H. A., & Alzeebaree, R. (2023). Performance of Slag-Pumice-Based Alkali-Activated Mortar at Ambient Environment. **Iran J Sci Technol Trans Civ Eng**, 47, 2131 - 2147.
- Nasaeng, P., Wongsu, A., Cheerarot, R., & Sata, V. (2022). Strength enhancement of pumice-based geopolymer paste by incorporating recycled concrete and calcined oyster shell powders. **Case Studies in Construction Materials**, 17, e01307.
- Nehdi, M. L., Suleiman, A. R., & Soliman, A. M. (2014). Investigation of concrete exposed to dual sulfate attack. **Cement and Concrete Research**, 64, 42 - 53.
- Ojha, A., & Aggarwal, P. (2023). Durability performance of low calcium Fly ash-Based geopolymer concrete, **Structures**, 54, 956 - 963.

- Pangdaeng, S., Phoo-ngernkham, T., Sata, V., & Chindapasirt, P. (2014). Influence of curing conditions on properties of high calcium fly ash geopolymer containing Portland cement as additive. **Materials and Design**, 53, 269 - 274.
- Provis, J. L., & Deventer, J. S. J. V. (2009). **Geopolymers: structures, processing, properties and industrial applications**. United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Saavedra, W. G. V., Angulo, D. E., & Gutiérrez, R. M. D. (2016). Fly Ash Slag Geopolymer Concrete: Resistance to Sodium and Magnesium Sulfate Attack. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 28, 1 - 9.
- Safari, Z., Kurda, R., Al-Hadad, B., Mahmood, F., & Tapan, M. (2020). Mechanical characteristics of pumice-based geopolymer paste. **Resources, Conservation and Recycling**, 162, 105055.
- Sata, V., Sathonsaowaphak, A., & Chindapasirt, P. (2012). Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack. **Cement and Concrete Composites**, 34(5), 700 - 708.
- Snelson, D. G., & Kinuthia, J. M. (2010). Resistance of mortar containing unprocessed pulverised fuel ash (PFA) to sulphate attack. **Cement and Concrete Composites**, 32(7), 523 - 531.
- Xie, J., & Kayali, O. (2016). Effect of superplasticiser on workability enhancement of Class F and Class C fly ash-based geopolymers. **Construction and Building Materials**, 122, 36 - 42.
- Yadollahi, M. M., Benli, A., & Demirboga, R. (2015). The effects of silica modulus and aging on compressive strength of pumice-based geopolymer composites. **Construction and Building Materials**, 94, 767 - 774.
- Zeyad, A. M., Khan, A. H., & Tayeh, B. A. (2020). Durability and strength characteristics of high-strength concrete incorporated with volcanic pumice powder and polypropylene fibers. **Journal of Materials Research and Technology**, 9(1), 806 - 813.
- Zhang, G. Y., Lin, R. S., & Wang, X. Y. (2023). Effect of waste oyster shell powder on the properties of alkali-activated slag-waste ceramic geopolymers. **Journal of Materials Research and Technology**, 22, 1768 - 1780.

พฤกษเคมี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้

ณพัชร บัวฉุน^{1*}

Received : September 5, 2023

Revised : February 17, 2024

Accepted : May 8, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤกษทางเคมีเบื้องต้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ โดยดอกกล้วยไม้ที่ใช้ในการทดลองเป็นดอกกล้วยไม้สกุลหวาย 4 ชนิด ได้แก่ เอื้องแวมยุรา เอื้องสายหลวง เอื้องครั่ง และเอื้องเหลืองจันทร์บุรุษ และกล้วยไม้สกุลม็อคคารา 4 ชนิด ได้แก่ จิตติ หมูทอง นอราบลู และประกายเพชร โดยนำกลีบดอกกล้วยไม้มาทำการสกัดด้วยเอทานอล จากการศึกษา พบว่า สารสกัดหยาดกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคาราพบสารพฤกษเคมี 6 ชนิดที่เหมือนกัน ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนิน ทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ เมื่อทำการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า กล้วยไม้สกุลหวายชนิดแวมยุรา และสกุลม็อคคาราชนิดนอราบลูมีปริมาณมากที่สุด (208.58 ± 1.00 mg GAE/g, 219.65 ± 1.83 mg QE/g และ 198.23 ± 1.56 mg GAE/g, 203.67 ± 1.02 mg QE/g) และทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และวิธี ABTS assay พบว่า กล้วยไม้สกุลหวายชนิดเอื้องแวมยุรา และกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดหมูทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (EC_{50} 15.34 ± 1.30 mg/ml, EC_{50} 7.33 ± 1.02 mg/ml และ EC_{50} 11.90 ± 1.27 mg/ml, EC_{50} 8.43 ± 1.45 mg/ml) และพบว่า กล้วยไม้สกุลหวายชนิดเอื้องแวมยุรา และกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดหมูทองมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงสุด (EC_{50} 15.09 ± 1.92 mg/ml และ EC_{50} 12.44 ± 1.29 mg/ml) จากผลการทดลองสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีคุณสมบัติฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสในอนาคต และใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชประเภทกล้วยไม้ต่อไป

คำสำคัญ: กล้วยไม้ พฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

¹ อาจารย์ประจำสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
จังหวัดปทุมธานี อีเมล: napattaom@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: napattaom@vru.ac.th

PHYTOCHEMICALS, TOTAL PHENOLIC CONTENT, TOTAL FLAVONOID CONTENT,
ANTIOXIDANT ACTIVITY, AND TYROSINASE INHIBITION ACTIVITY
FROM CRUDE EXTRACTS OF ORCHIDS

Napattaorn Buachoon¹

Abstract

This research aimed to investigate the phytochemical screening, total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity, and tyrosinase inhibition activity of crude orchid flower extracts. The orchids used in the experiments included four species of the *Dendrobium* genus: Waew Mayura (*Dendrobium fimbriatum* Hook), Sai Luang (*Dendrobium anosmum* Lindl), Klang (*Dendrobium parishii* Rchb.f.), Lueng Chantaboon (*Dendrobium fredericksianum* Rchb.f.); and four species of the *Mokara* genus: Mokara Jitti, Mokara Mu Thong, Mokara Nora Blue, and Mokara Prakai Phet. The petals of these orchids were extracted with ethanol. The study results found that the crude extracts from both the *Dendrobium* and *Mokara* genera contain six similar types of phytochemicals: flavonoids, coumarins, tannins, terpenoids, steroids, and cardiac glycosides. Upon examining the total phenolic and flavonoid content, it was found that the Waew Mayura (*Dendrobium fimbriatum* Hook) and Mokara Nora Blue orchids had the highest concentrations (208.58 ± 1.00 mg GAE/g, 219.65 ± 1.83 mg QE/g, and 198.23 ± 1.56 mg GAE/g, 203.67 ± 1.02 mg QE/g, respectively). Antioxidant activities were tested using the DPPH and ABTS assays, revealing that Waew Mayura (*Dendrobium fimbriatum* Hook) and Mokara Mu Thong exhibited the highest antioxidant activities (EC_{50} 15.34 ± 1.30 mg/ml, EC_{50} 7.33 ± 1.02 mg/ml, and EC_{50} 11.90 ± 1.27 mg/ml, EC_{50} 8.43 ± 1.45 mg/ml, respectively). Additionally, Waew Mayura (*Dendrobium fimbriatum* Hook) and Mokara Mu Thong demonstrated the most potent tyrosinase inhibitory effects (EC_{50} 15.09 ± 1.92 mg/ml and EC_{50} 12.44 ± 1.29 mg/ml, respectively). These findings provide a fundamental basis for the development of cosmetic products with antioxidant and tyrosinase inhibitory properties in the future, as well as for further studies on the bioactive compounds of orchids.

Keywords: Orchid, Phytochemical, Antioxidant activity, Tyrosinase inhibition activity

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

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

บทนำ

กล้วยไม้(orchid) เป็นพืชดอกที่นิยมปลูกเพื่อการค้า สามารถจำหน่ายได้ทั้งในรูปแบบไม้กระถาง หรือ การตัดดอก มีความสวยงามโดดเด่น นอกจากนี้ยังมีการนำมาทำให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น ด้วยการนำส่วนต่าง ๆ ของกล้วยไม้มาสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านสมุนไพรมากขึ้น เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น สารกลุ่ม Alkaloids, Sesquiterpens, Phenanthrens, Flavonoids, Carotenoid และ Phytosterols เป็นต้น (Hossain, 2011) ซึ่งกล้วยไม้สกุลหวายเป็นสกุลที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านสมุนไพรมาก เนื่องจากมีสารที่มีหมู่ Phenol ในโครงสร้างได้แก่ สารกลุ่ม Bibenzyl, Phenanthrene และ Fluorenone (Yang et al., 2006) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาทางด้านเภสัชวิทยาของสารกลุ่ม Bibenzyl พบว่า มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฤทธิ์ต้านการเจริญของเนื้องอกหรือมะเร็ง (Antitumor) ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Anti-inflammation) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นต้น (Liu et al., 2010; Tsai et al., 2010; Luo et al., 2011) และจากการศึกษา พบว่า กล้วยไม้หวายม่วงแดง มีสารประกอบฟีนอลิก ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงใกล้เคียงกับวิตามินซีซึ่งเป็นสารมาตรฐาน (Shafazila et al., 2010)

ในปัจจุบันมีการนำเอาสารสกัดจากกล้วยไม้มาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เนื่องจากสารสกัดจากธรรมชาติมีความปลอดภัย ไม่เป็นอันตราย สามารถทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสารออกฤทธิ์ที่มีในธรรมชาติที่มีศักยภาพในการลดริ้วรอย ลดการเกิดผิวหมองคล้ำ และช่วยในเรื่องของการชะลอวัยพบว่าเป็นสารประเภทกลุ่มฟีนอลิก เช่น สารกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ซึ่งสารประเภทนี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (อัญชญา เจนวิถีสุข, 2544) ส่งผลให้เซลล์ต่างๆ จะเสื่อมลงเรื่อย ๆ ทำให้ร่างกายเสื่อมสภาพลงและอาจก่อให้เกิดการทำลายเซลล์รวมถึงการกลายพันธุ์ (Mutation) ของเซลล์ ซึ่งอาจพัฒนาไปเป็นเซลล์มะเร็งได้ และสารสำคัญที่มีอยู่ในกล้วยไม้ยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ไทโรซิเนส (ธริชตรี เทพจันทร์ และคณะ 2561) โดยเอนไซม์ไทโรซิเนส เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล ภายในโครงสร้างของเอนไซม์จะประกอบไปด้วยทองแดง (Cu) ซึ่งมีหน้าที่ทำงานร่วมกับออกซิเจนเพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นสามารถพบเอนไซม์ได้ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งในกระบวนการสร้างเม็ดสี (Melanogenesis synthesis) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้ผลไม้และพืชเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือผิวหนังมีสีหมองคล้ำลง (สมชาติ แม่นปิ่น, 2559)

จากการค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยพบว่ามีผู้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของกล้วยไม้สกุลหวาย ได้แก่ เอื้องแวมยุรา เอื้องสายหลวง เอื้องครั่ง และเอื้องเหลืองจันทร์ กล้วยไม้สกุลม็อคคาร่า ได้แก่ ม็อคคาร่าจิตติ ม็อคคาร่าหมทอง ม็อคคาร่านอราบูลู และม็อคคาร่าประกายเพชร ซึ่งกล้วยไม้บางชนิดยังมีการศึกษาไม่มาก ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาสารพฤกษเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาบดอกกล้วยไม้จำนวน 8 ชนิด ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีคุณสมบัติต้านการเกิดอนุมูลอิสระ ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสในอนาคต และใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชประเภทกล้วยไม้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้
2. เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้
3. เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมกลีบดอกกล้วยไม้

ดอกกล้วยไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กล้วยไม้สกุลหวาย ได้แก่ เอื้องแวมยุรา (สีเหลือง) เอื้องสายหลวง (สีขาวปนม่วง) เอื้องครึ่ง (สีชมพูอมม่วง) และเอื้องเหลืองจันทร์ (สีเหลือง) กล้วยไม้สกุลม็อคคาร่า ได้แก่ จิตติ (สีเหลือง) หมูทอง (สีส้ม) นอราบลู (สีม่วงอ่อน) และประกายเพชร (สีชมพูเข้ม) นำมาจากสวนกล้วยไม้ ในช่วงเดือนมีนาคม 2565 จากฟาร์มกล้วยไม้ จังหวัดนครปฐม โดยนำดอกกล้วยไม้แต่ละชนิดมาเด็ดเฉพาะกลีบดอกล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้งแห้งให้เป็นชิ้นเล็ก แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เมื่อดอกกล้วยไม้แห้ง หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด นำส่วนที่บดละเอียดมาชั่งน้ำหนัก

การสกัดกลีบดอกกล้วยไม้

นำผงของกลีบดอกกล้วยไม้ชนิดละ 500 กรัม มาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการหมัก (Maceration) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ทำการกรองเก็บสารละลาย นำไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนสุญญากาศ (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นำสารสกัดหยาดที่ได้มาชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละของสารสกัดหยาดกลีบดอกกล้วยไม้แต่ละชนิด

การคำนวณร้อยละของสารสกัดหยาด (%w/w) = (น้ำหนักสารสกัดหยาด x 100) / น้ำหนักแห้ง

การตรวจสอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้น

ทำการตรวจสอบสารพฤกษเคมีในสารสกัดหยาดกลีบดอกกล้วยไม้ เพื่อหาสารสำคัญ 9 กลุ่ม ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน โพลิฟีนอล เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และคาร์ดิออคไกลโคไซด์ โดยใช้ปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน ซึ่งดัดแปลงจาก วิธีการของ Koleva et al. (2002) และ Ayoola et al. (2008) แต่ละการทดสอบทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ดังนี้

การตรวจสอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม ละลายด้วย 50% ethanol ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า กรองนำสารละลายมาใส่หลอดแมกนีเซียม หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 หยด เขย่า นำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำ 3 นาที สารละลายเป็นสีเหลืองเข้ม แสดงว่า พบฟลาโวนอยด์

การตรวจสอบแอนทราควิโนน (Anthraquinones) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม เติมน้ำละลาย 10% H₂SO₄ ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า อุ่นบนเครื่องอังน้ำ 3 นาที กรอง นำสารละลายที่ได้เติมน้ำละลาย 10% NH₃ ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า สารละลายเป็นสีชมพูแดง แสดงว่า พบแอนทราควิโนน

การตรวจสอบคูมาริน (Coumarins) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม เติมละลายด้วย 50 % ethanol ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า กรอง นำสารละลายที่ได้เติมสารละลาย 6M NaOH ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า สารละลายเป็นสีเหลืองเข้ม แสดงว่า พบคูมาริน

การตรวจสอบซาโปนิน (Saponins) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร อุณหภูมิห้อง 5 นาที เขย่า พบฟองถาวร แสดงว่า พบซาโปนิน

การตรวจสอบแทนนิน (Tannins) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร อุณหภูมิห้อง 5 นาที กรอง นำสารละลายที่ได้เติมสารละลาย 1% FeCl₃ 3 หยด เขย่า สารละลายสีเขียวดำ หรือน้ำเงินดำ แสดงว่า พบแทนนิน

การตรวจสอบโพลบาแทนนิน (Phlobatannins) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร อุณหภูมิห้อง 5 นาที กรอง นำสารละลายที่ได้เติมสารละลาย 10% HCl ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า นำไปอุณหภูมิห้อง 5 นาที สารละลายเป็นสีเขียวดำ หรือน้ำเงินดำ แสดงว่า พบโพลบาแทนนิน

การตรวจสอบเทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์มปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า กรองนำสารละลายที่ได้ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 หยด พบวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริก แสดงว่า พบเทอร์ปีนอยด์

การตรวจสอบสเตียรอยด์ (Steroids) ชั่งสารสกัด 0.1 กรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์มปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่า กรองนำสารละลายที่ได้ เติมกรดแกลเซียลแอซิดิก 3 หยด เขย่า เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 หยด สารละลายเป็นสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเขียว แสดงว่า พบสเตียรอยด์

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงวิธีจาก Tsai et al., 2005)

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ที่ความเข้มข้นเป็น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นที่ปริมาตร 125 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 125 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที เติมสารละลาย 7% Na₂CO₃ ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Libra S70 สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดหยาบตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg GAE/g extract) แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (ดัดแปลงวิธีจาก Prommuak et al., 2008)

เตรียมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีติน ที่ความเข้มข้นเป็น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นที่ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย 1% AlCl₃ ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Libra S70 สำหรับ Blank ใช้น้ำกลั่น และทำการหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดหยาบตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานของเคอร์ซีติน ในหน่วย

มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg QE/g extract) แต่แต่ละตัวอย่างทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ดัดแปลงวิธีจาก Prommuak et al., 2008)

เตรียมสารละลายสารมาตรฐาน BHA (Butylated hydroxyanisole), BHT (Butylated hydroxytoluene) และแอลฟา-โทโคฟีรอล (α -tocopherol) และสารสกัดหยาบตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้น 50, 250, 500 และ 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานหรือสารสกัดแต่ละความเข้มข้นที่ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 6×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Libra S70 โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหา % Radical scavenging จากสูตร

$$\% \text{ Radical scavenging} = [(Ac - As)/Ac] \times 100$$

โดย Ac คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

As คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

ค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Effective concentration (EC_{50}) หรือค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลง 50% จากกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับ % Radical scavenging

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS decolorization scavenging effect (ดัดแปลงวิธีจาก Phansawan, 2013)

เตรียมสารละลาย ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ผสมสารละลาย ABTS และสารละลาย Potassium persulfate เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง จะได้สารละลาย ABTS radical หลังจากนั้นนำมาเจือจางด้วย 99% เอทานอล ให้มีค่าการดูดกลืนคลีนแสงเท่ากับ 0.70 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่นที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Libra S70 ทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 50, 250, 500 และ 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นที่ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Libra S70 และทำการเตรียมสารละลายสารมาตรฐาน BHT, BHA และ α -tocopherol เหมือนสารตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยเปรียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของ BHT, BHA และแอลฟา-โทโคฟีรอล

การวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (ดัดแปลงวิธี จาก Long et al., 2002)

เตรียมสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานกรดโคจิก (Kojic acid) ที่ความเข้มข้น 50, 250, 500 และ 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ในเอทานอล นำสารละลายตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นมาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสโดยใช้ Dopachrome method เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดโคจิก (Kojic acid) ทำการเติมสารละลาย Control (Sodium phosphate buffer 0.02 โมลาร์ (pH 6.8)

1500 ไมโครลิตร สารละลายเอนไซม์ไทโรซิเนส 1,000 ยูนิต/มิลลิลิตร ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และ 99% ethanol 500 ไมโครลิตร) และสารละลายตัวอย่าง (Sodium Phosphate Buffer 0.02 โมลาร์ (pH 6.8) 1500 ไมโครลิตร สารละลายเอนไซม์ไทโรซิเนส 500 ไมโครลิตร และสารละลายตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน 500 ไมโครลิตร) ลงในถาดหลุม (Cell culture plate) ของเครื่อง Microplate Reader รุ่น EnSpire 2300N เขย่าให้สารละลายผสมกัน บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร จากนั้นเติมสารละลาย L-DOPA (Butylated hydroxyanisole) 500 μ L ลงในจานหลุม ปรับปริมาตรด้วย 99% ethanol เขย่าให้สารละลายผสมกัน บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร อีกครั้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (%Tyrosinase Inhibition) ดังสมการ

$$\% \text{ Tyrosinase Inhibition} = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}} \times 100$$

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดกับ % Tyrosinase Inhibition เพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ 50% (EC₅₀)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple-range tests ที่ระดับ P < 0.05

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการสกัดสารจากกล้วยไม้

เมื่อนำดอกกล้วยไม้แต่ละชนิด มาอบแห้ง สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 % เป็นเวลา 7 วัน พบว่า สารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล มีส่วนสกัดหยาบที่มีลักษณะขุ่นเหนียว และมีน้ำหนักร้อยละของสารสกัดหยาบและร้อยละสารสกัดหยาบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักและร้อยละของสารสกัดหยาบดอกกล้วยไม้

ชนิดดอกกล้วยไม้	น้ำหนักสารสกัดหยาบ (กรัม)	ร้อยละสารสกัดหยาบ
กล้วยไม้สกุลหวาย		
เอื้องสายหลวง	15.26	3.05
เอื้องแวมยุรา	14.32	2.86
เอื้องครั่ง	13.52	2.70
เอื้องเหลืองจันทร์บูร	13.45	2.69
กล้วยไม้สกุลม็อคคารา		
จิตติ	13.90	2.78
หมูทอง	12.21	2.44
นอราบลู	15.35	3.07
ประกายเพชร	14.08	2.82

จากตารางที่ 1 เมื่อนำดอกกล้วยไม้แต่ละชนิดไปทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวายชนิดเอื้องสายหลวงมีน้ำหนักสารสกัดหยาดสูงที่สุด (15.26 กรัม) คิดเป็น ร้อยละสารสกัดหยาดเท่ากับ 3.05 รองลงมาคือ สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องแวมยुरา (14.32 กรัม) คิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาดเท่ากับ 2.86

สำหรับกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดนอรابلูมีน้ำหนักสารสกัดหยาดสูงที่สุด (15.35 กรัม) คิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาดเท่ากับ 3.07 รองลงมาคือ สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดประกายเพชร (14.08 กรัม) คิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาดเท่ากับ 2.82

ผลการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

เมื่อนำสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และดอกกล้วยไม้สกุลม็อคคารามาตรวจสอบ สารพิษเคมีเบื้องต้น โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา

สารสกัดหยาด ดอกกล้วยไม้	ฟลาโวนอยด์	แอนทราควิโนน	คูมาริน	ซาโปนิน	แทนนิน	โพลีฟีนอล	เทอร์ปีนอยด์	สเตียรอยด์	คาร์ดิแอกไกลโคไซด์
สกุลหวาย									
เอื้องสายหลวง	+	-	+	-	+	-	+	+	+
แวมยुरา	+	-	+	-	+	-	+	+	+
เอื้องครึ่ง	+	-	+	-	+	-	+	+	+
เหลืองจันทร์บุร	+	-	+	-	+	-	+	+	+
สกุลม็อคคารา									
จิตติ	+	-	+	-	+	-	+	+	+
หมูทอง	+	-	+	-	+	-	+	+	+
นอรابلู	+	-	+	-	+	-	+	+	+
ประกายเพชร	+	-	+	-	+	-	+	+	+

หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ + หมายถึง ตรวจสอบพบ

จากตารางที่ 2 แสดงการตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย 4 ชนิด และสกุลม็อคคารา 4 ชนิด โดยพบสารพิษเคมี 6 ชนิด ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องแวมยुरามีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (208.58 ± 1.00 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง) รองลงมา คือ สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องเหลืองจันทร์บุร (197.36 ± 1.98

มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) เอื้องครึ่ง (197.36 ± 1.98 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) และเอื้องสายหลวง (156.89 ± 1.23 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) ตามลำดับ สำหรับกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดนอราบลูมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (198.23 ± 1.56 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) รองลงมา คือ หมูทอง (14.08 มิลลิกรัมสมมูลของ กรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) ประกายเพชร (156.25 ± 1.01 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) และจิตติ (132.32 ± 1.00 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวายชนิดเอื้องแวมยุรา มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (219.65 ± 1.83 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) รองลงมา คือ เอื้องเหลืองจินฑูร (201.23 ± 1.21 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) เอื้องครึ่ง (188.21 ± 1.02 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) และเอื้องสายหลวง (166.36 ± 1.53 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) ตามลำดับ และในกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดนอราบลูมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด (203.67 ± 1.02 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) รองลงมา คือ หมูทอง (187.39 ± 1.21 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) ประกายเพชร (167.24 ± 1.12 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) และจิตติ (141.25 ± 1.76 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัม น้ำหนักสารสกัดแห้ง) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา

สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g)
สกุลหวาย		
เอื้องสายหลวง	156.89 ± 1.23^a	166.36 ± 1.53^a
เอื้องแวมยุรา	208.58 ± 1.00^a	219.65 ± 1.83^a
เอื้องครึ่ง	176.45 ± 1.03^a	188.21 ± 1.02^a
เอื้องเหลืองจินฑูร	197.36 ± 1.98^a	201.23 ± 1.21^a
สกุลม็อคคารา		
จิตติ	132.32 ± 1.00^a	$141.25 \pm .176^a$
หมูทอง	171.49 ± 1.35^a	187.39 ± 1.21^a
นอราบลู	198.23 ± 1.56^a	203.67 ± 1.02^a
ประกายเพชร	156.25 ± 1.01^a	167.24 ± 1.12^a

หมายเหตุ ^a แสดงถึงไม่มีความแตกต่างของชุดข้อมูลในแต่ละคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากตารางที่ 3 เมื่อทำการทดสอบเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กับ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g) จากสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ในแต่ละสกุลพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ในการทดลองจะทำการสกัดด้วยเอทานอล ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณสูง เนื่องจาก สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีความเป็นขี้ จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขี้ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขี้สูงในตัวทำละลายจำพวก แอลกอฮอล์ได้ดี ทำให้สารประกอบฟีนอลิกสามารถละลายได้ดีในเอทานอล (Zhou et al., 2016)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคาราแต่ละชนิดมีความแตกต่างของปริมาณสารสำคัญทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นดอกกล้วยไม้ต่างสายพันธุ์กันแม้ว่าจะอยู่ในสกุลหวายและสกุลม็อคคาราเหมือนกันก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jullapo (2016) ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.15-5.34 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง และฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.12-4.01 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/กรัมน้ำหนักสารสกัดแห้งในกล้วยไม้สกุลหวายชนิดอื่นๆ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในครั้งนี้เลือกการทดสอบคุณสมบัติในการเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH assay และ ABST assay ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว เนื่องจาก DPPH และ ABST เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร โดยอนุมูล DPPH และ ABST เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้วไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกับ ABST โดยเป็นการวัดความสามารถของสารที่ต้องการจะทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้ในการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระโดยทั่วไป ส่วนการทดสอบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABST เป็นวิธีที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกซิ เนื่องจาก ABST เป็นอนุมูลอิสระที่สลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซิ ซึ่งการทดสอบทั้งสองวิธีนี้สามารถทำปฏิกิริยาในตัวกลางที่เป็นสารอินทรีย์ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การวิจัยนี้รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระลดลง 50 % (EC_{50}) โดยค่าที่น้อยจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH จากสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย โดยพบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องแวมมยุรา มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay สูงที่สุด (EC_{50} 15.34 \pm 1.30 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รองลงมา คือ สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องเหลืองจันทร์บุร (EC_{50} 18.20 \pm 1.91 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) เอื้องครั้ง (EC_{50} 20.12 \pm 1.12 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และเอื้องสายหลวง (EC_{50} 23.63 \pm 1.68 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ และในกล้วยไม้สกุลม็อคคารา พบว่า ชนิดหมูทองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH สูงที่สุด (EC_{50} 11.90 \pm 1.27 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รองลงมา คือ นอราบลู (EC_{50} 13.11 \pm 1.90 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปรกายเพชร (EC_{50} 15.35 \pm 1.07 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และจิตติ (EC_{50} 17.33 \pm 1.11 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ ผลจากการทดลอง พบว่า สารสกัดจากดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ได้มากกว่า สารมาตรฐาน BHA, BHT และ α -tocopherol ดังตารางที่ 4 ตามลำดับ

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay เป็นวิธีการตรวจวัดอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว (Phunsawan, 2013) โดยวิธีการตรวจวัดดังกล่าวรายงานค่าเป็น EC₅₀ ที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยทำให้ความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลดลงร้อยละ 50 และจากผลการทดลองจะ พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดแวมยูรามิมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด สำหรับกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดหมูทอง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เนื่องจากเอื้องแวมยูรา หมูทอง มีสีเหลือง และมีสีที่มีความเข้มกว่า เอื้องเหลืองจันทบูร จิตติ เอื้องครึ่ง เอื้องสายหลวง นอราบลู และประกายเพชร โดยสารสีหรือรงควัตถุ (Pigment) มีสีเหลือง ส้ม และส้มแดง ที่พบในพืชและดอกไม้ เป็นสารกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Nguyen et al., 2018; Siriwattanamethanon, 2020; Prapalert et al., 2018)

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS จากสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย โดยพบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องแวมยูรามิมีฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS สูงที่สุด (EC₅₀ 7.33 ± 1.02 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รองลงมา คือ สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องเหลืองจันทบูร (EC₅₀ 9.32 ± 1.11 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) เอื้องครึ่ง (EC₅₀ 10.43 ± 1.04 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และเอื้องสายหลวง (EC₅₀ 12.74 ± 1.34 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ ในกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดหมูทอง มีฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS สูงที่สุด (EC₅₀ 8.43 ± 1.45 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รองลงมา คือ นอราบลู (EC₅₀ 9.19 ± 1.06 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ชนิดประกายเพชร (EC₅₀ 10.07 ± 1.56 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และจิตติ (EC₅₀ 12.44 ± 1.29 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ ผลจากการทดลอง พบว่า สารสกัดจากดอกกล้วยไม้สกุลหวายทั้งและมีม็อคคารามีฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS ได้มากกว่า สารมาตรฐาน BHA, BHT และ α-tocopherol ข้อมูลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา

สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้	ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ	
	DPPH assay EC ₅₀ (mg/ml)	ABTS assay EC ₅₀ (mg/ml)
สกุลหวาย		
เอื้องสายหลวง	23.63 ± 1.68 ^a	12.74 ± 1.34 ^b
แวมยูรา	15.34 ± 1.30 ^a	7.33 ± 1.02 ^b
เอื้องครึ่ง	20.12 ± 1.12 ^a	10.43 ± 1.04 ^b
เหลืองจันทบูร	18.20 ± 1.91 ^a	9.32 ± 1.11 ^b
สกุลม็อคคารา		
จิตติ	17.33 ± 1.11 ^a	12.44 ± 1.29 ^b
หมูทอง	11.90 ± 1.27 ^a	8.43 ± 1.45 ^b
นอราบลู	13.11 ± 1.90 ^a	9.19 ± 1.06 ^b
ประกายเพชร	15.35 ± 1.07 ^a	10.07 ± 1.56 ^b
BHT	19.50 ± 1.37 ^a	11.22 ± 1.38 ^b
BHA	18.34 ± 1.89 ^a	10.02 ± 1.45 ^b
α-tocopherol	17.08 ± 1.09 ^a	9.23 ± 1.11 ^b

หมายเหตุ ^{a,b} แสดงถึงความแตกต่างของชุดข้อมูลในแต่ละคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ค่าเฉลี่ยของ DPPH assay EC_{50} กับ ABTS assay EC_{50} จากสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ในแต่ละสกุลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การตรวจสอบคุณสมบัติฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS จากการทดลอง พบว่า สารสกัดจากดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และกล้วยไม้สกุลม็อคคาราทั้งหมดมีฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS ได้แตกต่างกัน และพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูล ABTS มีความสอดคล้องกับผลการทดลองฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดจากกล้วยไม้มีองค์ประกอบทางเคมีหลากหลาย ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบอัลคาลอยด์ และสารประกอบอื่นๆ (Amic et al., 2003) ซึ่งสารแต่ละชนิดมีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสจากสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องแวมยูรา มีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงที่สุด (EC_{50} 15.09 ± 1.92 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รองลงมา คือ เอื้องเหลืองจันทร์บูร (EC_{50} 16.39 ± 1.76 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) เอื้องครั่ง (EC_{50} 19.45 ± 1.05 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และเอื้องสายหลวง (EC_{50} 23.82 ± 1.43 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ และในกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดหมูทอง มีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงที่สุด (EC_{50} 12.44 ± 1.29 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รองลงมา คือ ประกายเพชร (EC_{50} 21.23 ± 1.67 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) นอราบลู (EC_{50} 25.46 ± 1.78 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และจิตติ (EC_{50} 27.91 ± 1.23 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ตามลำดับ ผลจากการทดลอง พบว่า สารสกัดจากดอกกล้วยไม้สกุลหวายและสกุลม็อคคาราทั้ง 4 ชนิด มีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้แต่น้อยกว่าสารมาตรฐาน Kojic acid ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ฤทธิ์ต้านเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา

สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้	Tyrosinase Inhibitory activity (EC_{50} mg/ml)
สกุลหวาย	
เอื้องสายหลวง	23.82 ± 1.43
เอื้องแวมยูรา	15.09 ± 1.92
เอื้องครั่ง	19.45 ± 1.05
เอื้องเหลืองจันทร์บูร	16.39 ± 1.76
สกุลม็อคคารา	
จิตติ	27.91 ± 1.23
หมูทอง	18.48 ± 1.04
นอราบลู	25.46 ± 1.78
ประกายเพชร	21.23 ± 1.67
Kojic acid	0.39 ± 1.23

ทั้งนี้เมื่อนำฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารามาเปรียบเทียบกับฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสดีกว่าสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลม็อคคารา การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

ไทโรซิเนสด้วยวิธี Dopachrome โดยใช้ L-DOPA เป็นสารตั้งต้น ซึ่งเอนไซม์ไทโรซิเนสจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยน L-DOPA ไปเป็น L-Dopaquinone ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็น Dopachrome ด้วยกระบวนการออกซิเดชัน เกิดเป็นสารละลายสีส้มแดง มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร จากการทดสอบ พบว่า สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารามีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้ สารประกอบฟีนอลิกมีสภาพขั้วค่อนข้างสูง มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสที่มีบทบาทสำคัญ ในการสร้างเม็ดสีเมลานิน โดยจะเปลี่ยนสาร Tyrosine ไปเป็นสาร DOPA และ DOPA quinone จนกระทั่ง กลายเป็นเม็ดสีดำของ Eumelanin (พิมพร ลีลาพรพิสิฐ, 2544) การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาด ดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคาราอาจมาจากสารในกลุ่มไฮดรอกซิลของสารประกอบฟีนอลิก ในสารสกัดเกิดพันธะไฮโดรเจนกับบริเวณเร่ง หรือบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณเร่งของเอนไซม์ ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์มีประสิทธิภาพการทำงานลดลง โดยเอนไซม์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถ ทำงานได้ (Madhan et al., 2007) และยังพบว่า สารในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่มีสมบัติ ในการเป็นตัวจับ (Chelators) ที่สามารถจับกับไอออน Zn^{2+} บริเวณเร่งของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถ ทำงานได้อย่างปกติ (Malešev & Kuntić, 2007) ทั้งนี้การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสอาจจะเป็นผลมาจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากสมบัตินี้เหมาะแก่การนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิวเพื่อ ลดจุดด่างดำ และช่วยให้ผิวมีความกระจ่างใส โดยต้องผ่านกระบวนการแยกเอาสารออกฤทธิ์มาใช้

สรุป

ผลการทดลองในครั้งนี้ศึกษาสารฟลักซ์เคมีเบื้องต้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ ทั้งหมดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้ สกุลหวาย และ สกุลม็อคคาราที่สกัดด้วยเอทานอล 95% พบว่าสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารา มีสารฟลักซ์เคมี 6 ชนิด ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนิน ทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ สารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวายชนิดแวมยุรา กล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดนอร่าลูมีปริมาณฟีนอลิก ทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด สำหรับประสิทธิภาพฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สารสกัด หยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวาย ชนิดเอื้องแวมยุรา และกล้วยไม้สกุลม็อคคาราชนิดหนูทอง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สูงที่สุด เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH assay และ ABTS assay และสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลหวายจะมี ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่าสารสกัดหยาดดอกกล้วยไม้สกุลม็อคคารา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ดอกกล้วยไม้สกุลหวาย และสกุลม็อคคารามีคุณสมบัติฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ที่สามารถนำไปต่อยอดประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วยไม้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยต่อไปควรแยกองค์ประกอบเพื่อหาโครงสร้างทางเคมี และทดสอบความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลที่สนับสนุนการพัฒนาพืชสมุนไพรต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- จริษตรี เทพจันทร์, นภัสกร ยะคะเรศ, และเปรมกมล นิธิชนกุล. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บำรุงผิวจากสารสกัดผลมะม่วงหาวมะนาวโห่. ชลบุรี: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พิมพ์กร ลีลาพรพิสิฐ. (2544). เครื่องสำอางสำหรับผิวแห้ง. (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สมชาติ แม่นปิ่น. (2559). การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสโดยสารบริสุทธิ์จากน้ำมันหอมระเหยของใบเร่วหอม (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยบูรพา.
- อัญชญา เจนวิถีสุข. (2544) การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Amic, D., Davidovic-Amic D., Beslo D., & Trinajstic. N. (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatia Chemical Acta*, 76(1), 55–61.
- Ayoola, G.A., Coker, H.A.B., Adesegun, S.A., Adepoju-Bello, A.A., Obaweya, K., Ezennia, E.C., & Atangbayila, T.O. (2008). Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in southwestern Nigeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3), 1019–1024.
- Hossain, M.M. (2011). Therapeutic orchids: traditional uses and recent advances-an overview. *Fitoterapia*, 82(2), 102-140.
- Jullapo, N. (2016). **Phytochemical screening and biological activities of Dendrobium spp.** Master's Thesis. Burapha University.
- Koleva, I.I., van Beek, T.A., Linssen, J.P., de Groot, A., & Evstatieva, L.N. (2002). Screening of plant extracts for antioxidant activity: A comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis*, 13(1), 8-17.
- Long, Z.P., Park, H.R., Park, Y.K., Lee, S.K., Park, J.H., & Park, M.K. (2002). Mushroom Tyrosinase Inhibition Activity of Some Chromones. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 50(3), 309-311.
- Liu, Y.N., Pan, S.L., Peng, C.Y., Huang, D.Y., Guh, J.H., Chen, C.C., Shen, C.C., & Teng, C.M. (2010). Moscatilin repressed lipopolysaccharide-induced HIF-1 α accumulation and NF-KB activation in murine RAW264.7 cells. *Shock*, 33(1), 70-75.
- Luo, A.X., Ge, Z., Fan, Y.J., Luo, A.S., Chun, Z., & He, X.J. (2011). In vitro and in vivo antioxidant activity of a water-soluble polysaccharide from *Dendrobium denneanum*. *Molecules*, 16, 1579-1592.
- Madhan, B., Krishnamoorthy, G., Rao, J. R., & Nair, B. U. (2007). Role of green tea polyphenols in the inhibition of collagenolytic activity by collagenase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 41(1), 16-22.
- Malešev, D., & Kuntić, V. (2007). Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 72(10), 921-939.

- Nguyen, H.A., Lin, K.H., Huang, M.Y., Yang, C.M., Shin, T.H., Hsiung, T.C., Lin, Y. C., & Tsao, F.C. (2018). Antioxidant activities of the methanol extracts of various parts of *Phalaenopsis* Orchids with white, yellow, and purple flowers. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, 46(2), 457-465.
- Phansawan, B. (2013). Free radicals, Antioxidants and antioxidant activity determination. **Journal of Science and Technology**, 21(3), 275–286.
- Prapalert, W., Phottraithip, W., & Chotikadachanarong, K. (2019). **Study of the activity of phytochemicals in wild orchids. and propagation guidelines for communities.** Retrieved from <http://www.research.cmru.ac.th/research59/ris/view.php?no=904>.
- Prommuak, C., De-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.
- Shafazila, T.S., Lee, P.M., & Hung, L.K. (2010). **Radical scavenging activities of extract and solvent-solvent partition fractions from *Dendrobium Sonia* ‘Red Bom’ flower.** pp. 762-765. In International Conference on Science and Social Research 2010. Malaysia.
- Siriwattanamethanon, N. (2020). **Multi-coloured food There are many benefits (Part 1): What are multicolored foods.** Retrieved from <https://pharmacy.mahidol.ac.th/knowledge/files/0148.pdf>.
- Tsai, C.C., Chen, H.S., Chen, S.L., Ho, Y.P., Ho, K.Y., & Wu, Y.M. (2005). Lipid peroxidation: A possible role in the induction and progression of chronic periodontitis. **Journal Periodontal Research**, 40(5), 378–384.
- Tsai, A.C., Pan, S.L., Liao, C.H., Guh, J.H., Wang, S.W., Sun, H.L., Liu, Y.N., Chen, C.C., Shen, C.C., Chang, Y.L., & Teng, C.M. (2010). Moscatilin, a bibenzyl derivative from the India orchid *Dendrobium loddigesii*, suppresses tumor angiogenesis and growth in vitro and in vivo. **Cancer Letters**, 292(2), 163-170.
- Yang, L., Wang, Z., & Xu, L. (2006). Simultaneous determination of phenols (bibenzyl, phenanthrene, and fluorenone) in *Dendrobium* species by high-performance liquid chromatography with diode array detection. **Journal of Chromatography A**, 1104, (1-2), 230-237.
- Zhou, X.M., Zheng, C.J., Gan, L.S., Chen, G.Y., Zhang, X.P., Song, X.P., Li, G.N., & Sun, C.G. (2016). Bioactive Phenanthrene and Bibenzyl Derivatives form the Stems of *Dendrobium nobile*. **Journal of Natural Products**, 79, 1791-1797.

ความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมต่อยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

เมอลินญ์ สิริเศษณ์ภพ¹ สมคิด ตันแก้ง^{2*} จันทรรัตน์ จาริกสกุลชัย³ รัฐพล ศิลปรัตน์⁴

Received : July 18, 2023

Revised : March 20, 2024

Accepted : June 21, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสมุนไพรไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรู้ ทักษะ พฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ และความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ โดยมีการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล ในกลุ่มตัวอย่างอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี จำนวน 400 คน ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน สถิติที่ใช้ ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ Spearman's correlation

ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 21.31 ปี แบ่งเป็นเพศหญิงร้อยละ 57.25 (229 คน) เพศชายร้อยละ 42.75 (171 คน) มีความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณในระดับปานกลาง ทักษะเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอยู่ในระดับดี และพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอยู่ในระดับต่ำ เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับทัศนคติเกี่ยวกับยาแผนโบราณ และความรู้กับพฤติกรรมที่มีต่อยาแผนโบราณ พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้านพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณพบว่า เมื่อมีอาการเจ็บป่วยเกิดขึ้นกลุ่มตัวอย่างเลือกไปพบแพทย์/สถานบริการสาธารณสุขมากที่สุด ร้อยละ 61.50 (246 คน) ส่วนการซื้อยาสมุนไพร/ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณมาใช้เองพบว่า มีเพียงร้อยละ 2.75 (11 คน) สอดคล้องกับผลการวิจัยที่พบว่าพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอยู่ในระดับต่ำ จึงควรส่งเสริมให้มีการใช้ยาสมุนไพร ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณตั้งแต่ระดับครอบครัว เพื่อช่วยยกระดับมาตรฐาน คุณภาพและเพิ่มมูลค่าของสมุนไพรไทย

คำสำคัญ: ความรู้ ทักษะ พฤติกรรม ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพและความงาม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: ploychayarin.ra@vru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสาธารณสุข คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: somkid.tan@vru.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพและความงาม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: Juntarat.ja@vru.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพและความงาม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: ratthapol@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: somkid.tan@vru.ac.th

KNOWLEDGE, ATTITUDE AND BEHAVIOR TOWARD TRADITIONAL HOUSEHOLD DRUGS IN POPULATION 15-29 YEAR OLD, PHATHUMTHANI PROVINCE THAILAND

Cherlyn Sirisetpop¹ Somkid Tangkan^{2*} Juntarat Jaricksakulchai³
Ratthapol Sillaparassamee⁴

Abstract

Currently, the Thai government has been promoting the use of traditional Thai household drugs to create value-added herb products. This quantitative research study aimed to explore knowledge, attitudes, and behaviors regarding traditional household drugs and the relationship between knowledge, attitudes, and behaviors in their usage. Data were collected using survey questionnaires from 400 individuals aged 19-25 years. Selected through a Multi-Stage Sampling process. Statistical analysis involved percentage, mean, standard deviation (SD), and Spearman's correlation.

The results showed that the sample had an average age of 21.31 years, with 57.25% females (229 people) and 42.75% males (171 people). Their knowledge and attitudes about Thai traditional medicine were at high and medium levels, respectively, while their behavior in using traditional household drugs was at a low level. Relationships between knowledge and attitudes about traditional household drugs, and between knowledge and behavior in using traditional household drugs, were found to have a statistically significant relationship at the 0.05 level. Regarding Thai traditional drug use behavior, it was found that 61.50% (246 people) of respondents chose to consult a doctor for diagnosis or treatment most frequently, while only 2.75% (11 people) opted for self-herbal medication, indicating a low level of agreement with the use of traditional drugs, which was in line with the research result indicating low behavior of using traditional drugs. Therefore, promoting the use of traditional household drugs should be extended from the family to the community level in order to improve the quality standards of Thai herbal products and increase the value of Thai herb products.

Keywords: Knowledge, Attitude, Behavior, Traditional household drugs

¹ Lecturer, Department of Health and Aesthetic, Faculty of Public Health, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: ploychayarin.ra@vru.ac.th

² Lecturer, Department of Disaster Management and Public Hazard Mitigation, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: somkid.tan@vru.ac.th

³ Lecturer, Department of Health and Aesthetic, Faculty of Public Health, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: Juntarat.ja@vru.ac.th

⁴ Lecturer, Department of Health and Aesthetic, Faculty of Public Health, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: ratthapol@vru.ac.th

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

บทนำ

ยาแผนโบราณ เป็นยาที่มุ่งหมายสำหรับใช้ในการประกอบโรคศิลปะแผนโบราณ ซึ่งอยู่ในตำรายาแผนโบราณที่รัฐมนตรีประกาศหรือยาที่รัฐมนตรีประกาศให้เป็นยาแผนโบราณหรือยาที่ได้รับอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนตำรับยาเป็นยาแผนโบราณ (สภาเภสัชกรรม, 2565) ส่วนยาสามัญประจำบ้าน หมายความว่า ยาแผนปัจจุบันหรือ ยาแผนโบราณที่รัฐมนตรีประกาศ เป็นยาสามัญประจำบ้าน (สภาเภสัชกรรม, 2565) ซึ่งข้อดีของการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณคือ มีความปลอดภัยเนื่องจากผลิตจากสมุนไพร จึงไม่ค่อยเป็นพิษหรือมีผลข้างเคียงน้อย (ปิยพรรณ รัตนพิกุล และพิรพงษ์ พุศิริ, 2555) ต่างกับยาแผนปัจจุบันที่เป็นเคมีสังเคราะห์ มักจะออกฤทธิ์ฉับพลันอาจเกิดอันตรายต่อชีวิตได้ และการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณในการรักษายังทำให้ผู้ป่วยประหยัดงบประมาณการใช้จ่ายไปอีกทางหนึ่ง เพราะสมุนไพรโดยทั่วไปมีราคาถูก บางอย่างสามารถปลูกใช้ได้ภายในครอบครัว สำหรับผู้ป่วยที่อาศัยอยู่ในชนบทหรือห่างไกลจากสถานบริการสามารถใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณจากสมุนไพรที่หาได้ในท้องถิ่นในการช่วยบรรเทาอาการเบื้องต้นได้ ซึ่งสมุนไพรบางอย่างเป็นทั้งอาหารและยาในตัวเดียวกัน อีกทั้งการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณช่วยลดงบประมาณการนำเข้ายาจากต่างประเทศเป็นมูลค่านับหมื่นล้านบาท โดยสมุนไพรบางชนิดที่มีอยู่สามารถทดแทนการใช้ยาแผนปัจจุบันได้ ซึ่งสมุนไพรต่างๆเหล่านั้นจะอยู่ในรูปแบบของยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณที่รัฐมนตรีประกาศ ปัจจุบันกรมการแพทย์แผนไทยและกระทรวงสาธารณสุขได้มีการส่งเสริมการใช้ยาแผนโบราณเพิ่มมากขึ้น เห็นได้จากอัตราการเติบโตของการขึ้นทะเบียนยาแผนโบราณจากเดิม จำนวน 487 ตำรับในปี 2552 เพิ่มขึ้นเป็น 815 ตำรับในปี 2553 และเพิ่มขึ้นอีกเป็น 848 ตำรับในปี 2554 ตามลำดับ (สำนักยา, 2556)

จากการสำรวจ พบว่า ประชาชนเคยได้รับข่าวสารเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สมุนไพรและบริการด้านการแพทย์แผนไทย ถึงร้อยละ 96.57 และมีเพียงร้อยละ 3.43 เท่านั้น ที่ไม่เคยได้ยิน โดยช่องทางจากสื่อทั่วไปที่เคยได้ยินหรือรับรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สมุนไพรและบริการด้านการแพทย์แผนไทยมากที่สุดคือ สื่อทางโทรทัศน์ ร้อยละ 73.44 รองลงมาคือ ผ่านทางเฟซบุ๊ก ร้อยละ 53.61 และผ่านสื่อสิ่งพิมพ์ ร้อยละ 32.46 ตามลำดับ ส่วนรูปแบบของผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยที่เคยใช้มากที่สุดคือ ยาสมุนไพร ร้อยละ 81.31 รองลงมา คือ เครื่องสำอางร้อยละ 43.72 และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากสมุนไพร ร้อยละ 27.51 ตามลำดับ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2562) แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันยาสมุนไพรเป็นที่พบเห็นได้ทั่วไป และสามารถซื้อใช้ได้ด้วยตนเองตามร้านสะดวกซื้อ จึงทำให้ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ในการรักษาอาการเจ็บป่วยเบื้องต้นได้เอง และลดรายจ่ายในการรักษาพยาบาลได้อย่างดี

จังหวัดปทุมธานีเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีความสำคัญและสนับสนุนการใช้ยาแผนโบราณหรือยาสมุนไพร โดยเห็นได้จากสถิติมูลค่าการใช้ยาสมุนไพร ปี พ.ศ. 2562 จังหวัดปทุมธานีมีมูลค่าการใช้ยาสมุนไพรอยู่ที่ 6,637,199.11 บาท และเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2563 มีมูลค่าอยู่ที่ 7,208,933.78 บาท แต่กลับลดลงในปี พ.ศ. 2564 เหลือเพียง 5,472,064.92 บาท โดยอันดับการใช้สมุนไพรที่มีมากที่สุดในปี พ.ศ.2564 ได้แก่ ยาประสมมะแว้ง ยาฟ้าทะลายโจร ยาขมิ้นชัน ไพลครีမ် และยาขงมะขามแขก ตามลำดับ โดยยาเหล่านี้จัดเป็นยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณที่สามารถหาซื้อมารับประทานได้ทั่วไป (ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC), 2566ค) เมื่อแยกตามรายอายุพบว่า ปี พ.ศ. 2562 ช่วงอายุที่มีการใช้ยาสมุนไพรมากที่สุดคือ ช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป มีการใช้ยาสมุนไพรอยู่ที่ 37,256 คน รองลงมาคือ ช่วงอายุ 45-59 ปี 24,933 คน ช่วงอายุ 30-44 ปี 15,996 คน และช่วงอายุ 15-29 ปี 17,591 คน ตามลำดับ ถัดมาปี พ.ศ. 2563 ช่วงอายุที่มีการใช้ยาสมุนไพรมากที่สุดคือ

ช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป มีการใช้ยาสมุนไพรอยู่ที่ 38,151 คน รองลงมาคือ ช่วงอายุ 45-59 ปี 24,599 คน ช่วงอายุ 30-44 ปี 14,760 คน และ ช่วงอายุ 15-29 ปี 14,176 คน ตามลำดับ ลำดับจากการสำรวจปี พ.ศ. 2564 จังหวัดปทุมธานี พบว่าช่วงอายุที่มีการใช้ยาสมุนไพรมากที่สุดคือ ช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไปเช่นเดิม มีการใช้ยาสมุนไพรอยู่ที่ 32,108 คน รองลงมาคือ ช่วงอายุ 45-59 ปี 21,267 คน ช่วงอายุ 30-44 ปี 12,759 คน และ ช่วงอายุ 15-29 ปี 10,320 คน ตามลำดับ (ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC), 2566ช) เมื่อเปรียบเทียบ 3 ปี พบว่า กลุ่มอายุ 15-29 ปี เป็นกลุ่มอายุที่มีการใช้ยาสมุนไพรน้อยกว่ากลุ่มอายุอื่น ๆ ทั้ง ๆ ที่เป็นกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงสื่อต่าง ๆ ทั้งทางการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับสมุนไพร หรือทางโซเชียล มากกว่าช่วงกลุ่มอายุอื่น ๆ แต่กลับมีปริมาณการใช้ยาสมุนไพรที่น้อยกว่าช่วงกลุ่มอายุอื่น ๆ และปริมาณคนที่ใช้ยาสมุนไพรก็ลดลงเรื่อย ๆ จากปี พ.ศ. 2562 จำนวน 17,591 คน เหลือเพียง 14,176 คน ในปี พ.ศ.2563 และจากการสำรวจล่าสุดเหลือเพียง 10,320 คน ในปี พ.ศ. 2564 (ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC), 2566ก) สอดคล้องกับงานวิจัยของ เจษฎา อุดมพิทยาสรรพ์ (2563) ที่พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีทัศนคติต่อการใช้สมุนไพรรักษาโรคในภาพรวมอยู่ในระดับต่ำ และพฤติกรรมการใช้สมุนไพรในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง จึงทำให้ยาสมุนไพรไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบันเท่าที่ควร

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมต่ออาสาสมัครประจำบ้านแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับความรู้ ทัศนคติต่ออาสาสมัครประจำบ้านแผนโบราณของกลุ่มอายุ 15-29 ปี อันจะมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการใช้ยาสมัครประจำบ้านแผนโบราณ เพิ่มปริมาณการใช้ยาสมุนไพรในกลุ่มอายุ 15-29 ปี และทำให้ทราบถึงปัญหาและอุปสรรคในการใช้ยาสมัครประจำบ้านแผนโบราณที่สามารถหาข้อได้ด้วยตนเอง และนำไปสู่การแก้ไขต่อไป อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการใช้ยาแผนปัจจุบัน และลดมูลค่าในการนำเข้ายาแผนปัจจุบันจากต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความรู้เกี่ยวกับอาสาสมัครแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี
2. เพื่อศึกษาทัศนคติเกี่ยวกับอาสาสมัครแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมเกี่ยวกับอาสาสมัครแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการใช้ยาสมัครประจำบ้านแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) โดยวิธีการ (Methodology) เก็บข้อมูลจากการสำรวจ เดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ.2566 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมต่ออาสาสมัครแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม (Questionnaire) เกี่ยวกับความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมต่ออาสาสมัครแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ประชากรที่มีอายุระหว่าง 15-29 ปี ที่เกิดในช่วงปี พ.ศ. 2536-2550 และมีรายชื่ออยู่ในทะเบียนราษฎรจังหวัดปทุมธานี จำนวน 236,718 คน (ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC), 2564ง)

กลุ่มตัวอย่าง คือ ประชากรที่มีอายุระหว่าง 15-29 ปี ที่เกิดในช่วงปี พ.ศ. 2536-2550 และมีรายชื่ออยู่ในทะเบียนราษฎรจังหวัดปทุมธานี โดยกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณ ซึ่งกำหนดให้มีค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 5 ของจำนวนทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane, 1973) จำนวน 400 คน ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

n = ขนาดกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณ

e = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง (0.05)

N = ขนาดของประชากร

แทนค่าสูตรการคำนวณ

$$n = \frac{236,718}{1 + 236,718 (0.05)^2}$$

$$= \frac{236,718}{592.80}$$

$$= 400$$

การสุ่มตัวอย่าง (Random)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi stage sampling) โดยมีการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster sampling) โดยแบ่งประชากรตามอำเภอในจังหวัดปทุมธานี จำนวน 7 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอคลองหลวง อำเภอหนองเสือ อำเภอลำลูกกา อำเภอลาดหลุมแก้ว อำเภอธัญบุรี อำเภอเมืองปทุมธานี และอำเภอสสามโคก

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายโดยวิธีจับสลาก (Lottery) อำเภอ 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอหนองเสือ อำเภอลำลูกกา อำเภอลาดหลุมแก้ว และอำเภอธัญบุรี

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบโควตา (Quota sampling) โดยคำนึงถึงสัดส่วนของประชากรในแต่ละอำเภอ จากจำนวนทั้งหมด 4 อำเภอ (400 คน) โดยการเทียบบัญชีดีไทรยางค์ ได้จำนวนผู้สูงอายุรายอำเภอ ดังนี้

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

อำเภอ	จำนวนประชากรอายุ 15-29 ปี(คน)	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)
อำเภอหนองเสือ	10,792	35
อำเภอลำลูกกา	54,910	180
อำเภอลาดหลุมแก้ว	14,038	46
อำเภอธัญบุรี	42,616	139
	122,356	400

ขั้นตอนที่ 4 เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยพิจารณาเกณฑ์การคัดเลือกที่กำหนด จนครบตามจำนวน 400 คน

เกณฑ์การคัดเลือกผู้ยินยอมตนให้ทำการวิจัยเข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria)

1. อายุระหว่าง 15-29 ปี
2. อาศัยอยู่ในจังหวัดปทุมธานี ตั้งแต่ 6 เดือนขึ้นไป
3. เป็นผู้ที่ไม่มีสติสัมปชัญญะสมบูรณ์ สามารถสื่อสารภาษาไทยได้ดี และไม่มีปัญหาในการได้ยิน
4. เป็นผู้ที่ยินยอมและให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

เกณฑ์การคัดออกผู้ยินยอมตนให้ทำการวิจัยเข้าร่วมโครงการ (Exclusion criteria)

1. มีอาการเจ็บป่วยจนไม่สามารถตอบคำถามได้ และไม่สามารถสื่อสารกับผู้อื่นได้
2. ผู้ที่ไม่ประสงค์เข้าร่วมการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสอบถามความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ สำหรับวัยรุ่นอายุ 15-29 ปี ประกอบด้วยประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ จำนวน 6 ข้อ เป็นข้อคำถามให้เลือกตอบ

1.2 ความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ จำนวน 10 ข้อ เป็นข้อคำถามให้เลือกตอบ โดยวิธีการประเมินผลแบบสอบถามจะประเมินจากการให้คะแนน คือ

- | | | |
|------------------|-------------|-------------------------|
| - ข้อที่ตอบถูก | ให้ 1 คะแนน | |
| - ข้อที่ตอบผิด | ให้ 0 คะแนน | |
| คะแนนร้อยละ 8-10 | หมายถึง | มีความรู้ในระดับสูง |
| คะแนนร้อยละ 6-7 | หมายถึง | มีความรู้ในระดับปานกลาง |
| คะแนนร้อยละ 0-5 | หมายถึง | มีความรู้ในระดับต่ำ |

1.3 ทักษะเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ จำนวน 10 ข้อ เป็นข้อคำถามให้เลือกตอบ โดยวิธีการประเมินผลแบบสอบถามจะประเมินจากการให้คะแนน คือ

ตัวเลือก	คะแนนข้อความเชิงบวก	คะแนนข้อความเชิงลบ
5 คะแนน	หมายถึง มากที่สุด	1 คะแนน หมายถึง มากที่สุด
4 คะแนน	หมายถึง มาก	2 คะแนน หมายถึง มาก
3 คะแนน	หมายถึง ปานกลาง	3 คะแนน หมายถึง ปานกลาง
2 คะแนน	หมายถึง น้อย	4 คะแนน หมายถึง น้อย
1 คะแนน	หมายถึง น้อยที่สุด	5 คะแนน หมายถึง น้อยที่สุด
การแปลผลนำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยรายข้อใช้หลักการแปลดังนี้		
คะแนนระหว่าง 1.0 – 2.33		หมายถึง ทักษะดีอยู่ในระดับไม่ดี
คะแนนระหว่าง 2.34 – 3.66		หมายถึง ทักษะดีอยู่ในระดับปานกลาง
คะแนนระหว่าง 3.67 – 5.00		หมายถึง ทักษะดีอยู่ในระดับดี

1.4 พฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ จำนวน 10 ข้อ เป็นข้อคำถามให้ เลือกตอบ โดยวิธีการประเมินผลแบบสอบถามจะประเมินจากการให้คะแนน คือ

คะแนน	ตัวเลือก	เกณฑ์ในการแปลความหมายของคะแนนแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ
1 คะแนน	หมายถึง ปฏิบัติทุกครั้ง	คะแนนเฉลี่ย 2.34 – 3.00 หมายถึง ระดับสูง
2 คะแนน	หมายถึง ปฏิบัติบางครั้ง	คะแนนเฉลี่ย 2.34 – 3.00 หมายถึง ระดับปานกลาง
3 คะแนน	หมายถึง ไม่เคยปฏิบัติเลย	คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.66 หมายถึง ระดับต่ำ

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item Objective Congruence) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่าระหว่าง 0.67 – 1.00 ในทุกข้อคำถาม และนำเครื่องมือไปทดลองใช้ (Try out) กับประชากรที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน แล้วนำผลการทดลองมาใช้คำนวณเพื่อหาค่าความเที่ยง (Reliability) ด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach Alpha Coefficient) ได้ค่า 0.74

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตามเอกสารรับรองเลขที่ 0015/2565

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าคะแนนเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. สถิติเชิงอนุมาน (Inferential analytics) ได้แก่ หาค่าความสัมพันธ์ของความรู้กับทัศนคติเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ และความรู้กับพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ด้วยสถิติ Spearman's correlation

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 21.31 ปี เพศชายร้อยละ 42.75 เพศหญิงร้อยละ 57.25 ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 72.75 ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพนักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 75.00 และรายได้ต่อเดือน พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีรายได้ น้อยกว่า 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 41.50

กลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 7.87$, S.D. = 1.74) โดยพบว่า มีความรู้อยู่ในระดับร้อยละ 67.75 รองลงมาที่มีความรู้ในระดับปานกลางร้อยละ 22.75 และระดับต่ำร้อยละ 9.50 ดังตารางที่ 2 ข้อที่สามารถตอบถูกได้มากที่สุดได้แก่ ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณสามารถหาซื้อเองเพื่อรับประทานรักษาอาการเจ็บป่วยเบื้องต้นได้ ตามร้านสะดวกซื้อต่าง ๆ ร้อยละ 95.50 รองลงมาคือ เมื่อรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ถ้าเกิดอาการแพ้ควรหยุดยาทันที ร้อยละ 92.75 และเมื่อมีอาการไอ เจ็บคอ ใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ มะขามป้อม ร้อยละ 91.75 ตามลำดับ ส่วนข้อที่กลุ่มตัวอย่างตอบถูกน้อยที่สุดได้แก่ ยาจันทร์ลีลา เป็นยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ มีสรรพคุณแก้ไข้ สามารถกินแทนยาพาราเซตามอนได้ ตอบถูกเพียงร้อยละ 64.50

ตารางที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

ระดับคะแนนความรู้ เกี่ยวกับยาสามัญแผนโบราณ	ชาย		หญิง		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับต่ำ (0 – 5 คะแนน)	7	4.09	31	13.54	38	9.50
ระดับปานกลาง (6 – 7 คะแนน)	43	25.15	48	20.96	91	22.75
ระดับดี (8 – 10 คะแนน)	121	70.76	150	65.50	271	67.75

กลุ่มตัวอย่างมีทัศนคติเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้าน ในระดับดี ($\bar{X} = 3.73$, S.D. = 0.74) โดยพบว่า มีทัศนคติอยู่ในระดับดีร้อยละ 57.75 รองลงมา คือ มีทัศนคติอยู่ในระดับปานกลางร้อยละ 40.50 และระดับต่ำร้อยละ 1.75 ดังตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาเป็นรายพบว่า ข้อที่ได้คะแนนทัศนคติมากที่สุด ได้แก่ ท่านจะสนับสนุนให้มีการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ($\bar{X} = 4.04$, S.D. = 0.95) รองลงมา ได้แก่ ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ มาจากธรรมชาติ มีความปลอดภัย ($\bar{X} = 3.89$, S.D. = 1.01) เท่ากันกับท่านภูมิใจที่ได้ใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ($\bar{X} = 3.89$, S.D. = 1.03) และท่านคิดว่าควรสนับสนุนให้มีการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ กับการส่งเสริมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย กว่ายาแผนปัจจุบัน มีคะแนนเท่ากันคือ ($\bar{X} = 3.85$, S.D. = 1.01) ตามลำดับ ส่วนข้อที่กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนทัศนคติน้อยที่สุด ได้แก่ ท่านคิดว่ายาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เป็นของคนโบราณ ไม่ทันสมัย ไม่เหมาะกับปัจจุบัน ($\bar{X} = 2.94$, S.D. = 1.31)

ตารางที่ 3 ทัศนคติเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

ระดับคะแนนทัศนคติ เกี่ยวกับยาสามัญแผนโบราณ	ชาย		หญิง		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับต่ำ (1.00 – 2.33 คะแนน)	7	4.09	0	0.00	7	1.75
ระดับปานกลาง (2.34 – 3.66 คะแนน)	57	33.33	105	45.85	162	40.50
ระดับดี (3.67 – 5.00 คะแนน)	107	62.57	124	54.15	231	57.75

กลุ่มตัวอย่างมีพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอยู่ในระดับต่ำ ($\bar{X} = 1.65$, S.D. = 0.65) โดยพบว่า มีพฤติกรรมอยู่ในระดับดีร้อยละ 21.25 รองลงมา คือ มีทัศนคติอยู่ในระดับปานกลางร้อยละ 42.75 และระดับต่ำร้อยละ 36.00 ดังตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ข้อที่ได้คะแนนพฤติกรรมมากที่สุด ได้แก่ เมื่อท่านมีอาการเจ็บคอ ไอ มีเสมหะ ท่านรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เช่น มะขามป้อม มะนาว ยาประสะมะแว้ง ยาอามฤควาที ($\bar{X} = 2.09$, S.D. = 0.70) รองลงมา ได้แก่ เมื่อท่านมีอาการไข้ ท่านรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เช่น ฟ้าทะลายโจร ย่านาง ยาจันทลีลา ($\bar{X} = 1.99$, S.D. = 0.69)

และเมื่อท่านมีอาการท้องผูก ท่านรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เช่น มะขามแขก สมอเทศ สมอไทย กับเมื่อท่านมีอาการคลื่นเหียน อาเจียน ท่านรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เช่น ยาหอมนวโกฐ ยาหอมอินทจักร์ มีคะแนนเท่ากัน ($\bar{X} = 1.94$, S.D. = 0.71, $\bar{X} = 1.94$, S.D. = 0.18) ส่วนข้อที่กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนพฤติกรรมน้อยที่สุดได้แก่ เมื่อท่านมีอาการร้อนใน กระจายน้ำ ท่านรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เช่น ยาเขียวหอม ยาประสะจันทน์แดง ($\bar{X} = 1.84$, S.D. = 0.80)

ตารางที่ 4 พฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

ระดับคะแนนพฤติกรรมการใช้ยาสามัญ ประจำบ้านแผนโบราณ	ชาย		หญิง		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับต่ำ (1.00 – 1.66 คะแนน)	53	30.99	91	39.74	144	36.00
ระดับปานกลาง (1.67 – 2.33 คะแนน)	79	46.20	92	40.17	171	42.75
ระดับดี (2.34 – 3.00 คะแนน)	39	22.81	46	20.09	85	21.25

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความรู้ ทักษะคติ และพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

ความรู้ ทักษะคติ และพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ	\bar{X}	S.D.	แปลผล
ความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ	7.87	1.74	ระดับปานกลาง
ทักษะคติเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ	3.73	0.74	ระดับดี
พฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ	1.65	0.65	ระดับต่ำ

ทางด้านพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ พบว่า เมื่อมีอาการเจ็บป่วยเกิดขึ้น กลุ่มตัวอย่างเลือกที่จะไปพบแพทย์/สถานบริการสาธารณสุขมากที่สุด ร้อยละ 61.50 รองลงมา คือ การซื้อยาแผนปัจจุบันมารักษาเองร้อยละ 26.75 และดูแลตนเองโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 6.25 ตามลำดับ ด้านรูปแบบของยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณที่ใช้ พบว่า กลุ่มตัวอย่างใช้ในรูปแบบแคปซูลมากที่สุด ร้อยละ 35.50 รองลงมาคือรูปแบบเม็ด ร้อยละ 32.25 และรูปแบบน้ำ ร้อยละ 14.25 ตามลำดับ ส่วนสถานที่ที่กลุ่มตัวอย่างซื้อยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณมากที่สุดได้แก่ ร้านขายยาแผนปัจจุบัน ร้อยละ 50.75 รองลงมา ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อ ร้อยละ 18.75 และ ร้านขายยาสมุนไพร ร้อยละ 13.75 ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

คำถาม	จำนวน	ร้อยละ
เมื่อมีอาการเจ็บป่วยเกิดขึ้นท่านเลือกปฏิบัติตามข้อใดมากที่สุด		
- ไปพบแพทย์/สถานบริการสาธารณสุข	246 (61.50)	61.50
- ไปพบแพทย์แผนไทย/แพทย์แผนโบราณ	11 (2.75)	2.75
- ซื้อยาแผนปัจจุบันมารักษาเอง	107 (26.75)	26.75
- ซื้อยาสมุนไพร/ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณมาใช้เอง	11 (2.75)	2.75
- ดูแลตนเองโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย	25 (6.25)	6.25
ท่านใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณในรูปแบบใดมากที่สุด		
- ลูกกลอน	23 (5.75)	5.75
- เม็ด	129 (32.25)	32.25
- แคปซูล	142 (35.50)	35.50
- น้ำ	57 (14.25)	14.25
- ครีม	5 (1.25)	1.25
- ผง	39 (9.75)	9.75
- อื่นๆ	5 (1.25)	1.25
ท่านซื้อยาสามัญประจำบ้านจากที่ใดบ่อยที่สุด		
- ร้านขายยาแผนปัจจุบัน	203 (50.75)	50.75
- ร้านขายยาสมุนไพร	55 (13.75)	13.75
- คลินิกการแพทย์แผนไทย	48 (12.00)	12.00
- ร้านสะดวกซื้อ	75 (18.75)	18.75
- ร้านค้าออนไลน์	11 (2.75)	11 (2.75)
- อื่นๆ	8	2.00

ค่าเฉลี่ยคะแนนความรู้ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทัศนคติ ($r=0.157$) และพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ($r=0.262$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และทัศนคติมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ($r=0.389$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย ความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี

ตัวแปร	$\bar{X} \pm SD$	ความรู้		ทักษะ		พฤติกรรม	
		r	P-value	r	P-value	r	P-value
ความรู้	7.87 ± 1.74	-	-	0.157	0.002	0.262	<0.001
ทักษะ	3.73 ± 0.74	-	-	-	-	0.389	<0.001
พฤติกรรม	1.95 ± 0.65	-	-	-	-	-	-

อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่าคะแนนความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี อยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 7.87$, S.D. = 1.74) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ภิษณี วิจันท์ (2563) ที่ได้ทำการสำรวจประชาชนในจังหวัดนครราชสีมา พบว่า มีความรู้เกี่ยวกับการใช้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรอยู่ในระดับปานกลาง โดยพบว่าส่วนใหญ่รู้จักในรูปแบบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์ยา และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรลภา บุตรดา (2561) พบว่า ความรู้เกี่ยวกับพืชสมุนไพรอยู่ในระดับปานกลางเช่นเดียวกัน โดยพบว่า ประชาชนมีแหล่งความรู้เกี่ยวกับสมุนไพรจากหน่วยงานสาธารณสุข และมีความเชื่อในสรรพคุณของสมุนไพร ซึ่งมีการใช้กันยาสมุนไพรกันมาตั้งแต่สมัยก่อน ประกอบกับปัจจุบันมีสื่อเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ต ที่กลุ่มวัยรุ่นอายุ 15-29 ปี สามารถเข้าถึงได้ง่าย เช่น เพจทางเฟซบุ๊กของกรมการแพทย์แผนไทย หรือกองพัฒนายาแผนไทยและสมุนไพรไทย-กยส ทำให้มีการเข้าถึงความรู้ด้านสมุนไพร ยาแผนโบราณได้ง่ายมากขึ้น ดังเช่นการศึกษาของเพลินตา สุขเจริญชัยกุล (2557) ที่ได้ทำการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคกลุ่มเจนเอเรชั่นวายที่มีต่อการใช้สมุนไพรไทยพบว่า สื่อที่มีอิทธิพลต่อการใช้สมุนไพรมากที่สุดคือ อินเทอร์เน็ต เช่นกัน

ด้านทัศนคติเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี พบว่า อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.73$, S.D. = 0.74) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ โรสนานี เหมตระกูลวงศ์ และคณะ (2563) พบว่า ทัศนคติเกี่ยวกับการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพตนเองอยู่ในระดับสูง และทัศนคติยังมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการใช้ยาสมุนไพรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05)

ด้านพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี พบว่า อยู่ในระดับต่ำ ($\bar{X} = 1.65$, S.D. = 0.65) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวิริญา เมืองช้าง (2559) ที่พบว่าประชาชนส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพตนเองอยู่ในระดับต่ำเช่นกัน และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของปรารถนา อเนกปัญญากุล และคณะ (2564) พบว่าพฤติกรรมการใช้สมุนไพรในการรักษาอาการเจ็บป่วยอยู่ในระดับต่ำเช่นกัน โดยผลการศึกษาของพฤติกรรมพบว่าเมื่อมีอาการเจ็บคอ ไอ มีเสมหะ ท่านรับประทานยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ เช่น มะขามป้อม มะนาว ยาประสะมะแว้ง ยาอำมฤควาที มากที่สุด สอดคล้องกับผลงานวิจัยของปรารถนา อเนกปัญญากุล และคณะ (2564) ที่พบว่าสมุนไพรที่ถูกใช้ในการรักษาอาการเจ็บป่วยมากที่สุดคือ น้ำมะนาว เมื่อมีอาการเจ็บคอ ไอ มีเสมหะ และยัง

สอดคล้องกับงานวิจัยของวิริญา เมืองช้าง (2559) ที่พบว่า กลุ่มตัวอย่างเลือกใช้สมุนไพรเพื่อรักษาหรือบรรเทาอาการทางระบบทางเดินหายใจมากที่สุด ซึ่งอาการเจ็บคอ ไอ ถือเป็นพฤติกรรมการใช้สมุนไพรเพื่อรักษาอาการทางระบบทางเดินหายใจเช่นเดียวกัน โดยผลการศึกษาคั้งนี้ พบว่า พฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดพุมธานี พบว่าอยู่ในระดับต่ำ แม้จะมีความรู้ในระดับปานกลางและทัศนคติต่อยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณในระดับสูง แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างอาจจะยังไม่มี ความมั่นใจในการใช้ยาสามัญประจำบ้านอย่างแท้จริง จึงยังเลือกใช้ยาแผนปัจจุบันในการรักษาอาการเจ็บป่วยของตนเองอยู่ แม้จะได้รับความรู้จากแหล่งข้อมูลที่นำเชื่อถือต่าง ๆ ก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ปัจจัยด้านอายุนั้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ยาสมุนไพร โดยพบว่า ผู้สูงอายุจะมีพฤติกรรมการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพมากกว่าวัยอื่น ๆ (กุลธิดา อินแก้ว, 2564)

ด้านค่าเฉลี่ยคะแนนความรู้ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทัศนคติ ($r=0.157$) และพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ($r=0.262$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และทัศนคติมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ($r=0.389$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ กุลธิดา อินแก้ว (2564) ที่พบว่า ความรู้เกี่ยวกับสมุนไพรในการดูแลสุขภาพตนเอง มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพตนเอง ($p\text{-value}=0.005$, $r=0.16$) และ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิราณู มีสุวรรณ และคณะ (2565) ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการใช้สมุนไพร มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันปานกลางในทิศทางบวกเช่นเดียวกัน

ในปัจจุบันยังมีละครที่เกี่ยวข้องกับทางการแพทย์แผนไทย ได้แก่ ละครหมอลวง ที่ถ่ายทอดทางโทรทัศน์ช่อง 3 ทำให้ประชาชนทุกกลุ่มวัยสามารถเข้าถึงข้อมูลทางด้านตำรับยาสมุนไพรได้มากยิ่งขึ้น โดยละครหมอลวงได้มีการถ่ายทอดเกี่ยวกับการรักษาทางการแพทย์แผนไทย การใช้ตำรับยาสมุนไพรในการบำบัดรักษาโรค ส่งผลให้มีการเข้าถึงและเข้าในการแพทย์แผนไทย และ การใช้ตำรับยาสมุนไพรในการบำบัดรักษาโรคมกยิ่งขึ้น ทำให้ประชาชนมีความรู้ ทัศนคติที่ดีต่อการใช้ตำรับยาสมุนไพร และส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ตำรับยาสมุนไพรในการบำบัดรักษาโรคมกยิ่งขึ้น ทำให้ประชาชนกลุ่มอายุ 15-29 ปี มีความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมที่ดีต่อการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เพลินตา สุขเจริญชัยกุล (2557) พบว่าสื่อที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภคกลุ่มเจนเอเรชั่นวายมากที่สุดคือ อินเทอร์เน็ตและโทรทัศน์ และ ยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ปัทมา ศิริวรรณ (2559) พบว่า โทรทัศน์ คือแหล่งของการรับรู้ข่าวสารด้านยาสมุนไพรมากที่สุดเช่นกัน

สรุป

การศึกษาความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดพุมธานี จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 400 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 21 ปี ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 72.75 ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 7.87$, S.D. = 1.74) มีทัศนคติเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้าน ในระดับดี ($\bar{X} = 3.73$, S.D. = 0.74) และพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอยู่ในระดับต่ำ ($\bar{X} = 1.65$,

S.D. = 0.65) ทางด้านพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ พบว่า เมื่อมีอาการเจ็บป่วยเกิดขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่จะไปพบแพทย์/สถานบริการสาธารณสุขมากที่สุด ร้อยละ 61.50 ด้านรูปแบบของยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณที่ใช้ พบว่า กลุ่มตัวอย่างใช้ในรูปแบบแคปซูลมากที่สุด ร้อยละ 35.50 และสถานที่ที่กลุ่มตัวอย่างซื้อยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณมากที่สุด ได้แก่ ร้านขายยาแผนปัจจุบัน ร้อยละ 50.75 เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับทัศนคติเกี่ยวกับยาแผนโบราณ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับพฤติกรรมที่มีต่อยาแผนโบราณ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่นกัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1.1 ส่งเสริมการให้ความรู้และสนับสนุนการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณในกลุ่มอายุระหว่าง 15-29 ปี ให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการลดการใช้ยาแผนปัจจุบันและเพิ่มมูลค่าให้กับสมุนไพรไทย ทำให้ประชาชนสามารถใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณได้อย่างถูกต้องและถูกวิธี เนื่องจากยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณสามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามร้านสะดวกซื้อต่าง ๆ

1.2 สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนและดำเนินการในการสนับสนุนให้บุคลากรทางการแพทย์และการสาธารณสุขใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมและจัดกิจกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณได้ เช่น กิจกรรมความรู้ด้านสุขภาพของยาสมุนไพร หรือการหากกลุ่มผู้นำสุขภาพในชุมชนด้านการใช้ยาสมุนไพร

2. ข้อเสนอแนะการนำไปใช้

ผลการศึกษาความรู้ ทัศนคติและพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญแผนโบราณของประชากรกลุ่มอายุ 15-29 ปี ในจังหวัดปทุมธานี พบว่า ความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ ในระดับปานกลางและพฤติกรรมเกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอยู่ในระดับต่ำ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรส่งเสริมการให้ความรู้เกี่ยวกับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณและยาสมุนไพรให้มากยิ่งขึ้น ทั้งทางการประชาสัมพันธ์ทางตรง โดยบุคลากรสาธารณสุขและทางสื่อต่าง ๆ เช่น เฟซบุ๊ก หรือเว็บไซต์

3. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

3.1 ควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ

3.2 ควรทำการศึกษาเชิงสัมภาษณ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกและประสบการณ์การณ์การใช้ยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ

3.3 ควรศึกษาวิจัยในการสนทนากลุ่ม (Focus group) เพิ่มเติม เพื่อได้ข้อมูลเชิงกลุ่มที่เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก ดร.วรทัย ราวินิจ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมาตั้งแต่ต้นจนเสร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- กุลธิดา อินแก้ว. (2564). **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สมุนไพรมานในการดูแลสุขภาพตนเองของประชาชนในเขตรับผิดชอบของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ ตำบลไทยชนะศึก**. งานประชุมวิชาการสาธารณสุข เขตสุขภาพที่ 2 ปีงบประมาณ 2564 “พัฒนานวัตกรรมสุขภาพสู่ Smart Service ภายใต้วิถีชีวิตแบบ New Normal”, วันที่ 24 – 25 มีนาคม 2564 ณ โรงพยาบาลอุดรดิศด จังหวัดอุดรดิศด.
- เจษฎา อุดมพิทยาสรพ. (2563). **ทัศนคติและพฤติกรรมการใช้สมุนไพรรักษาโรคของประชาชน บ้านในลุ่มอำเภอย่านซื่อ จังหวัดตรัง**. *วารสารศิลปศาสตร์ มทร.ธัญบุรี*, 1(1), 1-16.
- จิราณูช มีสุวรรณ, กนกนาฏ อภัยภักดี, อารีญา ทึกขุนทด, และวัฒนา ชยธวัช. (2565). **ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้สมุนไพรมานในการดูแลสุขภาพตนเองของประชาชนบ้านซบตารีจังหวัดจันทบุรี**. *วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยนครราชสีมา*, 1(2), 1-13.
- ปรารธนา เอนกปัญญากุล, สุภินดา ศิริลักษณ์, และภัทรวิโร ดามี. (2564). **พฤติกรรมการใช้สมุนไพรมานในการดูแลสุขภาพของประชาชนที่มารับบริการในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครราชสีมา**. *วารสารวิชาการ ปชมท*, 9(2), 76-90.
- ปิยพรรณ รัตนพิกุล, และพีรพงษ์ พุศิริ. (2555). **แรงจูงใจในการเลือกใชยาแผนโบราณของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร**. สืบค้นจาก <http://thaiejournal.com/journal/2555volumes2/Piyapan.pdf>
- ปัทมา ศิริวรรณ. (2559). **ความรู้ ทัศนคติ การรับรู้ และการใชยาสมุนไพรมานของผู้ให้บริการและผู้รับบริการในโรงพยาบาลแม่ทา อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน**. สืบค้นจาก http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2016/TU_2016_5817035073_6137_4382.pdf
- เพลินดา สุขเจริญชัยกุล. (2557). **ทัศนคติของผู้บริโภคกลุ่มเจนเอเรซันวายที่มีต่อการใช้สมุนไพรมาน**. สืบค้นจาก <https://archive.cm.mahidol.ac.th/bitstream/123456789/1212/1/TP%20MM.064%202557.pdf>
- ภิชณี วิจันติก. (2563). **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรมานของประชาชนบ้านหนองบัวศาลา จังหวัดนครราชสีมา**. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี*, 31(1), 12-21.
- ภัทรธรา บุตรดาเลิศ. (2561). **การศึกษาพฤติกรรมการใช้พืชสมุนไพรมานท้องถิ่นเพื่อหาแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ใช้ในงานสปาไทยของกลุ่ม อสม. อาสาสมัครชุมชน ตำบลถนนโพธิ์ อำเภอนนไทย จังหวัดนครราชสีมา**. *วารสารสุทธิปริทัศน์*, 32(104), 83-98.
- ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC). (2566ก). **มูลค่าการใชยาสมุนไพรมาน**. สืบค้นจาก https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat_id=30bc6364fc06a33a7802e16bc596ac3b&id=18576644ee6ec12c24b8d307535fa140.
- ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC). (2566ข). **การจ่ายยาสมุนไพรมานจำแนกตามอายุและเพศ**. สืบค้นจาก https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat_id=30bc6364fc06a33a7802e16bc596ac3b&id=daa4f09de05917f530445267a017e1c4.
- ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC). (2566ค). **ปริมาณการจ่ายยาสมุนไพรมาน**. สืบค้นจาก https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat_id=30bc6364fc06a33a7802e16bc596ac3b&id=65a9f9496401d91402b3cb38805bb4d6.

- ระบบรายงานมาตรฐาน(HDC). (2564ง). ประชากรทะเบียนราษฎร จำแนกรายอายุและเพศ. สืบค้นจาก https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?source=pop/pop_sex_agemoph.php&cat_id=ac4eed1bddb23d6130746d62d2538fd0&id=f83d0cd8b830706dab4cd3cb09afa584#.
- โรสนานี เหมตระกูลวงศ์, กิตติพร เนาว์สุวรรณ, และจีราพัชร พลอยนิลเพชร. (2563). **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการใช้ยาสมุนไพรในการ ดูแลสุขภาพตนเองของประชาชนในเขตเทศบาลนครยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา.** การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 11, วันที่ 17 กรกฎาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- วิริญญา เมืองช้าง. (2559). **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สมุนไพรในการดูแลสุขภาพตนเองของประชาชนในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา.** วิทยานิพนธ์ สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการการสาธารณสุขเสริมสุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สภาเภสัชกรรม. (2565). **พระราชบัญญัติยา พ.ศ.2510 และฉบับที่แก้ไขเพิ่มเติม.** สืบค้นจาก https://www.pharmacycouncil.org/index.php?option=content_detail&menuid=70&itemid=2514&catid=0
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2562). **รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สุขภาพประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562.** สืบค้นจาก <https://plan.fda.moph.go.th/media.php?id=532740216239300608&name=binder18237.pdf>
- สำนักยา. (2556). **สถิติจำนวนการขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณในแต่ละปีตั้งแต่ ปี 2552-2555.** สืบค้นจาก <https://dmsic.moph.go.th/index/detail/1341>
- Yamane, T. (1973). **Statistics: an introductory analysis.** New York: New York: Harper & Row.

การคำนวณหาความเร็วและการกระจัดขึ้นอยู่กับเวลาของอนุภาค ภายใต้แรงต้านทานอากาศ แรงยก และแรงภายนอกในการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

จุฬามาศ ช่างคำ¹ ปิยรัตน์ มุลศรี² อาทิตย์ หุ้เต็ม^{3*}

Received : September 19, 2022

Revised : July 3, 2024

Accepted : July 4, 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ศึกษาวิถีทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ภายใต้แรงต้านทานอากาศ, แรงยก เมื่อมีแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา $\sin^2(\omega, t)$ มากระทำต่ออนุภาค ในแนวตั้ง แสดงการคำนวณหาความเร็วที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในแนวระดับ และในแนวตั้ง การจัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ในแนวระดับ และในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา อนุภาคมีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ภายใต้แรงต้านทานอากาศ แรงยก และแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเป็นฟังก์ชัน Sine กำลังสองในแกน s_y โดยการสร้างแบบจำลองทางฟิสิกส์ขึ้นมาโดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันและใช้วิธีการอินทิเกรตเพื่อคำนวณหาความเร็วที่เป็นฟังก์ชันของเวลา และการกระจัดที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ซึ่งมีการวิเคราะห์ผลการวิจัยเกี่ยวกับวิถีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ซึ่งมีลักษณะไม่สมมาตร และความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ

คำสำคัญ: การกระจัด ความเร็ว โพรเจกไทล์ แรงต้านทานอากาศ แรงยก

¹ นักศึกษาประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
อีเมล: namsay110@gmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
อีเมล: piyarutto@hotmail.com

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

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

CALCULATION OF TIME-DEPENDENT VELOCITY AND DISPLACEMENT OF A PARTICLE IN PROJECTILE MOTION WITH AIR RESISTANCE, LIFT FORCE, AND EXTERNAL FORCE

Jutamad Changkham¹ Piyarut Moonsri² Artit Hutem^{3*}

Abstract

This research aimed to study the trajectory of projectile-moving particles of mass m under air resistance force, lifting force, and a vertically acting time-dependent external force $\sin^2(\omega_f t)$ on the particles. The velocity and displacement of a particle in projectile motion were calculated as functions of time, both horizontally and vertically. The particle, with a mass m that moved in projectile motion, is subjected to air resistance, lift force, and a time-dependent external sine square force, causing vertical oscillations. A physics model was constructed based on Newton's second law of motion and was solved using integral methods to determine the velocity and displacement in both horizontal and vertical axes. The time-dependent velocity was found to be directly proportional to the frequency of molecular vibrations of particles and a coefficient of air resistance density.

Keywords: Displacement, Velocity, Projectile, Air resistance force, Lifting force

¹ Master of Science Program in Education Science, Phetchabun Rajabhat University,
e-mail: namsay110@gmail.com

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

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

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

บทนำ

การเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ใด ๆ แบบโพรเจกไทล์ (Projectile motion) เป็นการเคลื่อนที่ลอยอยู่ในอากาศภายใต้แรงต้านทานอากาศ และแรงยกโดยมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบวิถีเส้นโค้งพาราโบลาคว่ำ (Hutem & Kerdmee, 2013) ซึ่งในการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ 2 มิติสามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ได้ 2 แกน แกนในแนวระดับ (แกน s_x) และแกนในแนวตั้ง (แกน s_y) อนุภาคมวล m ใด ๆ ที่เคลื่อนที่ในอากาศนั้นจะมีแรงยก และแรงต้านทานอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องในความเป็นจริงการออกกำลังกายการตีแบดมินตันในโรงเรียนซึ่งเป็นรายวิชาทางพลศึกษานั้นบางครั้งมีแรงลมเข้ามาเกี่ยวข้องกับการตีลูกขนไก่ด้วย ต่อมาในงานวิจัยชิ้นนี้ต้องการคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของอนุภาคในแนวระดับที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ภายใต้แรงต้านทานอากาศ และแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็นฟังก์ชัน $\sin^2(\omega_f t)$ และการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ภายใต้แรงต้านทานอากาศ และแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็นฟังก์ชัน $\sin^2(\omega_f t)$ ซึ่งในงานวิจัยของ Kuaykaew et al. (2016) ได้อธิบายแรงภายนอกที่สั้นในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในการบังคับอนุภาคมวล m เคลื่อนที่ที่แบบฟังก์ชัน Cosine และในงานวิจัยชิ้นนี้ได้คำนวณหาการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ ต่อมาในงานวิจัยของ Dharma (2019) ได้คำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ใดๆแบบโพรเจกไทล์ภายใต้แรงต้านทานอากาศ และแสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้คิดแรงยก และแรงภายนอกที่ขึ้นอยู่กับเวลาแบบการสั้น ต่อมาในงานวิจัยของ จุฑามาศ ช่างคำ และคณะ (2565) ได้คำนวณหาความเร็วในแนวระดับ และแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา และการกระจัดของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนแบบโพรเจกไทล์ภายใต้แรงต้านทานอากาศ แรงยกและแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชัน Cosine มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกตามการเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอล และเบสบอล

ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะคำนวณความเร็วที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในแนวระดับ และแนวตั้ง และการกระจัดของการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ที่เคลื่อนแบบโพรเจกไทล์ ภายใต้แรงต้านทานอากาศ แรงยก และแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเป็นฟังก์ชัน $\sin^2(\omega_f t)$ ในแกน s_y โดยการสร้างแบบจำลองทางฟิสิกส์ขึ้นมาโดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน และโดยวิธีสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งมาแก้ไขระบบสมการ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

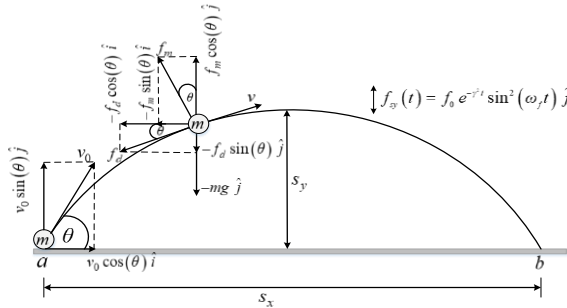
เพื่อศึกษาลักษณะวิถีทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ภายใต้แรงต้านทานอากาศ, แรงยก เมื่อมีแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็นฟังก์ชัน $\sin^2(\omega_f t)$ มากระทำในแนวตั้ง แสดงคำนวณหาความเร็วในแนวระดับ และแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา คำนวณหาการกระจัดในแนวระดับกับการกระจัดในแนวตั้งเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เป็นฟังก์ชันของเวลา พร้อมแสดงการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ

วิธีดำเนินการวิจัย

การคำนวณหาการกระจัด และความเร็วของอนุภาคมวล m ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ด้วยความเร็วต้น v_0 เคลื่อนที่จากตำแหน่งจุด a ไปยังตำแหน่งจุด b ที่มีวิธีการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งพาราโบลา

คว่ำภายใต้ แรงต้านทานอากาศ (f_d) (Uddin et al., 2021) แรงแยก (f_m) (Mustafa & Tugce, 2020) ซึ่งแรงต้านทานอากาศ และแรงแยก (Jeffrey et al., 2014) มีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกันเป็นผลจากการเกิดสปินของอนุภาคมวล m และแรงภายนอก (f_{sy}) สามารถใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เข้ามาแก้สมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่ 1 แบบเอกพันธ์ และไมเอกพันธ์เพื่อคำนวณหาความเร็ว และการกระจัดในแนวระดับและแนวตั้งของอนุภาค

มวล m ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ใดๆที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ภายใต้แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ มากระทำในแนวตั้ง (จุฑามาศ ช้างคำ, 2565)

จากภาพที่ 1 นำผลรวมของแรงที่กระทำต่อกับอนุภาคมวล m โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน (Ebaid et al., 2019) ดังนี้

$$-f_m \sin(\theta)\hat{i} - f_d \cos(\theta)\hat{i} + f_m \cos(\theta)\hat{j} - f_d \sin(\theta)\hat{j} - mg\hat{j} + f_0 e^{-\gamma t} \sin^2(\omega_f t)\hat{j} = m \left(\frac{dv_{sx}}{dt} \hat{i} + \frac{dv_{sy}}{dt} \hat{j} \right) \quad (1)$$

โดยที่ f_0 เป็นแรงภายนอกเริ่มต้น มีหน่วย นิวตัน, ω_f เป็นความถี่เชิงมุม เท่ากับ $2\pi f$ โดยที่ f เป็นค่าความถี่ของการสั่นในระดับโมเลกุลของอนุภาคมวล m ที่สัมผัสกับมวลโมเลกุลของความหนาแน่นอากาศ ในตอนที่อนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งมีหน่วย Hz, ต่อมา γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงมีหน่วย $a.u.$, v_{sx} เป็นความเร็วในแนวระดับ มีหน่วย m/s , v_{sy} เป็นความเร็วในแนวตั้ง มีหน่วย m/s , ต่อไปคำนวณหาความเร็ว และการกระจัดในแนวระดับของอนุภาคมวล m ในตามทิศทางเวกเตอร์หนึ่งหน่วย \hat{i} จะได้

$$m \frac{dv_{sx}}{dt} = -f_d \cos(\theta) - f_m \sin(\theta) \quad (2)$$

เรากำหนดให้ $f_d = \alpha_d v_{sx}$ โดยที่ α_d คือค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ (Pouya et al., 2014) และ $f_m = \alpha_m v_{sx}$ โดยที่ α_m คือค่าสัมประสิทธิ์ของแรงแยก (Pouya et al., 2014) จากสมการที่ (2) สามารถจัดรูปสมการได้เป็นสมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่ 1 แบบเอกพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dv_{sx}}{dt} + \left\{ \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta) \right\} v_{sx} = 0 \quad (3)$$

ซึ่งสมการที่ (3) กำหนดให้ตัวแปร $\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$ แทนลงในสมการที่ (3) และทำการอินทิเกรตแล้วใส่เงื่อนไขเริ่มต้นดังนี้ $v_{sx}(0) = v_0 \cos(\theta)$ เราจะได้ ความเร็วในแนวระดับของอนุภาคมวล m ที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ดังนี้

$$v_{sx}(t) = v_0 \cos \theta e^{-\mu t} \quad (4)$$

ต่อไปในงานวิจัยนี้คำนวณหาการกระจัดในแนวระดับของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาจากนิยาม $v_{sx} = ds_x/dt$ โดยที่ s_x คือการกระจัดในแนวระดับของอนุภาคมวล m เราใช้การอินทิเกรต และเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นเป็น $s_x(0) = s_{x0}$ ดังนั้นจะได้การกระจัดในแนวระดับของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

$$\begin{aligned} v_{sx}(t) &= ds_x/dt = v_0 \cos(\theta) e^{-\mu t} \\ s_x(t) &= \frac{v_0}{\mu} \cos(\theta) (1 - e^{-\mu t}) + s_{x0} \end{aligned} \quad (5)$$

โดยสมการที่ (5) จะถูกเรียกว่า การกระจัดในแนวระดับของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก ต่อไปเราสามารถคำนวณหาเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวระดับได้ดังนี้

$$t(s_x) = -\frac{1}{\mu} \ln \left(1 - \frac{\mu(s_x - s_{x0})}{v_0 \cos(\theta)} \right) \quad (6)$$

ต่อไป คำนวณหาความเร็ว และการกระจัดของอนุภาคมวล m ในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ในทิศตามแนวแกน y หนึ่งหน่วย j จะได้

$$m \frac{dv_{sy}}{dt} = f_m \cos \theta - f_d \sin(\theta) - mg + f_0 e^{-\gamma t} \sin^2(\omega_f t) \quad (7)$$

เรากำหนดให้ $f_d = \alpha_d v_{sy}$ โดยที่ α_d คือค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และ $f_m = \alpha_m v_{sy}$ โดยที่ α_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกจากสมการที่ (7) สามารถจัดรูปสมการได้เป็นสมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่ 1 แบบไม่เอกพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dv_{sy}}{dt} + \left\{ \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta) \right\} v_{sy} = -g + \frac{f_0}{m} e^{-\gamma t} \sin^2(\omega_f t) \quad (8)$$

ซึ่งสมการที่ (8) เราจะกำหนดตัวแปร $\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$ แทนกลับไปในสมการที่ (8) จะได้

$$\frac{dv_{sy}}{dt} + \kappa v_{sy} = -g + \frac{f_0}{m} e^{-\gamma t} \sin^2(\omega_f t) \quad (9)$$

ซึ่งสมการที่ (9) จะถูกเรียกว่า สมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่ 1 แบบไม่เอกพันธ์ ต่อไปเราจะหาผลเฉลยของสมการที่ (9) โดยการใช้เทคนิคการอินทิเกรตทีละส่วน และใช้เงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น $v_{sy}(0) = v_0 \sin(\theta)$ จะได้ความเร็วในแนวตั้งของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเมื่ออนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{sy}(t) &= e^{-\kappa t} \left(\int \left\{ \frac{f_0}{m} e^{-\gamma t} \sin^2(\omega_f t) - g \right\} e^{\kappa t} dt + C \right) \\ v_{sy}(t) &= e^{-\kappa t} \left(\int \frac{f_0}{m} e^{(\kappa-\gamma)t} \sin^2(\omega_f t) dt - \frac{g}{\kappa} e^{\kappa t} + C \right) \\ v_{sy}(t) &= e^{-\kappa t} \left(\frac{f_0}{2m} \int e^{(\kappa-\gamma)t} (1 - \cos(2\omega_f t)) dt - \frac{g}{\kappa} e^{\kappa t} + C \right) \\ v_{sy}(t) &= e^{-\kappa t} \left(\frac{f_0}{2m} \left[\frac{e^{(\kappa-\gamma)t}}{(\kappa-\gamma^2)} - \int e^{(\kappa-\gamma)t} \cos(2\omega_f t) dt \right] - \frac{g}{\kappa} e^{\kappa t} + C \right) \end{aligned} \quad (9a)$$

ต่อมาทำการเทคนิคการอินทิเกรตทีละส่วนของพจน์ที่สองทางขวาในสมการที่ (9a) ดังนี้

$$\int e^{ax} \cos(bx) dx = \frac{e^{ax} (a \cos(bx) + b \sin(bx))}{a^2 + b^2} \quad (9b)$$

นำสมการที่ (9b) แทนลงในสมการที่ (9a) และใช้เงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น $v_{sy}(0) = v_0 \sin(\theta)$ เพื่อคำนวณหาค่า C จะได้ความเร็วในแนวตั้งของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ดังนี้

$$v_{sy}(t) = -\frac{f_0}{2m} \left\{ \frac{e^{-\gamma^2 t} \left((\kappa - \gamma^2) \cos(2\omega_f t) + 2\omega_f \sin(2\omega_f t) \right)}{(\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_f^2} \right\} + \left(v_0 \sin(\theta) + \frac{g}{\kappa} \right) e^{-\kappa t} - \frac{f_0 e^{-\kappa t}}{2m(\kappa - \gamma^2)} + \frac{f_0(\kappa - \gamma^2) e^{-\kappa t}}{2m \left((\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_{fa}^2 \right)} - \frac{g}{\kappa} + \frac{f_0 e^{-\gamma^2 t}}{2m(\kappa - \gamma^2)} \quad (10)$$

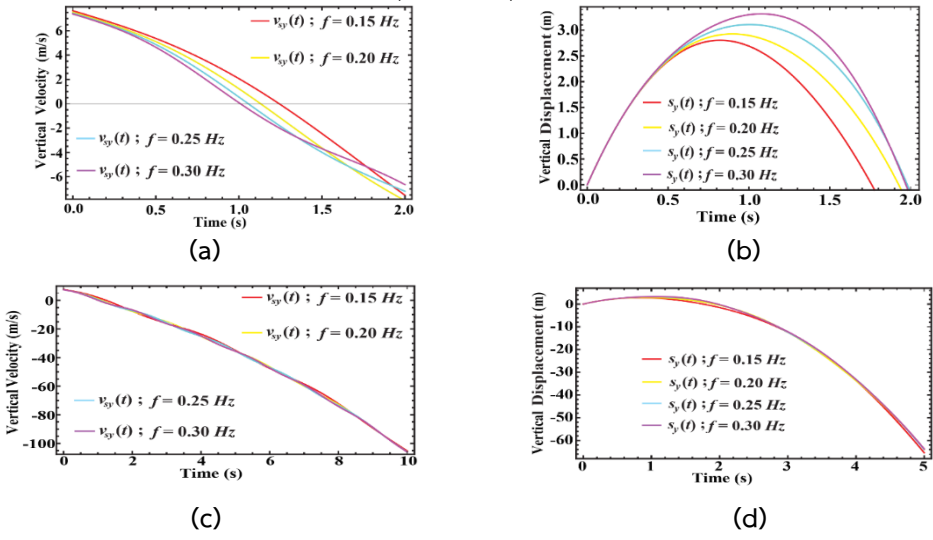
จากสมการที่ (10) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในแนวตั้งกับเวลา ดังภาพที่ 2 (a) ซึ่งมีค่าของตัวแปรความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ ต่อมาในสมการที่ (10) สามารถนำไปคำนวณหาการกระจัดในแนวตั้งของอนุภาคที่เป็นฟังก์ชันของเวลา (s_y) ซึ่ง s_y จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก จากนิยาม $v_{sy}(t) = ds_y/dt$ โดยใช้เทคนิคการอินทิเกรตทีละส่วนเพื่อคำนวณหาการกระจัดในแนวตั้งของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา และใช้เงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นเป็น $s_y(0) = s_{y0}$ จะได้การกระจัดในแนวตั้งของอนุภาคมวล m ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาดังนี้

$$s_y(t) = \frac{f_0 \omega_f}{m} \left\{ \frac{e^{-\gamma^2 t} \left(\gamma^2 \sin(2\omega_f t) + 2\omega_f \cos(2\omega_f t) \right)}{\left((\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_f^2 \right) (\gamma^4 + 4\omega_f^2)} \right\} - \frac{\left(f_0(\kappa - \gamma^2)\gamma^2 + f_0 4\omega_f^2 \right)}{2m \left(\left((\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_f^2 \right) (\gamma^2 + 4\omega_f^2) \right)} + \frac{f_0(\kappa - \gamma^2)}{2m} \left\{ \frac{e^{-\gamma^2 t} \left(\gamma^2 \cos(2\omega_f t) - 2\omega_f \sin(2\omega_f t) \right)}{\left((\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_f^2 \right) (\gamma^4 + 4\omega_f^2)} \right\} - \frac{g}{\kappa} t - \frac{f_0 e^{-\gamma^2 t}}{2m(\kappa - \gamma^2)\gamma^2} - \left\{ v_0 \sin(\theta) + \frac{g}{\kappa} - \frac{f_0}{2m(\kappa - \gamma^2)} + \frac{f_0(\kappa - \gamma^2)}{2m \left((\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_f^2 \right)} \right\} \frac{e^{-\kappa t}}{\kappa} + s_{y0} + \frac{f_0}{2m(\kappa - \gamma^2)\gamma^2} + \left\{ \frac{v_0 \sin(\theta)}{\kappa} + \frac{g}{\kappa^2} - \frac{f_0}{2m\kappa(\kappa - \gamma^2)} + \frac{f_0(\kappa - \gamma^2)}{2m\kappa \left((\kappa - \gamma^2)^2 + 4\omega_f^2 \right)} \right\} \quad (11)$$

ซึ่งสมการที่ (11) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวตั้งกับเวลา ดังภาพที่ 2 (b) ซึ่งมีค่าของตัวแปรความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ จากสมการที่ (11) เรานำสมการที่ (6) เป็นเวลาของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของอนุภาค $t(s_x)$ แทนลงในสมการที่ (11) จะได้กราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งจะสามารถแสดงเป็นกราฟระหว่าง s_y และ s_x (Bradshaw, 2023) ในหัวข้อผลการวิจัยและอภิปรายผล ดังภาพที่ 4 ภาพที่ 5 และภาพที่ 6

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

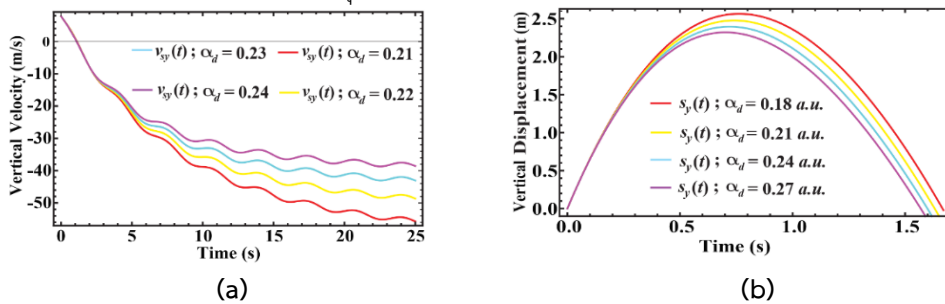
จากสมการที่ (10) ที่ถูกเรียกว่าความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาของอนุภาค ที่เคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ภายใต้แรงต้านอากาศ และแรงยก และแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาที่เป็น $\sin^2(\omega_f t)$ ซึ่งแรงภายนอกชนิดนี้เปรียบเสมือนแรงลมที่เกิดมรสุม เช่น พายุดีเปรสชัน เป็นต้น ดังภาพที่ 2(a) และภาพที่ 3 (a)



ภาพที่ 2 (a) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรความเร็วในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ แสดงความเร็วในแนวตั้งในช่วงเวลา 0 วินาที ถึง 2 วินาที
 (b) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรการกระจัดในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ แสดงการกระจัดในแนวตั้งในช่วงเวลา 0 วินาที ถึง 2 วินาที
 (c) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรความเร็วในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ แสดงความเร็วในแนวตั้งในช่วงเวลา 0 วินาที ถึง 10 วินาที
 (d) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรการกระจัดในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ แสดงการกระจัดในแนวตั้งในช่วงเวลา 0 วินาที ถึง 10 วินาที

จากภาพที่ 2 (a) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟ ดังนี้ $f_0 = 1.5 \text{ N}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}$, $\alpha_m = 0.18 \text{ a.u.}$, $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 45^\circ$ และตัวแปรต้นเป็นค่าความถี่ และตัวแปรตามคือ ความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ต่อมาเมื่อค่าของความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ของอนุภาคมวล m มีค่าการสั่นเพิ่มมากขึ้นเป็นผลมาจากแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ และใช้เวลาการสั่นน้อยลง จากเส้นกราฟสีแดงเปลี่ยนไปเป็นเส้นกราฟสีชมพู ในช่วงเวลา 1.5 ไปถึง 1.0 วินาทีเมื่ออนุภาคมวล m สั่นครบรอบการเคลื่อนที่ที่เป็นผลมาจากแรงภายนอกดังกล่าวไปมีผลกับมวลโมเลกุลของอากาศตรงส่วนตัวแปร α_d และ α_m เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.15 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.20 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีฟ้าและเขียวเป็นกราฟของ

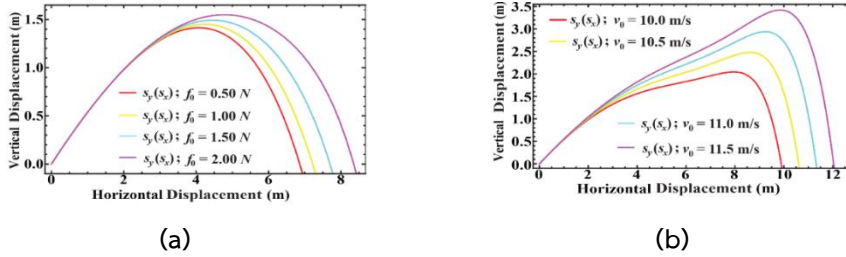
ความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.25 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.30 \text{ Hz}$ ในงานวิจัยครั้งนี้พิจารณาเวลาในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ณ เวลา 2 วินาทีเพราะการเปลี่ยนแปลงเฟสลูกคลื่นเกิดช่องว่างระหว่างค่าของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าของความถี่ $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ ในแต่ละเส้น ต่อมาจากภาพที่ 2 (b) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุม ดังนี้ $f_0 = 1.5 \text{ N}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}$, $\alpha_m = 0.18 \text{ a.u.}$, $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 45^\circ$ และตัวแปรต้นเป็นค่าความถี่ และตัวแปรตาม คือ การกระจัดในแนวตั้งที่ขึ้นอยู่กับเวลา เป็นกราฟระหว่างตัวแปรการกระจัดในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.15 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.20 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.25 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.30 \text{ Hz}$ ถ้าค่าของความถี่เพิ่มขึ้นจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ จะส่งผลให้การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลามีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะแปรผันตรง เพราะเป็นผลมาจากแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ ภาพที่ 2 (c) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรความเร็วในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา มีการกำหนดตัวแปรต้นเป็นค่าความถี่ที่เปลี่ยนจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มเวลาการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เป็น 10 วินาทีวิธีการเคลื่อนที่ความเร็วในแนวตั้งลักษณะโค้งลง ซึ่งค่าความเร็วในแนวตั้งของอนุภาคมีค่าติดลบเพิ่มขึ้น ค่าของความถี่ที่เปลี่ยนจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ ส่งผลให้ความเร็วในแนวตั้งของอนุภาคมวล m มีการสั่นขึ้นตามแรงภายนอกด้วย ลักษณะของการสั่นเปลี่ยนแปลงช่วงเฟสขึ้นอยู่กับเวลาที่เพิ่มขึ้น จากภาพที่ 2 (d) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรการกระจัดในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา มีการกำหนดตัวแปรต้นเป็นค่าความถี่ที่เปลี่ยนจาก $f = 0.15 \rightarrow 0.30 \text{ Hz}$ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มเวลาการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เป็น 10 วินาทีวิธีการเคลื่อนที่การกระจัดในแนวตั้งลักษณะโค้งลง ซึ่งค่าการกระจัดในแนวตั้งของอนุภาคมีค่าติดลบเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 (a) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรความเร็วในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเปลี่ยนแปลงจาก $\alpha_d = 0.21 \rightarrow 0.24 \text{ a.u.}$

(b) แสดงกราฟระหว่างตัวแปรการกระจัดในแนวตั้งกับตัวแปรเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเปลี่ยนแปลงจาก $\alpha_d = 0.18 \rightarrow 0.27 \text{ a.u.}$

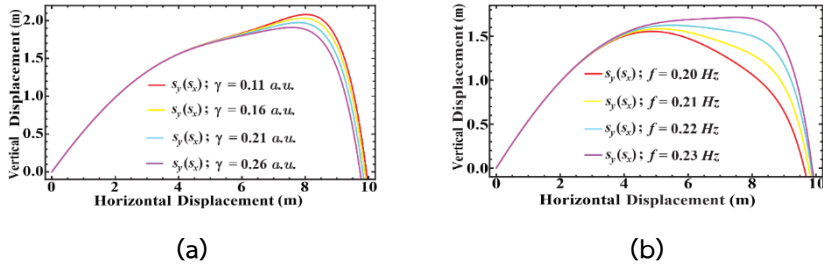
จากภาพที่ 3 (a) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟ ดังนี้ $f_0 = 1.5 N$, $g = 9.8 m/s^2$, $\gamma = 0.15 a.u.$, $v_0 = 10 m/s$, $f = 0.14 Hz$, $\alpha_m = 0.15 a.u.$, $m = 0.30 kg$, $\theta = 45^\circ$ และ ตัวแปรต้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และตัวแปรตามคือ ความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.21 a.u.$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.22 a.u.$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.23 a.u.$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.24 a.u.$ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าของความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลามากขึ้นเช่นเดียวกัน แปรผันตรง ในงานวิจัยนี้พิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก ($\alpha_d > \alpha_m$) ซึ่งจะทำให้ความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลามีลักษณะการสั่นเกิดขึ้นเป็นผลมาจากแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของความเร็วในแนวตั้งที่ติดลบลดลง ณ ช่วงเวลาจาก 5 วินาที เป็นต้นไป ทำให้อนุภาคมวล m เคลื่อนที่ทิศทางลงช้าลงกว่าอนุภาคมวลนี้ถึงพื้น จากภาพที่ 3 (a) เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุดใช้เวลาประมาณ 2 วินาที จากนั้นเวลาที่ใช้ในการตกให้อยู่ในแนวระดับเดียวกับจุดโยน ประมาณ วินาทีที่ 3 ซึ่งสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศไม่ส่งผลต่อ ความเร็วของวัตถุในแนวตั้ง แต่ส่งผลต่ออนุภาคเมื่อความเร็วของอนุภาค อยู่ในทิศตั้งลง และมากกว่าความเร็วต้นเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้คิดผลของแรงภายนอก $f_0 e^{-\gamma t} \sin^2(\omega_f t)$ ซึ่งแรงภายนอกดังกล่าวส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ในเทอมของแรงภายนอกมีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง γ ทำให้ความเร็วในแนวตั้งของอนุภาคเกิดลักษณะการสั่นหน่วง จากภาพที่ 3 (b) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟ ดังนี้ $f_0 = 1.5 N$, $g = 9.8 m/s^2$, $\gamma = 0.15 a.u.$, $v_0 = 10 m/s$, $f = 0.14 Hz$, $\alpha_m = 0.15 a.u.$, $m = 0.30 kg$, $\theta = 45^\circ$ และ กำหนดตัวแปรต้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และตัวแปรตาม คือ การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ต่อมาเส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.21 a.u.$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.22 a.u.$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.23 a.u.$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.24 a.u.$ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาลดลง แปรผกผันกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้เราพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก ($\alpha_d > \alpha_m$) ซึ่งจะทำให้การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลามีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งแบบพาราโบลาเป็นผลมาจากแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$



ภาพที่ 4 (a) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่าแรงภายนอกเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงจาก $f_0 = 0.50 \rightarrow 2.00 \text{ N}$

(b) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่าความเร็วเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงจาก $v_0 = 10.0 \rightarrow 11.5 \text{ m/s}$

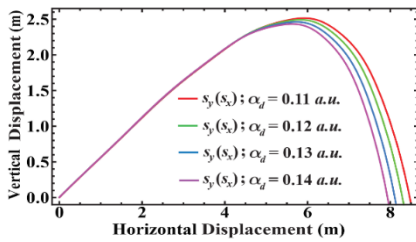
จากภาพที่ 4 (a) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ ดังนี้ $\alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $f = 0.25 \text{ Hz}$, $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 30^\circ$ และตัวแปรต้นเป็นค่าแรงภายนอกเริ่มต้น $f_0 = 0.50 \rightarrow 2.00 \text{ N}$ และตัวแปรตาม คือ การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวราบ จากภาพที่ 4 (a) เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าแรงภายนอกเริ่มต้นเท่ากับ $f_0 = 0.50 \text{ N}$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าแรงภายนอกเริ่มต้นเท่ากับ $f_0 = 1.00 \text{ N}$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าแรงภายนอกเริ่มต้นเท่ากับ $f_0 = 1.50 \text{ N}$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าแรงภายนอกเริ่มต้นเท่ากับ $f_0 = 2.00 \text{ N}$ ถ้าค่าแรงภายนอกเริ่มต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การกระจัดในแนวระดับเพิ่มมากขึ้น และการกระจัดในแนวตั้งก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกันลักษณะแปรผันตรงกัน วิธีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเบี่ยงเบนทางขวา โดยที่แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ เป็นตัวทำลายความสมมาตรของวิธีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ จากภาพที่ 4 (b) ได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ ดังนี้ $\alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $f_0 = 2.0 \text{ N}$, $f = 0.25 \text{ Hz}$, $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 30^\circ$ และตัวแปรต้นเป็นค่าความเร็วเริ่มต้น $v_0 = 10.0 \rightarrow 11.5 \text{ m/s}$ และตัวแปรตามคือ การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวราบ จากภาพที่ 4 (b) เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ $v_0 = 10.00$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ $v_0 = 10.50$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ $v_0 = 11.00$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ $v_0 = 11.50$ ถ้าค่าความเร็วเริ่มต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การกระจัดในแนวระดับเพิ่มมากขึ้น และการกระจัดในแนวตั้งก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกันลักษณะแปรผันตรงกัน วิธีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเบี่ยงเบนทางขวามากขึ้นลักษณะคล้ายกับการสั่น โดยที่แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ เป็นตัวทำลายความสมมาตรของวิธีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์



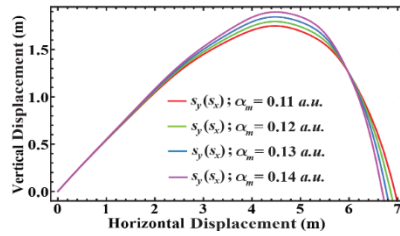
ภาพที่ 5 (a) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเปลี่ยนแปลงจาก $\gamma = 0.11 \rightarrow 0.26$ a.u.

(b) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.20 \rightarrow 0.23$ Hz

จากภาพที่ 5 (a) ได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ ดังนี้ $\alpha_m = 0.16$ a.u., $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\alpha_d = 0.14$ a.u., $f_0 = 2.00 \text{ N}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $f = 0.25 \text{ Hz}$, $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 30^\circ$ และตัวแปรต้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง $\gamma = 0.11 \rightarrow 0.26$ a.u. และตัวแปรตาม คือ การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวราบ จากภาพที่ 5 (a) เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเท่ากับ $\gamma = 0.11$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเท่ากับ $\gamma = 0.16$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเท่ากับ $\gamma = 0.21$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเท่ากับ $\gamma = 0.26$ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการกระจัดในแนวระดับลดลง และการกระจัดในแนวตั้งก็มีค่าลดลงด้วยเช่นกันลักษณะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง วิธีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเบี่ยงเบนทางขวา โดยที่แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ เป็นตัวทำลายความสมมาตรของวิธีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ จากภาพที่ 5 (b) ได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟที่แสดงการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ ดังนี้ $\alpha_m = 0.16$ a.u., $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\alpha_d = 0.14$ a.u., $f_0 = 2.00 \text{ N}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\gamma = 0.15$ a.u., $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 30^\circ$ และตัวแปรต้นเป็นค่าความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $f = 0.20 \rightarrow 0.23$ Hz และตัวแปรตาม คือ การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวราบ จากภาพที่ 5 (b) เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.20 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.21 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.22 \text{ Hz}$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อค่าความถี่เท่ากับ $f = 0.23 \text{ Hz}$ ถ้าค่าความถี่มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการกระจัดในแนวระดับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการกระจัดในแนวตั้งก็มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าการกระจัดในแนวระดับ ซึ่งในลักษณะดังกล่าวแปรผันตรงกับค่าความถี่ วิธีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเบี่ยงเบนทางขวามีการสั่นของอนุภาคด้วย โดยที่แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเป็น $\sin^2(\omega_f t)$ เป็นตัวทำลายความสมมาตรของวิธีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์



(a)



(b)

ภาพที่ 6 (a) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเปลี่ยนแปลงจาก $\alpha_d = 0.11 \rightarrow 0.14 \text{ a.u.}$

(b) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาค เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกเปลี่ยนแปลงจาก $\alpha_m = 0.11 \rightarrow 0.14 \text{ a.u.}$

ตารางที่ 1 แสดงค่าของพารามิเตอร์เชิงตัวเลขของ μ, κ ในมุม $\theta = 30^\circ$

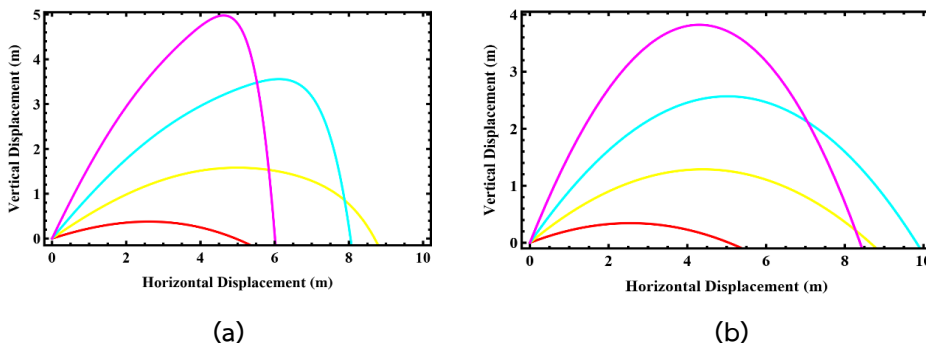
<p>กรณีที่ 1 $\alpha_d < \alpha_m$</p> $\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$ $\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$ <p>$\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.25 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg}, \theta = 30^\circ$</p> <p>$\mu = 0.8208118551$</p> <p>$\kappa = -0.4883545032$</p>	<p>กรณีที่ 2 $\alpha_d > \alpha_m$</p> $\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$ $\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$ <p>$\alpha_d = 0.25 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.14 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg}, \theta = 30^\circ$</p> <p>$\mu = 0.9550211698$</p> <p>$\kappa = 0.01252147823$</p>
--	--

จากตารางที่ 1 ในกรณีที่ 1 ถ้านำค่าพารามิเตอร์ μ, κ มาหาผลต่างกันจะได้ 1.3091 โดยประมาณ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 2 ค่าหาผลต่างกันจะได้ 0.9424 โดยประมาณ จะเห็นว่าในกรณีที่ 1 มีค่ามากกว่าในกรณีที่ 2 จึงทำให้การกระจัดในแนวระดับมีค่าในภาพที่ 6 (a) มีค่ามากกว่าในภาพที่ 6 (b) ในภาพที่ 6 (b) เกิดการเปลี่ยนเฟสการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เกิดจากการสลับค่าของ $\alpha_d > \alpha_m$ ดังตารางที่ 2

จากภาพที่ 6 (a) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ ดังนี้ $\alpha_m = 0.25 \text{ a.u.}, g = 9.8 \text{ m/s}^2, f = 1.5 \text{ Hz}, f_0 = 1.80 \text{ N}, v_0 = 10 \text{ m/s}, \gamma = 0.15 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg}, \theta = 30^\circ$ เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.11$ เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.12$ เส้นกราฟสีฟ้าเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.13$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเท่ากับ $\alpha_d = 0.14$ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการกระจัดในแนวระดับมีค่าลดลง และการกระจัดในแนวตั้งก็มี

ค่าลดลง ซึ่งในลักษณะดังกล่าวแปรผกผันกับค่าของความหนาแน่นสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศซึ่งในกรณีนี้ $\alpha_d < \alpha_m$ จากภาพที่ 6 (b) เราได้มีการกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมของกราฟการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ ดังนี้ $\alpha_d = 0.25 \text{ a.u.}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $f = 1.5 \text{ Hz}$, $f_0 = 1.80 \text{ N}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $m = 0.30 \text{ kg}$, $\theta = 30^\circ$ เส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกเท่ากับ $\alpha_m = 0.11$ เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกเท่ากับ $\alpha_m = 0.12$ เส้นกราฟสีฟ้าเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกเท่ากับ $\alpha_m = 0.13$ เส้นกราฟสีชมพูเป็นกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับ เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกเท่ากับ $\alpha_m = 0.14$ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการกระจัดในแนวระดับมีค่าลดลง แต่การกระจัดในแนวตั้งก็มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในลักษณะดังกล่าวแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกในกรณีนี้ $\alpha_d > \alpha_m$

จากภาพที่ 6 (a) งานวิจัยนี้เราพิจารณา $\alpha_d < \alpha_m$ โดยที่เรากำหนดให้ค่า $\alpha_m = 0.25 \text{ a.u.}$ เป็นตัวแปรควบคุมหลังจากนั้นเราเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha_d = 0.11 \rightarrow 0.14 \text{ a.u.}$ จะส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ μ เป็น + และทำให้ $t(s_x)$ เวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ในสมการที่ 6 มีค่า $\sin(\theta)$ เติมนัดขึ้น แต่ค่าพารามิเตอร์ของ κ เป็นลบ ทำให้เทอมของ $(\alpha_m/m)\cos(\theta)$ เติมนัดขึ้นมาชัดเจนจะส่งผลให้ $S_y(t)$ ในสมการที่ (11) มีเทอมที่เป็น + มากขึ้นจึงทำให้ภาพที่ 6 (a) มีการกระจัดในแนวตั้ง และการกระจัดในแนวราบมีขนาดมากกว่าการกระจัดในภาพที่ 6 (b) ต่อมาจากภาพที่ 6 (b) งานวิจัยนี้พิจารณา $\alpha_d > \alpha_m$ โดยที่เรากำหนดให้ค่า $\alpha_d = 0.25 \text{ a.u.}$ เป็นตัวแปรควบคุมหลังจากนั้นเราเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha_m = 0.11 \rightarrow 0.14 \text{ a.u.}$ จากที่เรากำหนดเงื่อนไข $\alpha_d > \alpha_m$ จะส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ μ มีค่าเป็นบวก และค่าพารามิเตอร์ κ มีค่าเป็นบวก ในเทอมของ $(\alpha_d/m)\sin(\theta)$ จึงส่งผลให้การกระจัดในแนวตั้ง S_y ในสมการที่ 11 มีเทอมที่มีค่าเป็นบวกน้อยลง ส่งผลให้กราฟการกระจัดของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ในภาพที่ 6 (b) มีขนาดการกระจัด S_y มีค่าน้อยกว่าการกระจัดในภาพที่ 6 (a) และขนาดการกระจัดในแนวราบ S_x มีค่าน้อยกว่าการกระจัดในภาพที่ 6 (a) จากภาพที่ 6 (b) ในช่วงการกระจัด 0 เมตร ถึง 5.8 เมตร เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้การกระจัดในแนวตั้งมีขนาดเพิ่มขึ้น (อนุภาคเคลื่อนที่ขาขึ้นไปถึงจุดสูงสุด) แต่พอช่วงการกระจัด 6.0 เมตร ถึง 7.2 เมตรโดยประมาณการเคลื่อนที่ของอนุภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ส่งผลให้การกระจัดในแนวราบ S_x มีขนาดลดลง เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกมีค่าเพิ่มขึ้นการเปรียบเทียบมุมการยิงของอนุภาคมวล m ในมุมระหว่าง $\theta = 15^\circ$, $\theta = 30^\circ$, $\theta = 45^\circ$ และ $\theta = 60^\circ$ ในกรณี 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 มีค่าแรงภายนอกเริ่มต้น และมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก ดังนี้ โดยมีตัวแปรควบคุม $\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}$, $\alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $f = 0.25 \text{ Hz}$, $f_0 = 2.15 \text{ N}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $m = 0.30 \text{ kg}$ ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงคือมุมการยิงของอนุภาคมวล $\theta = 15^\circ$, $\theta = 30^\circ$, $\theta = 45^\circ$ และ $\theta = 60^\circ$ ส่วนในกรณีที่ 2 คือ มีค่าแรงภายนอกเริ่มต้น และมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกน้อย ๆ ดังนี้ โดยมีตัวแปรควบคุม $\alpha_d = 0.01 \text{ a.u.}$, $\alpha_m = 0.015 \text{ a.u.}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $f = 0.25 \text{ Hz}$, $f_0 = 0.01 \text{ N}$, $v_0 = 10 \text{ m/s}$, $\gamma = 0.15 \text{ a.u.}$, $m = 0.30 \text{ kg}$ ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงคือมุมการยิงของอนุภาคมวล $\theta = 15^\circ$, $\theta = 30^\circ$, $\theta = 45^\circ$ และ $\theta = 60^\circ$ ดังภาพที่ 7 (a) และ (b)



ภาพที่ 7 (a) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่ามุม θ ต่าง ๆ ดังนี้ เส้นกราฟสีแดง $\theta = 15^\circ$, เส้นกราฟสีเหลือง $\theta = 30^\circ$, เส้นกราฟสีฟ้า $\theta = 45^\circ$, เส้นกราฟสีชมพู $\theta = 60^\circ$ ในกรณีที่มิต่ำแรงภายนอกเริ่มต้นและมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกที่มีค่ามาก

(b) แสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เมื่อมีค่ามุม θ ต่าง ๆ ดังนี้ เส้นกราฟสีแดง $\theta = 15^\circ$, เส้นกราฟสีเหลือง $\theta = 30^\circ$, เส้นกราฟสีฟ้า $\theta = 45^\circ$, เส้นกราฟสีชมพู $\theta = 60^\circ$ ในกรณีที่มิต่ำแรงภายนอกเริ่มต้นและมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกที่มีค่าน้อย

จากภาพที่ 7 (a) เป็นการแสดงกราฟของการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของมุม θ การยิงชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะภาพที่ 7 (a) มีค่าตัวแปรควบคุม ดังนี้ $\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}$, $\alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}$, $f_0 = 2.15 \text{ N}$ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m และมีค่าตัวพารามิเตอร์ที่เป็นเชิงตัวเลขของพารามิเตอร์ของ μ, κ (Kantrowitz & Neumann, 2017) ในแต่ละมุมต่าง ๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าของพารามิเตอร์เชิงตัวเลขของ μ, κ ในมุม $\theta = 15^\circ, \theta = 30^\circ, \theta = 45^\circ, \theta = 60^\circ$

กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
$\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$	$\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$
$\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$	$\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$
$\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg},$	$\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg},$
$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$
$\mu = 0.5888022097$	$\mu = 0.6708118551$
$\kappa = -0.3943782196$	$\kappa = -0.2285468820$

ตารางที่ 2 แสดงค่าของพารามิเตอร์เชิงตัวเลขของ μ, κ ในมุม $\theta=15^\circ, \theta=30^\circ, \theta=45^\circ, \theta=60^\circ$ (ต่อ)

กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
$\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$	$\mu = \frac{\alpha_d}{m} \cos(\theta) + \frac{\alpha_m}{m} \sin(\theta)$
$\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$	$\kappa = \frac{\alpha_d}{m} \sin(\theta) - \frac{\alpha_m}{m} \cos(\theta)$
$\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg},$ $\theta = 45^\circ$	$\alpha_d = 0.14 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.16 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg},$ $\theta = 60^\circ$
$\mu = 0.7071067812$	$\mu = 0.6952135487$
$\kappa = -0.04714045208$	$\kappa = 0.1374785218$

จากตารางที่ 2 เราสามารถวิเคราะห์ผลการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ได้ดังภาพที่ 7 (a) เท่านั้น ในภาพที่ 7 (a) มุมการยิงอนุภาค ณ $\theta=30^\circ$ จะทำให้อนุภาคมวล m เคลื่อนที่ได้ไกลที่สุดในแนวระดับเพราะเป็นผลมาจากพารามิเตอร์ μ, κ และพารามิเตอร์ของแรงภายนอกเริ่มต้น ด้วย ดังนั้น ในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 และภาพที่ 6 คุณลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ในกรณีที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ไกลในแนวระดับ การที่งานวิจัยชิ้นนี้พิจารณาแรงต้านอากาศ และแรงยกเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ภายใต้แรงภายนอกที่มีลักษณะการสั่นมีผลต่อการเคลื่อนที่อนุภาค ถ้าค่าของมุมการยิงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะการกระจัดแนวตั้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น และระยะการกระจัดแนวระดับมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น มุมยิงที่ทำให้ได้ระยะการกระจัดมากที่สุด คือ $\theta=30^\circ$ จากภาพที่ 7 (b) ค่าตัวแปรควบคุม $\alpha_d = 0.01 \text{ a.u.}, \alpha_m = 0.015 \text{ a.u.}, g = 9.8 \text{ m/s}^2, f = 0.25 \text{ Hz}, f_0 = 0.01 \text{ N}, v_0 = 10 \text{ m/s}, \gamma = 0.15 \text{ a.u.}, m = 0.30 \text{ kg}$ มีค่าน้อย ๆ ส่งผลให้อนุภาคมวล m เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ได้การกระจัดที่มีลักษณะสอดคล้องตามในแบบเรียนหนังสือ คือ มุมการยิงอนุภาค ณ $\theta=45^\circ$ จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ระยะการกระจัดในแนวระดับมีค่ามากที่สุดดังภาพที่ 7 (b) เส้นกราฟสีฟ้า น้ำทะเล และวิถีการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ทุกมุมการยิงอนุภาค เกิดความสมมาตร การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ต่อมาทำการเปรียบเทียบระยะการกระจัดในแนวตั้งระหว่างภาพที่ 7(a) กับภาพที่ 7(b) ระยะการกระจัดในแนวตั้งภาพที่ 7(a) มีความสูงมากกว่าระยะการกระจัดในแนวตั้งภาพที่ 7(b) เป็นผลมาจากการคิดแรงยก และแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา แต่ระยะการกระจัดในแนวระดับของภาพที่ 7(a) มีค่าน้อยกว่าภาพที่ 7(b) เป็นผลมาจากการคิดแรงต้านทานอากาศและแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

สรุป

ความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความถี่ของการสั่นอนุภาค และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศส่งผลให้อนุภาคมวล m มีการเคลื่อนที่ทิศทางลงถึงพื้นได้ช้าลง และความเร็วในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาขึ้นอยู่กับแรงภายนอกเริ่มต้น ถ้าค่าแรงภายนอกเริ่มต้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อนุภาคมวล m มีการเคลื่อนที่ทิศทางลงถึงพื้นได้เร็วขึ้น การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของเวลาจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความถี่ แต่แปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศ ต่อมาการกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m ไปได้ไม่ไกลในแนวระดับ และในแนวตั้ง การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับแปรผันตรงกับค่าแรงภายนอกเริ่มต้น และค่าความเร็วเริ่มต้น และค่าความถี่ของการสั่นอนุภาคด้วย แต่การกระจัดในแนวตั้งที่เป็นฟังก์ชันของการกระจัดในแนวระดับแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

ควรมีการเปรียบเทียบมุมที่เปลี่ยนไปที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการคำนวณหาการกระจัดและความเร็ว ในกรณีเพิ่มแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลาในแนวระดับ และในแนวตั้งพร้อมกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จุฬามาศ ช่างคำ, ปิยรัตน์ มูลศรี, และอาทิตย์ หู่เต็ม. (2565). แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ภายใต้แรงภายนอกที่ขึ้นอยู่กับเวลา. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 17(2), 45-59.

Bradshaw, J. L. (2023). Projectile motion with quadratic drag. *American Journal of Physics*, 91(4), 258-263.

- Dharma, R. P. (2019). Projectile motion using Mathematica. **International Science Community Association**, 7(3). 7-11.
- Ebaid, A., El-Zahar, E. R., Aljohani, A. F., Salah, B., Krid, M., & Machado, J. T. (2019). Analysis of the two-dimensional fractional projectile motion in view of the experimental data. **Nonlinear Dynamics**, 97, 1711-1720.
- Hutem, A., & Kerdmee, S. (2013). Physics Learning Achievement Study: Projectile, using Mathematica program of Faculty of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University Students. **European J of Physics Education**, 4, 22-33.
- Jeffrey, L.L., Donna, M. G. Comissiong & Karim R. (2014). Modelling the flight characteristics of a soccer ball. **American Journal of Physics Education**, 8, 4505.
- Kantrowitz, R., & Neumann, M. M. (2017). Optimization of Projectile Motion Under Air Resistance Quadratic in Speed. **Mediterranean Journal of Mathematics**, 14(1).
- 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.
- Mustafa, T., & Tugce, A. (2020). Exact and approximate solutions to projectile motion in air incorporating Magnus effect. **The European Physical Journal Plus**, 135, 566.
- Pouya, J.L., Patrick, K., Mohammad H., M., & William, W. (2014). Computational aerodynamics of baseball, soccer ball and Volleyball. **American Journal of Sports Science**, 115-121.
- Uddin, N., Mostofa, G., & Rana, S. (2021). NUMERICAL ANALYSIS OF DRAG AND LIFT FORCES ACTING ON LONG RANGE PROJECTILES. **International Journal of Academic Research and Reflection**, 9(1), 15-27.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง

อัจฉริยะกุล พวงเพชร^{1*} พรอริยา ฉรินัง² ศิริวรรณ ณะวงษ์³

Received : September 28, 2023

Revised : May 12, 2024

Accepted : July 4, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองที่ผลิตจากกล้วยหอมทองที่ปลูกในจังหวัดเพชรบุรี ผลการศึกษาคุณภาพของชาเปลือกกล้วยหอมทองที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า มีค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) เท่ากับ 0.33 ปริมาณสารปนเปื้อนโลหะหนักและจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ. 2564 ชาจากพืช และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องชา (มผช.120/2558) โดยไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรคทั้งในส่วนของเชื้อ *Salmonella* spp. *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium* spp. และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดยังอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด นอกจากนี้ยังไม่พบการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชาเปลือกกล้วยหอมทองมีความปลอดภัยต่อการบริโภค การศึกษาปริมาณการบรรจุชาที่เหมาะสม ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 3, 5 และ 7 กรัม โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบกับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน ด้วยแบบทดสอบแบบ 9 - Point hedonic scale พบว่า น้ำชาที่ชงจากชาที่บรรจุปริมาณ 5 กรัมได้รับคะแนนความชอบในทุกด้านสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในส่วนของการศึกษารยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 98 ยอมรับ และผู้บริโภคร้อยละ 94 ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง จากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางการพัฒนาต่อยอดการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การยอมรับของผู้บริโภค ชาเปลือกกล้วยหอมทอง เปลือกกล้วยหอมทอง

¹ อาจารย์ สาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
อีเมล: ascharyakul.pua@mail.pbru.ac.th

² อาจารย์ สาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
อีเมล: pomariya.chi@mail.pbru.ac.th

³ เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ระบบลำเลียงแสง สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา
อีเมล: siriwannawong@slri.or.th.

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: ascharyakul.pua@mail.pbru.ac.th

PRODUCT DEVELOPMENT OF HOM THONG BANANA PEEL TEA

Ascharyakul Puangphet^{1*} Pornariya Chirinang² Siriwan Nawong³**Abstract**

The objectives of this research were to develop and study the quality of a tea product produced from Hom Thong banana peel from Phetchaburi province. The results of studying the quality of Hom Thong banana peel tea prepared using a hot air oven at a temperature of 55 °C for 6 hours showed that the water activity (aw) of the tea was 0.33. The heavy metals (arsenic, cadmium, lead, mercury, and tin) and the total plate count met the standard criteria according to the notification of the Ministry of Public Health (No. 426) B.E.2564 (2021) regarding teas from plants, and the Thai Community Product Standard: Tea (TCPS. 120/2558). Pathogenic microorganisms; including Salmonella spp., Staphylococcus aureus, and Clostridium spp.; were not found. Aflatoxin contamination was also not found in the Hom Thong banana peel tea. These results indicate that Hom Thong banana peel tea is safe for consumption. A study on the different amounts of tea used for brewing, specifically 3, 5, and 7 grams, was evaluated by 100 general consumers using a 9-point hedonic scale. The results showed that tea brewed with 5 grams of Hom Thong banana peel tea received significantly higher satisfaction ratings in all aspects than the other amounts at a significant level ($p < 0.05$). Regarding consumer acceptance and purchase decisions, the results showed that 98% of consumers accepted the Hom Thong banana peel tea product, and 94% decided to buy it. The results of this study can serve as a guideline for further development of the commercial processing of Hom Thong banana peel tea in the future.

Keywords: Consumer acceptability, Hom Thong banana peel tea, Hom Thong banana peel

¹ Lecturer, Department of Applied Food and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: ascharyakul.pua@mail.pbru.ac.th

² Lecturer, Department of Applied Food and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, e-mail: pornariya.chi@mail.pbru.ac.th

³ Scientist, Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), Nakhon Ratchasima, e-mail: siriwannawong@slri.or.th

* Corresponding author, e-mail : ascharyakul.pua@mail.pbru.ac.th

บทนำ

กล้วยหอมทอง เป็นผลไม้ที่มีการเพาะปลูกมากในจังหวัดเพชรบุรี โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตอำเภอบ้านลาด (อธิสิทธิ์ นุชเนตร และสุภาพร เพชรรัตน์กุล, 2556) และอำเภอยาง่าง (นันทนา แฮวอู, 2548) โดยรูปแบบของการจัดหน่ายกล้วยหอมทองส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของผลสด ในกรณีที่กล้วยมีขนาดไม่ได้ตามมาตรฐานหรือในบางฤดูกาลที่ปริมาณกล้วยหอมทองมากเกินไป จะส่งผลให้ราคาของกล้วยลดลงไปด้วย ดังนั้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์จึงเป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตกล้วยหอมทอง ซึ่งการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วยส่วนใหญ่ใช้เพียงส่วนของเนื้อมาก ส่วนของเปลือกกล้วยจึงกลายเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้ง ในปัจจุบันมีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับสรรพคุณของเปลือกกล้วยว่าเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ ต่อร่างกาย อาทิ สารประกอบฟีนอล แคลโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์และสารสำคัญอื่น ๆ (Baskar et al., 2011; Okolie et al., 2016) นอกจากนี้เปลือกกล้วยยังมีปริมาณของใยอาหารที่สูง (Wachirasiri et al., 2009) ซึ่งใยอาหารมีประโยชน์ต่อร่างกายในหลาย ๆ ด้าน อาทิ แก้อาการท้องผูก และลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ เป็นต้น (Rodriguez et al., 2006)

ชาเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก และได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งเป็นผลจากกระแสการตื่นตัวในเรื่องการดูแลสุขภาพ โดยมีรายงานการศึกษาที่แสดงถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการดื่มชา อาทิ เรื่องการช่วยชะลอวัย การลดระดับคอเลสเตอรอลและลดระดับน้ำตาลในเลือด เป็นต้น (สิริพร หลอดเงิน, 2548) ปัจจุบันรูปแบบของชาได้มีการพัฒนาให้มีความหลากหลายมากขึ้น รวมถึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเอาส่วนต่าง ๆ ของพืชที่มีสรรพคุณที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มาพัฒนาเป็นชาสำหรับขงดื่มเพิ่มมากขึ้น อาทิ ชาใบย่านาง (ศิริลักษณ์ ผกามาศ และคณะ, 2561) ชาใบหม่อน (มาตีนา น้อยทับทิม และคณะ, 2566) และชาเปลือกกล้วยน้ำว้า (สุนันทา คະเนนอก, 2556) เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ชาจากพืชในปัจจุบัน มีการผลิตและจำหน่ายออกมา ในรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งนี้เพื่อเป็นเพิ่มทางเลือกให้ผู้บริโภคกลุ่มที่นิยมดื่มชา ให้สามารถเลือกบริโภคชาได้ตรงตามความต้องการ

ดังนั้นจากข้อมูลที่กล่าวมาในข้างต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติที่ดีของเปลือกกล้วยหอมทอง ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการนำเอาเปลือกกล้วยหอมทองที่เพาะปลูกแบบปลอดสารในจังหวัดเพชรบุรี มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชาและศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการบรรจุชา ตลอดจนวิเคราะห์ความปลอดภัยในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคที่นิยมดื่มชา รวมถึงเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์ของเปลือกกล้วยหอมทองให้มากขึ้น และเป็นแนวทางให้แก่กลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปกล้วยหอมทองในจังหวัดเพชรบุรี สำหรับการนำไปพัฒนาต่อยอดด้านการผลิตและการจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้ให้กับชุมชน ตลอดจนเป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปกล้วยหอมทองได้อีกทาง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง ที่ผลิตจากกล้วยหอมทองที่ปลูกในจังหวัดเพชรบุรี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชาเปลือกกล้วยหอมทอง

เตรียมชาเปลือกกล้วยหอมทอง โดยใช้เปลือกกล้วยหอมทองที่ซื้อมาจากสหกรณ์การเกษตร อำเภอ บ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นกล้วยหอมทองปลอดสาร ที่ได้มีการจัดการด้านการเพาะปลูกกล้วยหอมทองตามแนวทางการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (Good Agricultural Practice; GAP) โดยเป็นกล้วยหอมทองที่มีความสุกอยู่ในระดับที่ 6 คือ มีเปลือกเป็นสีเหลืองทองทั้งผล (Soltani et al., 2011) ซึ่งจากการศึกษาในเบื้องต้น (Preliminary study) ของผู้วิจัยพบว่าเปลือกกล้วยหอมทองที่อยู่ในความสุกระดับนี้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมีสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลโคซิเดสดีที่สุดในส่วนของวิธีการผลิตชาเปลือกกล้วยหอมทองนั้นทำการตัดแปลงจากวิธีของสุนันทา คະเนนออก (2556) โดยการนำกล้วยหอมทองที่ระยะสุกมาล้างทำความสะอาด ร่วมกับการแช่ลงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (โซเดียมไบคาร์บอเนต 15 กรัมต่อน้ำ 2000 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 15 นาที และนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 1 ครั้ง จากนั้นนำมาปอกเปลือก หั่นเป็นเส้นที่มีขนาดความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร และทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (Hammer grinding) (POLY MIX Mills Lab, Switzerland) ที่มีขนาดช่องผ่านตะแกรง 2.0 มิลลิเมตร ทำการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity; a_w) โดยใช้เครื่อง a_w meter (AQUA LAB, USA) ก่อนนำไปบรรจุใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกแบบสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิห้อง จนกว่าจะนำไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาคุณภาพของชาเปลือกกล้วยหอมทอง

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในชาเปลือกกล้วยหอมทอง

วิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนโลหะหนักในชาเปลือกกล้วยหอมทอง ประกอบด้วย สารหนู แคดเมียม ตะกั่ว ดีบุก และปรอท โดยการนำตัวอย่างชาเปลือกกล้วยหอมทอง ที่บดละเอียดแล้ว 300 มิลลิกรัม มาทำการย่อยด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 65 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 30 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทำการย่อยสลายตัวอย่างด้วย วิธี Microwave Digestion จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาชนิดของธาตุในตัวอย่างด้วยเครื่อง Inductive Couple Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) รุ่น iCAP Q (Thermo Fisher Scientific, USA)

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาในผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง

วิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาในชาเปลือกกล้วยหอมทอง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ชา (มผช.120/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) และตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ.2564 ชาจากพืช (กระทรวงสาธารณสุข, 2564) ประกอบด้วยการวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด (Maturin & Peeler, 2001) *Salmonella* spp. (Anonymous, 2017) *Staphylococcus aureus* (Tallent et al., 2016) และ *Clostridium* spp. (Solomon & Lilly, 2001)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินในชาเปลือกกล้วยหอมทอง

วิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินในชาเปลือกกล้วยหอมทอง ประกอบด้วยอะฟลาทอกซินชนิดคือ B1 B2 G1 G2 และปริมาณอะฟลาทอกซินรวม (Total aflatoxins) ด้วยวิธี In-house method TE-CH-025 based on AOAC (2019) 991.3 I และ 994.08 โดยใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ทำการวิเคราะห์โดยส่งตัวอย่างทั้งหมดไปทดสอบที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร

3. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการบรรจุชาเปลือกกล้วยหอมทอง

3.1 การเตรียมชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในถุงชาในปริมาณที่แตกต่างกัน

ชาเปลือกกล้วยหอมทองที่ได้จากการเตรียมในข้อที่ 1 ถูกบรรจุลงในถุงกรองชา (แบบผ้าชนิดใช้แล้วทิ้ง) ขนาด 3x5 เซนติเมตร ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 กรัม ปิดผนึกถุงชาให้สนิทด้วยความร้อน และทำการอบฆ่าเชื้อโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที บรรจุลงถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกด้วยความร้อนและเก็บจนกว่าจะนำไปทำการศึกษาในขั้นต่อไป

3.2 การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทอง

นำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุลงในถุงชา ในปริมาณที่แตกต่างกัน มาชงกับน้ำร้อน โดยนำถุงชาใส่ลงในแก้ว และเติมน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในแก้วที่มีถุงชา ทำการแช่ถุงชาเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลานำถุงชาออก นำน้ำชาที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี เพื่อหาค่าสี L* (ค่าความสว่าง) a* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้เครื่อง Colorimeter รุ่น CR400 (Minolta, Japan)

3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทอง

น้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองเตรียมจากวิธีตามข้อ 3.2. ถูกนำมาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบกับผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุ 20 ปีขึ้นไป จำนวน 100 คน โดยใช้การสุ่มตัวอย่างโดยไม่คำนึงถึงความน่าจะเป็น (Non-probability sampling) และใช้การสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) ทำการประเมินคุณลักษณะความชอบทางประสาทสัมผัส 4 ด้านประกอบด้วย ด้านสี กลิ่น รสชาติ และ

การยอมรับโดยรวม โดยใช้วิธีการแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ แบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 - Point hedonic scale) และศึกษาการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อชาเปลือกกล้วยหอมทอง โดยใช้แบบทดสอบการยอมรับและการตัดสินใจซื้อ

4. วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ทำการทดลองในแต่ละขั้นตอนเป็นจำนวน 3 ซ้ำ ($n=3$) วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ค่ากิจกรรมของน้ำของชาเปลือกกล้วยหอมทอง

จากการพัฒนาชาเปลือกกล้วยหอมทองโดยใช้เปลือกกล้วยหอมทองในระดับสูง ดัดแปลงกระบวนการผลิตจากสุนันทา คະเนนอ (2556) โดยเมื่อนำชาเปลือกกล้วยหอมทองดังกล่าว ไปวิเคราะห์ค่า a_w พบว่า มีค่า a_w เท่ากับ 0.33 สอดคล้องกับการศึกษาของเบญจางค อัจฉริยะโพธา และคณะ (2565) ที่ทำการศึกษาคาร์โบไฮเดรตจากสมุนไพรไทยและใบหญ้าหวานอบแห้งสำหรับการผลิตชาขงดื่ม โดยพบว่า ผงชาสมุนไพรและผักชีลาวที่ผ่านกระบวนการอบแล้วมีค่า a_w เท่ากับ 0.30 และ 0.35 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า a_w จัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการป้องกันและควบคุมการเสื่อมเสียของอาหาร โดยเป็นตัวชี้วัดปริมาณน้ำในอาหารที่ต่ำที่สุดที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญ รวมไปถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มที่เกิดการเน่าเสียยาก อาทิ อาหารแห้งชนิดต่าง ๆ จะมีค่า a_w ที่ต่ำกว่า 0.60 (วิลโลว์ รังสาทอง, 2543) ดังนั้นในกระบวนการทำแห้งเปลือกกล้วยหอมทองโดยใช้ตู้อบลมร้อนในครั้งนี้นั้น สามารถลดค่า a_w ของชาเปลือกกล้วยหอมทองลงให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งจะส่งผลในเรื่องของการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ที่เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

2. ปริมาณโลหะหนักในชาเปลือกกล้วยหอมทอง

จากผลการทดสอบในตารางที่ 1 พบว่า ชาเปลือกกล้วยหอมทองมีปริมาณสารปนเปื้อนโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ.2564 ชาจากพืช (กระทรวงสาธารณสุข, 2564) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเปลือกกล้วยหอมทองที่นำมาใช้ในการพัฒนาเป็นชาเปลือกกล้วยหอมทองในครั้งนี้มีปริมาณสารปนเปื้อนโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย สำหรับการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชาได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกล้วยหอมทองที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ เป็นกล้วยที่มีการรับรองการจัดการด้านการ

เพาะปลูกกล้วยหอมทอง ตามแนวทางการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (GAP) ที่เป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตร ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทั้งนี้ GAP สำหรับพืชอาหารเป็นข้อกำหนดที่ครอบคลุมในการผลิตพืชที่ใช้เป็นอาหาร อาทิ ผัก ไม้ผล พืชไร่ พืชเครื่องเทศ ตลอดจนพืชสมุนไพร ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวจะช่วยปรับปรุงคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรของไทย ให้เป็นที่ยอมรับในด้านต่าง ๆ อาทิ ความปลอดภัยของผู้บริโภค ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้ข้อกำหนดในการปฏิบัติจะครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการผลิตเริ่มต้น พื้นที่การเพาะปลูก ระบบการจัดการดูแลรักษา จนกระทั่งการจัดจำหน่ายผลผลิตไปยังผู้บริโภค (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556) โดยเกษตรกรจะต้องดำเนินการร่วมกับหน่วยงานของรัฐ สำหรับการออกใบรับรองตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีในพืชแต่ละชนิด (ณัฐวุฒิ จันทอง และพหล ศักดิ์คะทศน์, 2559) นอกจากนั้นในกระบวนการผลิตชาในครั้งนี้ได้มีการล้างทำความสะอาดเปลือกกล้วยร่วมกับการแช่โซเดียมไบคาร์บอเนต ทั้งนี้มีรายงานการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในการล้างผักว่าสามารถลดปริมาณสารพิษตกค้างในผักได้ถึงร้อยละ 90 -95 (นันทวดี เนียมนุ้ย และคณะ, 2565) ซึ่งเป็นการลดการปนเปื้อนจากสารต่าง ๆ ในเปลือกกล้วยได้อีกทาง

ตารางที่ 1 ปริมาณสารปนเปื้อนโลหะหนักในชาเปลือกกล้วยหอมทอง

โลหะหนัก	ปริมาณ (mg/kg)	
	ชาเปลือกกล้วยหอมทอง	เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ชาจากพืช)
สารหนู (As)	ND.	0.2
แคดเมียม (Cd)	ND.	0.3
ตะกั่ว (Pb)	0.016	0.5
ปรอท (Hg)	<0.013	0.02
ดีบุก (Sn)	ND.	250

หมายเหตุ ND. หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected)

3. คุณภาพทางจุลชีววิทยาในผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง

จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ.2564 ชาจากพืช (กระทรวงสาธารณสุข, 2564) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ชา (มพช. 120/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) โดยในผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองนั้น ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *Salmonella* spp. *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium* spp. ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่

กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ชา (มผช. 120/2558) ซึ่งจากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าชาเปลือกกล้วยหอมทองที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีความปลอดภัยในด้านของการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 2 คุณภาพทางจุลชีววิทยาในผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง

เชื้อจุลินทรีย์	ปริมาณ		
	ชาเปลือกกล้วยหอมทอง	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) เรื่อง ชาจากพืช	มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ชา (มผช.120/2558)
จุลินทรีย์ทั้งหมด	2.2×10^3 CFU/g	-	ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
<i>Salmonella</i> spp.	ND.	ไม่พบใน 25 กรัม	ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND.	ไม่เกิน 100 ใน 1 กรัม	ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
<i>Clostridium</i> spp.	ND.	-	-

หมายเหตุ ND. หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected)

4. ปริมาณอะฟลาทอกซินในชาเปลือกกล้วยหอมทอง

ในการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินในชาเปลือกกล้วยหอมทองก่อนที่จะนำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภค เนื่องจากอะฟลาทอกซิน เป็นสารพิษชนิดหนึ่งที่ผลิตขึ้นจากเชื้อราตระกูล *Aspergillus* และมักพบว่ามี การปนเปื้อนอยู่ในอาหารหลากหลายชนิด อาทิ อาหารประเภทธัญพืช แป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้ง รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป) สารอะฟลาทอกซินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ นั้น มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลทางชีวภาพ ที่สามารถจำแนกสารอะฟลาทอกซินได้ออกเป็น 4 ชนิด คือ ชนิด B1 B2 G1 และ G2 องค์การอนามัยโลกได้มีการจัดให้อะฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็งที่มีความร้ายแรงมากที่สุดชนิดหนึ่ง (Potent carcinogen) โดยสามารถทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้ หากมีการได้รับสารพิษนี้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นสารชนิดนี้ยังมีความสามารถในการทนต่อการทำลายด้วยความร้อนได้สูงถึง 260 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้ความร้อนในระดับครัวเรือนนั้นไม่เพียงพอต่อการทำลายสารพิษชนิดนี้ (บดินทร์ บุตรอินทร, 2555) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วยอะฟลาทอกซินชนิด B1 B2 G1 และ G2 รวมถึงปริมาณอะฟลาทอกซินทั้งหมดในตารางที่ 3 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษากับประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ที่กำหนดให้มีการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซินทั้งหมดในอาหารได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2563) พบว่า ผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทองที่

ทำการศึกษาในครั้งนี้ มีความปลอดภัยต่อการบริโภค เนื่องจากไม่พบการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินทั้ง 4 ชนิดในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3 ปริมาณอะฟลาทอกซินในชาเปลือกกล้วยหอมทอง

Aflatoxins	ปริมาณ	หน่วย	LOD
Aflatoxin B1	ND.	µg/kg	0.20
Aflatoxin B2	ND.	µg/kg	0.20
Aflatoxin G1	ND.	µg/kg	0.20
Aflatoxin G2	ND.	µg/kg	0.20
Total Aflatoxin	ND.	µg/kg	0.20

หมายเหตุ ND. หมายถึง Not detected

LOD (Limit of Detection) หมายถึง ปริมาณต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ = 0.20 µg/kg

5. การศึกษาปริมาณการบรรจุชาเปลือกกล้วยหอมทองที่เหมาะสม

น้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่เตรียมจากการชงชาในน้ำร้อน โดยการใช้ชาเปลือกกล้วยหอมทองที่มีการบรรจุในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 กรัม น้ำชาที่ได้มีลักษณะของสีที่ต่างกัน ดังภาพที่ 1 จากการศึกษาพบว่า การบรรจุชาในถุงชาในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะสีของน้ำชาที่ต่างกัน โดยลักษณะของน้ำชาทั้ง 3 ตัวอย่างมีลักษณะเป็นสีเหลือง แต่มีลักษณะของความเข้มของสีที่ต่างกัน โดยน้ำชาที่ชงโดยใช้ชาที่บรรจุในปริมาณ 5 กรัม มีสีของน้ำชาเป็นสีเหลืองเข้มมากที่สุด รองลงมาคือชาที่ชงโดยใช้ชาที่บรรจุในปริมาณ 7 และ 3 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการบรรจุชาในถุงชาที่ปริมาณ 5 กรัม เป็นปริมาณที่มีการบรรจุชงชาที่พอเหมาะ ไม่แน่นหรือน้อยจนเกินไป ผงชาสามารถกระจายตัวได้ดีในถุงชา เมื่อนำไปชงในน้ำ ทำให้สีกลิ่นและรสชาติของชาสามารถละลายออกมาได้ดี ในขณะที่เดียวกัน การบรรจุชงชาในปริมาณ 3 กรัมอาจเป็นปริมาณที่น้อยเนื่องจากลักษณะของน้ำชาที่ได้มีสีอ่อน รวมทั้งมีกลิ่นและรสชาติที่อ่อนกว่าน้ำชาที่ได้จากการชงชาที่บรรจุชงชาในปริมาณ 5 และ 7 กรัม และในส่วนของการบรรจุชงชาในปริมาณ 7 กรัม นั้น อาจเป็นปริมาณบรรจุที่มากเกินไป ทำให้ผงชาเกาะตัวกันแน่นและมีการกระจายตัวในถุงชาที่ไม่ดี เมื่อนำไปชงกับน้ำจึงทำให้สี กลิ่น และรสชาติละลายออกมามีได้ยากขึ้น เช่นเดียวกับลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นผง ที่พบว่าหากอาหารที่มีลักษณะเป็นผงเกิดการเกาะตัวกันในปริมาณมาก จะทำให้ความสามารถในการกระจายตัวในน้ำไม่ดี ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงตามไปด้วย (อรทัย บุญทะวงศ์, 2547)



ภาพที่ 1 ลักษณะของน้ำชาเปลือกกล้วยจากการบรรจุชาในปริมาณที่ต่างกัน

เมื่อนำน้ำชาทั้ง 3 ตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ค่าสี (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าสี L^* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงค่าความสว่าง ในตัวอย่างน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในปริมาณ 5 และ 7 กรัม มีค่าความสว่างที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีความแตกต่างกับน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในปริมาณ 3 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในปริมาณ 3 กรัม มีค่าความสว่างต่ำที่สุด ในส่วนของค่า a^* ของน้ำชาทุกตัวอย่างมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) รวมถึงมีแสดงค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงว่าน้ำชาที่มีสีออกปาทางสีเขียว ในขณะที่ค่า b^* ของน้ำชาทั้ง 3 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในปริมาณ 5 กรัมมีค่า b^* สูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมา คือน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในปริมาณ 7 และ 3 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามน้ำชาทุกตัวอย่างแสดงค่า b^* เป็นบวก แสดงให้เห็นว่าน้ำชาที่มีสีออกปาทางสีเหลือง ซึ่งจากผลดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของน้ำชาที่แสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 4 ค่าสีของน้ำชาเปลือกกล้วยจากการบรรจุชาในปริมาณที่ต่างกัน 3 ระดับ

ปริมาณชาที่บรรจุในถุงชา (g)	ค่าสี		
	L^*	a^{*ns}	b^*
3	47.40 ± 0.15^b	-3.48 ± 0.23	1.68 ± 0.21^c
5	48.80 ± 0.92^a	-3.46 ± 0.92	3.34 ± 0.16^a
7	49.55 ± 0.34^a	-3.79 ± 0.11	2.86 ± 0.15^b

หมายเหตุ ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 5 พบว่า ชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในถุงชาที่ปริมาณ 5 กรัม ได้รับคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม สูงกว่าการบรรจุในปริมาณอื่น ในทางตรงกันข้ามชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในถุงชาที่ปริมาณ 3 กรัม พบว่า ได้รับคะแนนความชอบในทุก ๆ ด้านต่ำกว่าชาที่บรรจุในปริมาณอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้ข้อเสนอแนะว่า การบรรจุชาเปลือกกล้วยในถุงชาที่ปริมาณ 3 กรัม ทำให้น้ำชาที่ได้มีลักษณะด้านสี กลิ่น และรสชาติที่อ่อน เมื่อเทียบกับการบรรจุในปริมาณ 5 และ 7 กรัม ที่น้ำชามีความเข้มข้นมากกว่า ในขณะที่การบรรจุชาลงในถุงชาที่ปริมาณ 7 กรัม อาจจะเป็นปริมาณที่มากเกินไป ผงชาอาจเกิดการอัดตัวกันแน่น ส่งผลให้กลิ่น รสชาติ รวมไปถึงสีของชาปลดปล่อยออกมาได้ไม่ดีเท่าที่ควรในระหว่างการชง ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ชอบชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุในถุงชาที่ปริมาณ 5 กรัม โดยให้ความคิดเห็นว่าเป็นการบรรจุในปริมาณที่เหมาะสม และส่งผลต่อลักษณะที่ดีของน้ำชาคือ มีสีที่เหลืองเข้มและมีกลิ่นรสของกล้วยหอมทองที่ชัดเจน สามารถรับประทานได้ง่าย สอดคล้องกับการศึกษาของสุรัชย์ อุทมอ่าง และคณะ (2564) ที่ทำการศึกษาการยอมรับและพฤติกรรมการบริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไทย และพบว่าพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไทยในรูปแบบชง นอกจากลักษณะเฉพาะของตัวสมุนไพรแล้ว ในด้านความรู้สึกล้นหลังลิ้น รสชาติ กลิ่นรสสมุนไพรและสี ก็มีส่วนสำคัญต่อความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบของน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองที่บรรจุลงในถุงชาในปริมาณที่ต่างกัน

ลักษณะ	ปริมาณชาที่บรรจุในถุงชา (กรัม)		
	3	5	7
สี	6.21 ± 0.95 ^c	7.74 ± 0.67 ^a	7.09 ± 0.73 ^b
กลิ่น	6.22 ± 0.84 ^b	7.26 ± 0.82 ^a	7.09 ± 0.89 ^a
รสชาติ	6.16 ± 0.87 ^c	7.56 ± 0.62 ^a	7.33 ± 0.71 ^b
ความชอบโดยรวม	6.24 ± 0.75 ^c	7.60 ± 0.59 ^a	7.34 ± 0.70 ^b

หมายเหตุ ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรต่างกันที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในส่วนของการศึกษาการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง จากผู้บริโภคที่ได้ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำชาเปลือกกล้วยหอมทองจำนวน 100 คน (ตารางที่ 6) พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 98 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง โดยส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจในเชิงสุขภาพ ในขณะที่เดียวกันในส่วนของการศึกษาการตัดสินใจซื้อ พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 94 ตัดสินซื้อผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง หากมีผลิตภัณฑ์วางจำหน่าย ในขณะที่ผู้บริโภคอีก 6 คน ยังไม่แน่ใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ โดยให้เหตุผลว่าต้องการเห็นผลิตภัณฑ์ที่มาพร้อมกับการบรรจุภัณฑ์ที่สมบูรณ์

ก่อนที่จะทำการตัดสินใจซื้อ อย่างไรก็ตามการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ชาในปัจจุบัน พบว่า การแสดงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ อาทิ ประโยชน์และสรรพคุณต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ชาที่มีต่อสุขภาพ ตลอดจนข้อมูลในเรื่องของความปลอดภัยของการบริโภค จะส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคได้ดียิ่งขึ้น (สุรชัย อุตมอ่าง และคณะ, 2564)

ตารางที่ 6 ความถี่และร้อยละการศึกษาการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง

ข้อมูลการสำรวจ	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง		
ยอมรับ	98	98
ไม่ยอมรับ	2	2
การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยหอมทอง		
ซื้อ	94	94
ไม่ซื้อ	0	0
ไม่แน่ใจ	6	6

สรุป

จากผลการวิจัยพบว่า ชาเปลือกกล้วยหอมทองที่ทำการพัฒนามีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ.2564 ชาจากพืช และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องชา (มพช.120/2558) ทั้งในส่วนของสารปนเปื้อนโลหะหนักและคุณภาพทางจุลชีววิทยา นอกจากนี้ยังไม่พบการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชาเปลือกกล้วยหอมทองที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีความปลอดภัยต่อการบริโภค โดยปริมาณชาเปลือกกล้วยหอมทองที่เหมาะสมในการบรรจุในถุงชาสำหรับชง คือ 5 กรัม ซึ่งผู้บริโภคร้อยละ 98 ยอมรับ และผู้บริโภคร้อยละ 94 ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณประโยชน์ สรรพคุณในด้านต่างๆ และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ชาจากเปลือกกล้วยหอมทองในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประเภททุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงาน ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2563). **ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 414 พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน**. ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศ, 137 (ตอน พิเศษที่ 118 ง).
- กระทรวงสาธารณสุข. (2564). **ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 426 พ.ศ. 2564 เรื่อง ฆ่าจากพืช**. ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศ, 138 (ตอน พิเศษที่ 102 ง).
- ณัฐภูมิ จันทอง, และพหล ศักดิ์คะทนต์. (2559). การยอมรับการผลิตมะม่วงตามหลักเกษตรที่ดีและเหมาะสมของเกษตรกรในอำเภอสสามโก้ จังหวัดอ่างทอง. **วารสารเกษตร**, 32(1), 19-27.
- นันทนา แฮวอู. (2548). **สถานการณ์ กระบวนการผลิตและการส่งออกกล้วยหอมทองปลอดสารพิษ: ศึกษาเฉพาะกรณี "สหกรณ์การเกษตรทำยาง จำกัด จังหวัดเพชรบุรี"**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- นันทชาติ เนียมนุ้ย, และคณะ. (2565). การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อปรสิตในผัก ที่จำหน่ายในตลาดสดและห้างสรรพสินค้าในเขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร. **วารสารวิชาการสาธารณสุข**, 31(1), 5-13.
- บดีนทร์ บุตรอินทร์. (2555). สารพิษจากเชื้อรา: อะฟลาทอกซิน. **วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่**, 45(2), 1-8.
- เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา, ชลธิชา คณະนา, และนรินรัตน์ แก่นสุข. (2565). การใช้ประโยชน์จากสมุนไพรไทยและใบหญ้าหวานอบแห้งสำหรับการผลิตชาชงดื่ม. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 3(2), 1-16.
- มาตินา น้อยทับทิม, วรระฆมน วัฒนายน, สิรินาถ ชูประจง, ตันนิม สมวงศ์, และวุฒิชัย ศรีช่วย. (2566). ผลของอุณหภูมิ ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาใบหม่อน และการผลิตชาใบหม่อนผง. **วารสารผลิตกรรมการเกษตร**, 5(2), 1-9.
- วิล รังสาดทอง. (2543). **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. (ม.ป.ป). **อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)**. สืบค้นจาก <https://fic.nfi.or.th/foodsafety/upload/damage/pdf/aflatoxin-2.pdf>
- สิริพร หลอดเงิน. (2548). ชาเขียวเครื่องดื่มยอติยิต. **วารสารสุทธิปริทัศน์**, 19(59), 28-36.
- สุนันทา คะเนนอก. (2556). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเปลือกกล้วยน้ำว้าเพื่อสุขภาพ (รายงานวิจัย)**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. พระนครศรีอยุธยา.
- สุรัชย์ อุดมอ่าง, นิรมล อุดมอ่าง, และรัฐนันท์ พงศ์วิริทธิ์ธร. (2558). การยอมรับและพฤติกรรมการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรไทย. **วารสารศรีนครินทร์วิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)**, 7(13), 187-199.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ชา มผช.120/2558**.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2556). **การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร**. มาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 9001-2556).
- ศิริลักษณ์ ผกามาศ, เสาวภา โขกระโทก, จิรายุส วรรัตน์โกคา, และศศิธร อินทร์นอก. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาย่านางผสมสมุนไพร. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 23(3), 1682- 1695.
- อรัญญา บุญทวงค์. (2547). **กรรมวิธีและลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะเกี๋ยง ผงชาละลายที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อธิสิทธิ์ นุชเนตร, และสุภาพร เพชรรัตน์กุล. (2556). กล้วยหอมทองบ้านลาด : ต้นทุนการผลิตกับความคุ้มค่าในการลงทุน. **วารสารเทคโนโลยีภาคใต้**, 6(2), 1-8.
- Anonymous. (2017). **EN ISO 6579-1 Microbiology of the food chain – Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* – Part 1: Detection of *Salmonella* spp.** International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.
- AOAC. (2019). **Official methods of analysis of AOAC international**. Gaithersburg, MD, USA.
- Baskar, R., Shrisakthi, S., Sathyapriya, B., Shyamprya, R., Nithya, R., & Poongodi, P. (2011). Antioxidant potential of peel extracts of banana varieties (*Musa sapientum*). **Food and Nutrition Sciences**, 2, 1128-1133.
- Maturin, L., & Peeler, J. T. (2001). **Bacteriological analytical manual. Chapter 3: Aerobic Plate Count**. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>

- Okolie, J. A., Henry, O. E., & Epelle, E. I. (2016). Determination of the antioxidant potentials of two different varieties of banana peels in two different solvents. **Food and Nutrition Sciences**, 7(13), 1253-1261.
- Rodriguez, R., Jimenez, A., Fernandez-Bolanos, J., Guillen, R., & Heredia, A. (2006). Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients. **Trends in Food Science and Technology**, 17(1), 3-15.
- Soltani, M., Alimardani, R., & Omid, M. (2011). Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. **Journal of Food Engineering**, 105(4), 625-631.
- Solomon, H. M., & Lilly, J. R. T. (2001). **Bacteriological analytical manual. Chapter 17: *Clostridium botulinum***. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-17-clostridium-botulinum>
- Tallent, S., Hait, J., Bennett, R. W., & Lancette, G. A. (2016). **Bacteriological analytical manual. Chapter 12: *Staphylococcus aureus***. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-12-staphylococcus-aureus>
- Wachirasiri, P., Julakarangka, S., & Wanlapa, S. (2009). The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fiber concentrate. **Songklanakarinn Journal of Science & Technology**, 31(6), 605-611.

การพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019
โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

พัลลภ ไกยะวินิจ¹ สุภาพร ใจการุณ² กุลชญา ลอยหา^{3*}

Received : January 23, 2024

Revised : June 17, 2024

Accepted : July 9, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 2) พัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 3) ศึกษาผลการใช้รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย บุคลากรสาธารณสุขและภาคีเครือข่าย จำนวน 74 คน และกลุ่มคนสำหรับการประเมินผลรูปแบบ จำนวน 267 คน เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบบันทึกการสนทนากลุ่ม แบบสอบถาม และแบบประเมินความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา สถิติทดสอบ Paired Sample t- test และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา

ผลการวิจัย พบว่า 1) รูปแบบเก่า เป็นการดำเนินการตามแนวทางและมาตรการของคณะกรรมการควบคุมโรคติดต่ออำเภอเมือง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของกรมควบคุมโรคติดต่อ กระทรวงสาธารณสุขกำหนด ซึ่งปัญหาและอุปสรรคที่พบ คือ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในพื้นที่มีภาระงานเพิ่มขึ้น ขาดความมั่นใจในการปฏิบัติงาน ประชาชนขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการติดต่อ และการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เกี่ยวกับโรคขาดการมีส่วนร่วมจากชุมชน 2) รูปแบบใหม่ที่ได้จากการศึกษา คือ รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ประกอบด้วย 5 มาตรการ ดังนี้ มาตรการที่ 1 ติดตามการเฝ้าระวังป้องกันโรค ในชุมชน มาตรการที่ 2 เสริมสร้างความรู้เรื่องโรค มาตรการที่ 3 ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการเฝ้าระวังโรค มาตรการที่ 4 ส่งต่อ/รักษา มาตรการที่ 5 สร้างเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน 3) ผลของการใช้รูปแบบฯ คือ ความรู้เกี่ยวกับโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และการมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 มีระดับคะแนนดีขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.001$, 95%CI = 2.91-3.29, $P < 0.001$, 95%CI = 0.28-0.12 และ $P < 0.001$, 95% CI = 0.62-0.50 ตามลำดับ)

คำสำคัญ: การมีส่วนร่วมของชุมชน รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรค โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

¹ นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการ สำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

อีเมล: phanlop.kG63@ubru.ac.th

² รองศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อีเมล: Supapom.c@ubru.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อีเมล: Kulchaya.l@ubru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Kulchaya.l@ubru.ac.th

DEVELOPMENT OF PREVENTION OF THE SPREAD OF CORONAVIRUS INFECTIOUS DISEASE
(COVID-19) THROUGH A PARTICIPATION MODEL IN NONG BO SUB-DISTRICT,
MUANG DISTRICT, UBON RATCHATHANI PROVINCE

Phanlop Kaiyavinit¹ Supaporn Chaigarun² Kulchaya Loyha^{3*}

Abstract

The objectives of this research were to: 1) study the current conditions, obstacles, and guidelines for surveillance and prevention of Coronavirus Disease 2019, 2) develop a surveillance model for the prevention of Coronavirus Disease 2019, and 3) present the results of using the surveillance model for prevention of Coronavirus Disease 2019 through community participation in Nong Bo Sub-District, Muang District, Ubon Ratchathani Province. The sample group consisted of public health personnel and network partners, totaling 74 people, and a group for model evaluation, totaling 267 people. The tools used were focus group recordings, questionnaires, and satisfaction assessment forms. Data were analyzed using descriptive statistics, Paired Sample t-test statistics, and content analysis.

The results of the research revealed that 1) the old format was implemented according to the guidelines and measures of the Mueang District Communicable Disease Control Committee, aligning with the policy of the Communicable Disease Control Department. The Ministry of Public Health specifies that officials in the area face increased workloads, lack confidence in performing their duties, and encounter challenges due to community members' lack of knowledge and understanding regarding contact tracing and preventing coronavirus disease 2019, which leads to insufficient community participation. 2) The new model derived from the study is a surveillance model for preventing coronavirus disease 2019, comprising 5 measures: Measure 1 involves follow-up surveillance to prevent disease in the community. Measure 2 focuses on strengthening knowledge about the disease. Measure 3 aims to promote community participation in disease surveillance. Measure 4 addresses forwarding/treatment, while Measure 5 involves creating a disease surveillance network in the community. 3) The results from using the model show improvements in knowledge about coronavirus disease 2019, surveillance behavior to prevent coronavirus disease 2019, and participation in its prevention and control efforts. These improvements are statistically significant at the 0.05 level ($P < 0.001$, 95% CI = 2.91-3.29 for knowledge, $P < 0.001$, 95% CI = 0.28-0.12 for surveillance behavior, and $P < 0.001$, 95% CI = 0.62-0.50 for participation).

Keywords: Community participation, Disease surveillance and prevention model, Coronavirus disease 2019

¹ Public Health Technical Officer, Professional Level, Mueang Ubon Ratchathani District Public Health Office, Ubon Ratchathani Province, e-mail: phanlop.kG63@ubru.ac.th

² Associate Professor of Department of Faculty of Public Health, Rajabhat Ubon Ratchathani University, e-mail: Supaporn.c@ubru.ac.th

³ Assistant Professor of Department of Faculty of Public Health, Rajabhat Ubon Ratchathani University, e-mail: Kulchaya.l@ubru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: Kulchaya.l@ubru.ac.th

บทนำ

การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (World Health, 2020) ได้กระจายเป็นวงกว้างอย่างรวดเร็ว ซึ่งในหลายประเทศทั่วโลกยังคงควบคุมสถานการณ์การระบาดของโรคไม่สำเร็จ (ทวีติยา สุจริตรักษ์, 2563) โดยพบว่า มีรายงานผู้ป่วยสะสมทั่วโลก ณ วันที่ 15 พฤษภาคม 2564 จำนวน 131,872,986 ราย เสียชีวิต 3,360,026 ราย สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 สำหรับในประเทศไทย วันที่ 15 พฤษภาคม 2564 กระทรวงสาธารณสุข พบผู้ป่วยยืนยันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 สะสม 96,050 ราย รักษาหาย 62,316 ราย เสียชีวิต 548 ราย (สำนักงานองค์การอนามัยโลกประจำประเทศไทย, 2564) จากการระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 ตั้งแต่ปลายปี 2562 ส่งผลกระทบต่อทั้งด้านเศรษฐกิจสังคม สุขภาพ รัฐบาลไทยจึงประกาศข้อกำหนดแห่งพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พ.ศ.2548 (ฉบับที่ 1) ใช้บังคับทั่วราชอาณาจักร มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2563 (ศูนย์ปฏิบัติการภาวะฉุกเฉิน กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2563)

จังหวัดอุบลราชธานี พบผู้ป่วยเข้าเกณฑ์สอบสวนโรคสะสม 12,968 ราย เป็นผู้ป่วยยืนยันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 สะสม 329 ราย เสียชีวิต 2 ราย เป็นผู้ป่วยในอำเภอเมืองอุบลราชธานี 129 ราย และเสียชีวิต 1 ราย จากยอดผู้ป่วยยืนยัน แยกเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ได้รับเชื้อ 3 อันดับ คือ 1) สัมผัสผู้ป่วยยืนยันที่เดินทางมาจากจังหวัดอื่น จำนวน 138 ราย (ร้อยละ 41) 2) เป็นสัมผัสผู้ป่วยเพื่อน/ครอบครัวในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 117 ราย (ร้อยละ 35.64) และ 3) เป็นการสัมผัสผู้ป่วยยืนยันในสถานบันเทิงในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 48 ราย (ร้อยละ 14.6) นอกจากนี้ยังมีการเฝ้าระวังผู้เดินทางจากพื้นที่เสี่ยง ทั้งหมด 34,341 คน เป็นผู้เดินทางเข้ามาในอำเภอเมืองอุบลราชธานี จำนวน 2,290 คน โดยแยกเป็นตำบลที่มีจำนวนผู้เดินทางมากที่สุด 3 ตำบลแรก ได้แก่ 1) ตำบลหนองบ่อ จำนวน 396 คน 2) ตำบลปทุม จำนวน 309 คน 3) ตำบลกุดลาด จำนวน 252 คน (ศูนย์ข้อมูล COVID จังหวัดอุบลราชธานี, 2564)

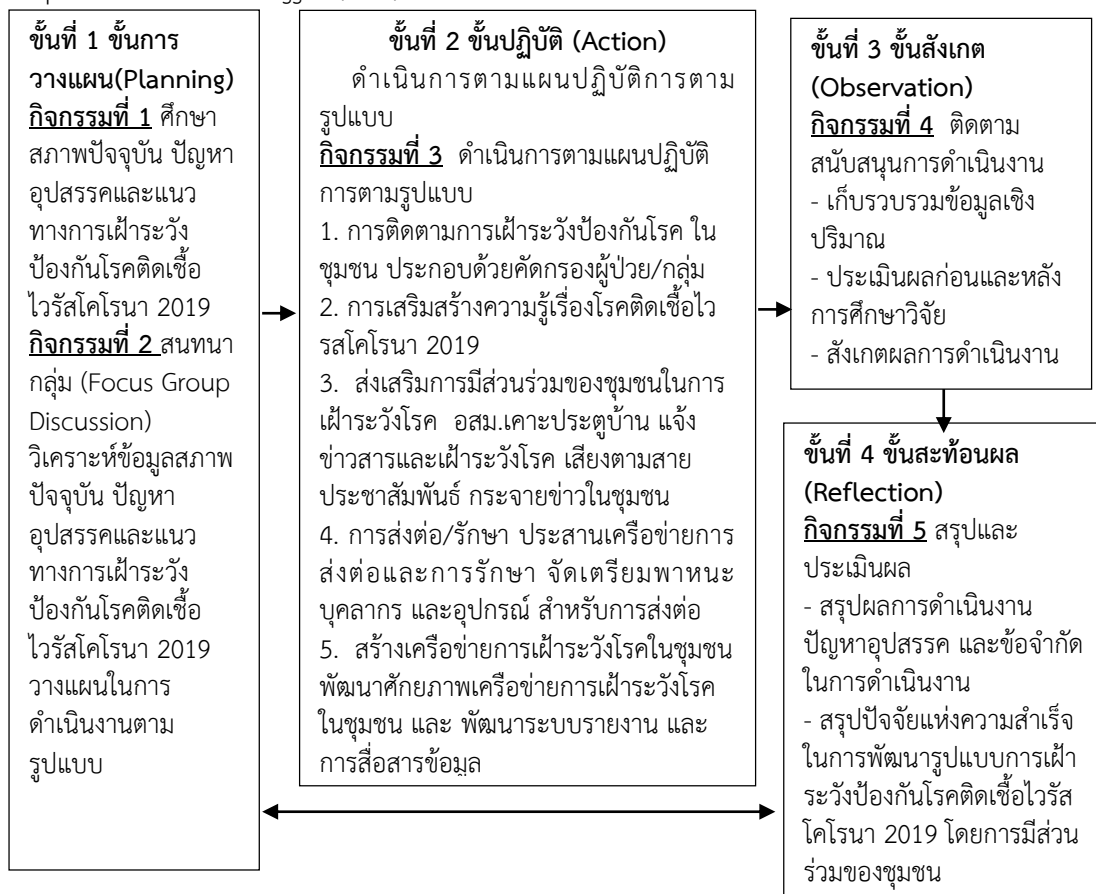
จากการดำเนินงานที่ผ่านมาตำบลหนองบ่อ มีการตามมาตรการอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากเป็นโรคอุบัติใหม่ องค์กรความรู้เกี่ยวกับโรคนั้นมีไม่มากนัก อีกทั้งจำนวนผู้ป่วยยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับประชาชนในชุมชนยังมีส่วนร่วมในการดำเนินการไม่มากเท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อเป็นแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์ต่อชุมชน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
3. เพื่อศึกษาผลการใช้รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ดำเนินการวิจัยตามกรอบแนวคิดของ Stephen Kemmis & McTaggart (1991) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ระยะที่ 1 การพัฒนารูปแบบ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้นำชุมชน อสม. ตัวแทนภาคีเครือข่ายในชุมชน ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านการป้องกันควบคุมโรคจากหน่วยงานสาธารณสุข และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในพื้นที่ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมีส่วนร่วมในกระบวนการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมืองจังหวัดอุบลราชธานี บุคลากรสาธารณสุข และภาคีเครือข่าย จำนวน 74 คน โดยเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จากบุคลากรสาธารณสุข อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ผู้นำชุมชน เจ้าหน้าที่องค์กรบริหารส่วนตำบล จำนวน 64 คน และเป็นตัวแทนภาคีบริการสังคมและบริการสุขภาพ จำนวน 10 คน

เกณฑ์คัดเลือก (Inclusion Criteria)

1. ผู้นำชุมชน กำนัน/ผู้ใหญ่บ้าน/สมาชิก อบต. ในเขตตำบลหนองบ่อ หรือ
2. อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ในเขตตำบลหนองบ่อ
3. ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านการป้องกันควบคุมโรคจาก สสอ.เมืองอุบลราชธานี รพ.สต.หนองบ่อ และ รพ.สต.ดงบัง
4. ตัวแทนครัวเรือนในเขตรับผิดชอบตำบลหนองบ่อ
5. ยินดีเข้าร่วมกิจกรรม

เกณฑ์คัดออก (Exclusion Criteria)

1. เจ็บป่วยด้วยโรคร้ายแรง ไม่สามารถเข้าร่วมกิจกรรมได้
2. ขอลอนตัวออกจากโครงการวิจัย

ระยะที่ 2 การประเมินผลการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ตัวแทนครัวเรือนกลุ่มตัวอย่างในการประเมินผลการพัฒนารูปแบบฯ
กลุ่มตัวอย่าง คือ ประชาชนที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป โดยการสุ่มจากประชาชนในพื้นที่เป้าหมายด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย จำนวน 267 คน (คำนวณขนาดตัวอย่าง โดยใช้สูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างของ Daniel) (Daniel, 1999)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการ 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การวางแผน 2) การปฏิบัติ 3) การสังเกต และ 4) การสะท้อนผล (เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ)

- 1.1 การบันทึก ผู้วิจัยจะทำการบันทึกการดำเนินการ ได้แก่ การจดบันทึก และการบันทึกภาพ

- 1.2 การสนทนากลุ่ม ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมวิจัยสนทนากลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ บอกเล่าประสบการณ์ ความต้องการ การออกแบบระบบ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นต่อประเด็นที่กำลังศึกษาวิจัย แล้วบันทึกแนวทางการสนทนากลุ่ม

2. เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี (เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลเชิงปริมาณ)

- 2.1 แบบสอบถาม สำหรับกลุ่มภาคีเครือข่ายในชุมชน (กลุ่มตัวอย่างประชาชน 267 คน) จำนวน 4 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มภาคีเครือข่ายในชุมชน ส่วนที่ 2 แบบทดสอบความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่วนที่ 3 แบบสอบถามพฤติกรรมกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่วนที่ 4 การมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และ ส่วนที่ 5 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

1. ระยะที่ 1 ขั้นวางแผน (Planning)

1.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยการเก็บข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และประชุมเชิงปฏิบัติการโดยใช้เทคนิคการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชน TOP Model วิเคราะห์ความต้องการของพื้นที่ที่สอดคล้องกับบริบทพื้นที่ โดยกลุ่มเป้าหมายเข้ามามีส่วนร่วมคิด ร่วมทำและร่วมรับผลประโยชน์ร่วมกัน ตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) ค้นหาและวิเคราะห์สภาพปัญหา
- 2) ชี้แจงเป้าหมายของการดำเนินงาน พร้อมทั้งนำเสนอผลกระทบจากโรคโควิด 19
- 3) เชิญชวน เครือข่ายที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาร่วมแสดงความคิดเห็น จัดตั้งเป็น

คณะกรรมการร่วมกันในชุมชน และสร้างการมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นด้วยเทคนิคการสร้างการมีส่วนร่วมแบบพหุภาคี (TOP Model) เป็นกระบวนการที่ทุกคน ได้ออกความคิดเห็นผ่านการเขียนความคิดลงในบัตรความคิดโดยแสดงความคิดเห็นต่อสถานการณ์ปัญหา ความรู้สึกที่มีต่อปัญหา ผลกระทบที่เกิดขึ้น ไปจนถึงการวางแผนและออกแบบกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหาาร่วมกันของชุมชน และคณะกรรมการ มีบทบาทร่วมแก้ปัญหาในชุมชนร่วมกัน โดยมีการวางแผนกิจกรรมซึ่งเป็นกิจกรรมการแก้ปัญหาที่มาจากชุมชนสอดคล้องกับตามความต้องการและตอบสนองตามบริบทของพื้นที่ได้อย่างแท้จริง

1.2 คัดเลือกกลุ่มเป้าหมายในการวิจัย แบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีส่วนร่วมในกระบวนการพัฒนารูปแบบ และ 2) กลุ่มที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการประเมินผลการพัฒนารูปแบบ

1.3 สนทนากลุ่ม วิเคราะห์ข้อมูลสภาพปัจจุบัน ปัญหา อุปสรรคและแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

เครื่องมือที่ใช้ คือ แนวทางการสนทนากลุ่ม ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมวิจัยสนทนากลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ บอกเล่าประสบการณ์ ความต้องการ การออกแบบระบบ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นต่อประเด็นที่กำลังศึกษาวิจัย แล้วบันทึก สร้างรูปแบบและแผนปฏิบัติการตามรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

2. ระยะที่ 2 ขั้นปฏิบัติการ (Action) ปฏิบัติการตามแผนปฏิบัติการ ที่ได้จากขั้นที่ 1 และติดตาม ผลการดำเนินงานตามแผนปฏิบัติการ

2.1 แผนการติดตามการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

1) ผู้เดินทางเข้ามาในพื้นที่รายงานตัวต่อผู้ใหญ่บ้านหรืออาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน

2) ผู้ใหญ่บ้านหรือ อสม. ที่ได้รับแจ้ง ประสานไปรับเจ้าหน้าที่ รพ.สต.หนองบ่อ

3) เจ้าหน้าที่ลงพื้นที่สอบสวน ควบคุมโรคทันทีเมื่อได้รับแจ้ง

4) เจ้าหน้าที่ร่วมกับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านร่วมติดตามอาการกลุ่มเสี่ยงทุกคน เป็นเวลา 14 วัน

5) เมื่อผู้เดินทางกักตัวครบกำหนด 14 วันจะได้รับหนังสือรับรองจากเจ้าหน้าที่

6) สร้างเครื่องมือเสริมพลังกลุ่มเสี่ยงที่ต้องเฝ้าระวังที่มาจากชายในพื้นที่ซึ่งประกอบไปด้วย พรอหวัดใช้แบบดิจิทัล สำลิก่อนกลมซุบแอลกอฮอล์ เจลแอลกอฮอล์ล้างมือ หน้ากากผ้า/หน้ากากอนามัย/ Face Shield คู่มือการปฏิบัติตัวระหว่างการกักกัน เพื่อใช้ในการดูแลสุขภาพ และเป็นแนวทางในการปฏิบัติตัว

ระหว่างการกักกัน เพื่อป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยเจ้าหน้าที่จะลงพื้นที่ติดตามอาการวันแรก วันที่ 7 และ 14 เพื่อติดตามอาการจนครบกำหนด 14 วัน และออกหนังสือรับรองการกักตัวเพื่อเป็นหลักฐานยืนยัน

2.2 แผนการมีส่วนร่วมของชุมชนในการเฝ้าระวังเฝ้าระวังโรค COVID-19 ของกลุ่มเสี่ยงที่เดินทางเข้าพำนักในพื้นที่ ได้แก่ 1) อสม.เคาะประตูบ้าน แจ้งข่าวสารและเฝ้าระวังโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 2) เสี่ยงตามสายประชาสัมพันธ์ กระจายข่าวในชุมชน 3) ประชุมผู้นำชุมชนและทีม อสม. เพื่อพูดคุย แลกเปลี่ยน ข้อมูลข่าวสารทุกสัปดาห์ และ 4) ให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลป้องกันควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

3. ระยะที่ 3 ขั้นการสังเกตผล (Observation) การติดตามและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ติดตาม สนับสนุนการดำเนินงาน ให้คำแนะนำโดยรายงานและบันทึกผลทุกขั้นตอน

3.2 ประเมินผลก่อนและหลังการศึกษาวิจัย

3.3 สังเกตผลการดำเนินงานก่อนการดำเนินการ ระหว่างการดำเนินการ และหลังการดำเนินการ ทำการบันทึกผลทุกขั้นตอน

4. ระยะที่ 4 ขั้นสะท้อนผล (Reflection) ประชุมผู้ร่วมวิจัยเพื่อถอดบทเรียน และสรุปผล

โดย 1) สรุปผลที่ได้จากการปฏิบัติ 2) สรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาอุปสรรค และข้อจำกัดในการดำเนินงาน และ 3) สรุปปัจจัยแห่งความสำเร็จในการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดย การมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

การสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือจากการทบทวนเอกสาร วรรณกรรมและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลจากตำรา ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. กำหนดขอบเขตและโครงสร้างเนื้อหาของเครื่องมือวิจัย ให้มีความครอบคลุมตาม

วัตถุประสงค์

3. ดำเนินการสร้างข้อคำถามของเครื่องมือวิจัย และคำชี้แจงรายละเอียดให้ชัดเจน

4. นำเครื่องมือวิจัยที่สร้างขึ้น มาเสนอคณะกรรมการที่ปรึกษาเพื่อตรวจพิจารณา แก้ไขให้ข้อเสนอแนะ แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามที่คณะกรรมการที่ปรึกษาแนะนำ

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการควบคุมโรคติดต่อ จำนวน 5 ท่าน นำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.80-1.00 เพื่อนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

2. ตรวจสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลด้วยสถิติโดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟา ของ Cronbach เครื่องมือที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.75 ขึ้นไป โดยแบบสอบถามในส่วนของข้อมูลเชิงปริมาณมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.81

3. นำเครื่องมือที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอของ คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ก่อนนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้แบบสอบถาม

2. การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการสนทนากลุ่ม การบันทึก และการสังเกต

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลเชิงปริมาณ

1.1 วิเคราะห์ข้อมูลทางคุณลักษณะของประชากร ระดับความรู้ พฤติกรรม การมีส่วนร่วม และความพึงพอใจ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.2 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของคะแนนความรู้ พฤติกรรม การมีส่วนร่วม ก่อนและหลังการพัฒนารูปแบบด้วยสถิติ Paired Sample t-test

2. ข้อมูลเชิงคุณภาพ นำข้อมูลการบันทึกการประชุม การสังเกต การสนทนา จากการดำเนินกิจกรรมโดยนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วน แยกเป็นหมวดหมู่ตามประเด็นปัญหา พิจารณาจัดกลุ่มข้อมูลที่เป็นคำพูด ของผู้ให้ข้อมูล จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้อาศัยการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายในชุมชน ผู้วิจัยจำเป็นต้องเคารพสิทธิผู้เข้าร่วมวิจัยและขออนุญาตก่อนการดำเนินการวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี เลขที่ SSJ.UB228 ลงวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2565

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ข้อมูลเชิงคุณภาพ (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และ 2)

1. สภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรค และแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดย การมีส่วนร่วมของชุมชน การดำเนินการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ตำบลหนองบ่อ รูปแบบเก่า เป็นการดำเนินการตามแนวทางและมาตรการของคณะกรรมการควบคุมโรคติดต่ออำเภอเมือง ซึ่งสอดคล้อง กับนโยบายของกรมควบคุมโรคติดต่อ กระทรวงสาธารณสุขกำหนด เป็นการเฝ้าระวัง ป้องกันและควบคุมโรค ตามหลักกระบวนทัศน์ของโรคติดเชื้อ มีหน่วยงานสาธารณสุขเป็นผู้รับผิดชอบหลัก รูปแบบคณะกรรมการควบคุมโรคติดต่ออำเภอ และทีมสอบสวนเคลื่อนที่เร็ว กิจกรรมดำเนินการเป็นการเฝ้าระวัง โดยสถานบริการ จนท. รพ. สต.ร่วมกับ โรงพยาบาล ติดตามเฝ้าระวังกลุ่มที่มีอาการและมีประวัติเดินทางมาจากประเทศกลุ่มเสี่ยง ส่วนการ เฝ้าระวังในชุมชน เป็นการสำรวจกลุ่มเสี่ยงที่เดินทางเข้ามาในพื้นที่ โดย อสม.และเจ้าหน้าที่สาธารณสุข ออกสำรวจและประเมินกลุ่มเสี่ยง เมื่อพบผู้ป่วยนำเข้าสู่ระบบการส่งต่อและรักษาพยาบาล การป้องกันการแพร่ ระบาดของโรค โดยการให้ความรู้ และฉีดพ่นยาฆ่าเชื้อในบ้านและบริเวณบ้านผู้ป่วย ส่วนระบบการสื่อสาร เจ้าหน้าที่สาธารณสุขประสานแจ้งข้อมูลแก่ อสม. ให้ร่วมติดตามเยี่ยมผู้ป่วยและกลุ่มเสี่ยง ปัญหาและอุปสรรคที่ พบ คือ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่มีภาระงานเพิ่มขึ้น ขาดความมั่นใจในการปฏิบัติงาน ประชาชนขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการติดต่อ และการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เกี่ยวกับโรคขาดการมีส่วนร่วมจาก ชุมชน และวัสดุ อุปกรณ์ สิ่งสนับสนุนมีเพียงพอ ไม่ได้จัดทำแผนงบประมาณเฉพาะโรคเนื่องจากเป็นโรคอุบัติใหม่

2. รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ ประกอบด้วย 5 มาตรการ ดังนี้

มาตรการที่ 1 การติดตามการเฝ้าระวังป้องกันโรค ในชุมชน ประกอบด้วย 1)การคัดกรองผู้ป่วย/กลุ่มเสี่ยง โดย อสม./ผู้นำชุมชน โดยการเคาะประตูบ้าน 2) ผู้เดินทางเข้ามาในพื้นที่รายงานตัว 3) ผู้ใหญ่บ้านหรือ

อสม. ที่ได้รับแจ้ง ประธานไปรับเจ้าหน้าที่ รพ.สต. 4) เจ้าหน้าที่ลงพื้นที่สอบสวน ควบคุมโรคทันที 5) เจ้าหน้าที่ร่วมกับ อสม. ร่วมติดตามอาการกลุ่มเสี่ยง และ 6) ออกหนังสือรับรองเมื่อผู้เดินทางกักตัวครบกำหนด 14 วัน

มาตรการที่ 2 การเสริมสร้างความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ประกอบด้วย 1) การให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลป้องกันควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อย่างต่อเนื่อง 2) การจัดทำสื่อความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 แจกจ่ายครัวเรือน และ 3) การสร้างเครื่องมือเสริมพลังกลุ่มเสี่ยง/เยี่ยมเสริมพลังกลุ่มเสี่ยง

มาตรการที่ 3 ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการเฝ้าระวังโรค ประกอบด้วย การให้ อสม.เคาะประตูบ้าน เพื่อแจ้งข่าวสารและเฝ้าระวังโรค และ เสี่ยงตามสายประชาสัมพันธ์ กระจายข่าวในชุมชน

มาตรการที่ 4 การส่งต่อ/รักษา ได้แก่ การประสานเครือข่ายการส่งต่อและการรักษา และการจัดเตรียมพาหนะ บุคลากร และอุปกรณ์ สำหรับการส่งต่อ

มาตรการที่ 5 สร้างเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน ได้แก่ 1) การสร้างเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน 2) การพัฒนาศักยภาพเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน และ 3) การพัฒนาระบบรายงานและการสื่อสารข้อมูล

ข้อมูลเชิงปริมาณ (วัตถุประสงค์ข้อที่ 3)

ผลของการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า

1) ความรู้เกี่ยวกับโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่า ก่อนการพัฒนารูปแบบ กลุ่มตัวอย่างมีความรู้อยู่ในระดับปานกลางมากที่สุด จำนวน 209 คน คิดเป็นร้อยละ 78.30 รองลงมา มีความรู้ในระดับต่ำ จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 13.50 และมีความรู้ในระดับสูง จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 8.20 หลังการพัฒนารูปแบบ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความรู้ อยู่ในระดับสูงมากที่สุด จำนวน 214 คน คิดเป็นร้อยละ 80.10 มีความรู้อยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 52 คน คิดเป็นร้อยละ 19.50 และมีความรู้ในระดับต่ำ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 0.40 และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความรู้ ก่อนและหลังการพัฒนารูปแบบ พบว่า ภายหลังการพัฒนารูปแบบ ตัวอย่างมีความรู้ ดีกว่าก่อนการพัฒนา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.001$, 95%CI = 2.91-3.29) ดังตารางที่ 2-3

2) พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 พบว่า ก่อนการพัฒนารูปแบบ กลุ่มตัวอย่างมีพฤติกรรมการเฝ้าระวังฯ อยู่ในระดับปานกลางมากที่สุด จำนวน 118 คน คิดเป็นร้อยละ 44.20 รองลงมา มีพฤติกรรมการเฝ้าระวังฯ อยู่ในระดับต่ำ จำนวน 114 คน คิดเป็นร้อยละ 42.70 และมีพฤติกรรมการเฝ้าระวังฯ อยู่ในระดับสูง จำนวน 35 คน คิดเป็นร้อยละ 13.10 หลังการพัฒนารูปแบบ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีพฤติกรรมการเฝ้าระวังฯ อยู่ในระดับสูงมากที่สุด จำนวน 211 คน คิดเป็นร้อยละ 79.03 มีพฤติกรรมการเฝ้าระวังฯ อยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 51 คน คิดเป็นร้อยละ 19.10 และมีพฤติกรรมการเฝ้าระวังฯ อยู่ในระดับต่ำ จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 1.87 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 ก่อนและหลังการพัฒนารูปแบบ พบว่า ภายหลังการพัฒนารูปแบบ ตัวอย่างมีพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 ดีขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.001$, 95%CI=0.28-0.12) ดังตารางที่ 2-3

3) การมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่า ก่อนการพัฒนารูปแบบ กลุ่มตัวอย่างมีการมีส่วนร่วมฯ อยู่ในระดับต่ำมากที่สุด จำนวน 183 คน คิดเป็นร้อยละ 68.54 รองลงมา มีการมีส่วนร่วมฯ อยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 64 คน คิดเป็นร้อยละ 23.97 และมีการมีส่วนร่วมฯ อยู่ในระดับสูง จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 7.49 หลังการพัฒนารูปแบบ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการมีส่วนร่วมฯ

อยู่ในระดับสูงมากที่สุด จำนวน 201 คน คิดเป็นร้อยละ 75.28 มีการมีส่วนร่วมฯ อยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 20.97 และมีการมีส่วนร่วมฯ อยู่ในระดับต่ำ จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 3.75 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนการมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่า หลังการพัฒนารูปแบบ ตัวอย่างมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ดีขึ้นกว่าก่อนการพัฒนารูปแบบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.001, 95\%$ CI=0.62-0.50) ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางด้านประชากรศาสตร์ (n=267)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ		
- ชาย	148	55.40
- หญิง	119	44.60
2. อายุเฉลี่ย 47.63 (ปี) S.D. =9.23, Min 26 ปี, Max 65 ปี		
3. รายได้ต่อเดือนเฉลี่ย 9,782 (บาท) S.D. =986.88 Min 3,000, Max 35,000		
4. สถานภาพสมรส		
- โสด	33	12.40
- คู่	228	85.40
- หม้าย หย่า แยก	6	2.20
5. ระดับการศึกษา		
- ประถมศึกษา	64	24.00
- มัธยมศึกษาตอนต้น	138	51.70
- มัธยมศึกษาตอนปลาย	42	45.70
- ปริญญาตรี	23	8.60
6. อาชีพ		
- เกษตรกรรม	159	59.6
- ค้าขาย	104	39.0
- รับจ้าง	3	1.10
- ไม่ได้ประกอบอาชีพ	1	0.40

ตารางที่ 2 ระดับความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และการมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ก่อนและหลังการพัฒนาารูปแบบฯ (n=267)

ระดับ	ก่อนการพัฒนา (n=267)		หลังการพัฒนา (n=267)	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019				
ระดับความรู้สูง (ได้คะแนน 11 คะแนนขึ้นไป)	22	8.20	214	80.10
ระดับความรู้ปานกลาง (ได้คะแนน 8-10 คะแนน)	209	78.30	52	19.50
ระดับความรู้ต่ำ (ได้คะแนนน้อยกว่า 8 คะแนน)	36	13.50	1	0.40
พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019				
ระดับพฤติกรรมรู้สูง (ได้คะแนน 60 คะแนนขึ้นไป)	35	13.10	211	79.03
ระดับพฤติกรรมปานกลาง (ได้คะแนน 45-59 คะแนน)	118	44.20	51	19.10
ระดับพฤติกรรมต่ำ (ได้คะแนนน้อยกว่า 45 คะแนน)	114	42.70	5	1.87
การมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019				
ระดับการมีส่วนร่วมสูง (ได้คะแนน 24 คะแนนขึ้นไป)	20	7.49	201	75.28
ระดับการมีส่วนร่วมปานกลาง (ได้คะแนน 18-23 คะแนน)	64	23.97	56	20.97
ระดับการมีส่วนร่วมต่ำ (ได้คะแนนน้อยกว่า 18 คะแนน)	183	68.54	10	3.75

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และการมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ก่อนและหลังการพัฒนาารูปแบบฯ (n=267)

ข้อความ	n	\bar{X}	S.D.	t-value	df	P-value	95%CI
ความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019							
ก่อนการพัฒนาารูปแบบ	267	8.85	0.51	31.64	266	<0.001	2.91-3.29
หลังการพัฒนาารูปแบบ	267	11.95	0.43				
พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019							
ก่อนการพัฒนาารูปแบบ	267	3.39	0.46	5.40	266	<0.001	0.28-0.12
หลังการพัฒนาารูปแบบ	267	3.96	0.13				
การมีส่วนร่วมในการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019							
ก่อนการพัฒนาารูปแบบ	267	4.06	0.16	17.38	266	<0.001	0.62-0.50
หลังการพัฒนาารูปแบบ	267	4.11	0.18				

4) ความพึงพอใจต่อรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.69$, $SD = 0.41$) ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในระดับมากที่สุดคือ การดำเนินงานตามรูปแบบฯ เกิดประโยชน์ต่อตัวท่าน ($\bar{X} = 4.62$, $S.D. = 0.78$) รองลงมาคือ สามารถนำความรู้เกี่ยวกับการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ไปใช้ปฏิบัติจริง ($\bar{X} = 4.82$, $S.D. = 0.41$) ข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุดคือการดำเนินงานตามรูปแบบฯ ทำให้ท่านเข้าใจเกี่ยวกับการป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ($\bar{X} = 4.30$, $S.D. = 0.92$)

อภิปรายผล

กระบวนการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ มี 5 กิจกรรม คือ 1) ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 2) สร้างรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ 3) ดำเนินการตามรูปแบบ 4) ติดตาม สนับสนุนการดำเนินงาน 5) สรุปและประเมินผล สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ถนอม นามวงศ์ และคณะ (2564) ศึกษาการพัฒนาระบบเฝ้าระวังโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 จังหวัดยโสธร พบว่า เกิดระบบเฝ้าระวังโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ที่มีทั้งการเฝ้าระวังโรคและการกำกับติดตามการกักกันของกลุ่มเสี่ยง ระบบเฝ้าระวังมี 2 ส่วน คือ การเฝ้าระวังโรคในชุมชนและในสถานพยาบาล ซึ่งบุคลากรสาธารณสุขทั้งระดับตำบล อำเภอ และจังหวัด มีส่วนร่วมในการวิจัยทุกขั้นตอนและสอดคล้องกับผลการศึกษาของแพพรพรรณ ภูริปัญญา และคณะ (2565) ศึกษาการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในพื้นที่เฉพาะ อองสถานประกอบการ จังหวัดมหาสารคาม พบว่า ได้รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อโควิด 19 ในพื้นที่เฉพาะของโรงงาน โดยการมีส่วนร่วมของหน่วยงานภาครัฐและสถานประกอบการด้วย การขับเคลื่อนนโยบาย มาตรการดำเนินงาน ภายใต้คำสั่งคณะกรรมการโรคติดต่อจังหวัด การสื่อสารทำความเข้าใจ แนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนและมีส่วนร่วมในการวางแผนตัดสินใจดำเนินการ รวมถึงการประเมินผลลัพธ์

ผลของการพัฒนารูปแบบ พบว่า หลังการพัฒนารูปแบบกลุ่มตัวอย่างมีความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และการมีส่วนร่วม ที่ขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา รูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความพึงพอใจต่อรูปแบบโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด อธิบายได้ว่า รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ ซึ่งประกอบด้วย กิจกรรม การติดตามการเฝ้าระวังป้องกันโรคในชุมชน การเสริมสร้างความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชน การส่งต่อ/รักษา การสร้างเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน เป็นกิจกรรมที่เน้นการเสริมสร้างความรู้ ทักษะ และการปฏิบัติในการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยเน้นให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในทุกกิจกรรม ดังนั้นหลังจากเข้าร่วมกิจกรรมตามรูปแบบ กลุ่มตัวอย่างจึงมีความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และการมีส่วนร่วมที่ขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา รูปแบบฯ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ถนอม นามวงศ์ และคณะ (2564) ศึกษาการพัฒนาระบบเฝ้าระวังโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 จังหวัดยโสธร พบว่า ผลการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้พบว่า ความครบถ้วนและความทันเวลาในการรายงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ทนงศักดิ์ หลักเขต (2565) ศึกษาการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อำเภอเมืองอุบลราชธานี ด้วยกระบวนการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอ (พขอ.) พบว่า หลังการพัฒนารูปแบบค่าเฉลี่ยความรู้ การมีส่วนร่วม และการปฏิบัติในการเฝ้าระวัง ควบคุม

และป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ดีขึ้นกว่าก่อนการพัฒนาในรูปแบบฯ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) ความพึงพอใจต่อรูปแบบอยู่ในระดับมาก

รูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ ประกอบด้วย 5 กิจกรรม คือ 1) การติดตามการเฝ้าระวังป้องกันโรคในชุมชน 2) การเสริมสร้างความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 3) ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชน 4) การส่งต่อ/รักษา 5) การสร้างเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน อธิบายได้ว่า การดำเนินงานป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ต้องอาศัยการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วน ทั้งภาครัฐ เอกชน และประชาชน ในชุมชน และกำหนดกิจกรรมดำเนินการที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาบริบท และความต้องการของชุมชน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ทนงศักดิ์ หลีกเขต (2565) ศึกษาการพัฒนา รูปแบบการเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อำเภอเมืองอุบลราชธานี ด้วยกระบวนการพัฒนาคูณภาพชีวิตระดับอำเภอ (พชอ.) พบว่า รูปแบบการเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อำเภอเมืองอุบลราชธานี ด้วยกระบวนการพัฒนาคูณภาพชีวิตระดับอำเภอ (พชอ.) ประกอบด้วย 6 กลยุทธ์ คือ (1) การจัดการเชิงกลยุทธ์ (2) การเฝ้าระวังป้องกัน และควบคุมโรค (3) การมีส่วนร่วมของเครือข่ายและชุมชนผ่านแนวคิด “เมืองอุบลไม่ทอดทิ้งกัน” (4) ค้นหา/คัดกรองกลุ่มเสี่ยง ภายใต้กระบวนการ พชอ. (5) การจัดการระบบรักษาและให้ความรู้ (6) การสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และพัฒนาระบบสารสนเทศ

สรุป

กระบวนการพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ มี 5 กิจกรรม ได้แก่ 1) ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรค และแนวทางการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 2) สร้างรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ 3) ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการตามรูปแบบ 4) ติดตาม สนับสนุนการดำเนินงาน และ 5) สรุปและประเมินผล ซึ่งรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ตำบลหนองบ่อ มี 5 มาตรการ คือ 1) การติดตามการเฝ้าระวังป้องกันโรคในชุมชน 2) การเสริมสร้างความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 3) ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการเฝ้าระวังโรค 4) การส่งต่อ/รักษา 5) สร้างเครือข่ายการเฝ้าระวังโรคในชุมชน และหลังการพัฒนาในรูปแบบฯ พบว่า ความรู้เรื่องโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พฤติกรรมการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และการมีส่วนร่วมดีขึ้นกว่าก่อนการพัฒนาในรูปแบบฯ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.001$) ความพึงพอใจต่อรูปแบบฯ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. โรงพยาบาล หรือ รพ.สต. ที่สามารถนำรูปแบบการเฝ้าระวังป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ไปใช้ดำเนินการเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ได้
2. สำนักงานสาธารณสุข โรงพยาบาล หรือ รพ.สต. สามารถนำกระบวนการพัฒนารูปแบบ ไปใช้ในการพัฒนารูปแบบและแนวทางการพัฒนางาน และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย ประชาชนในการดำเนินงานป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และงานสาธารณสุขอื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) เพื่อพัฒนารูปแบบการเสริมสร้างความรอบรู้ด้านสุขภาพในการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 สำหรับประชาชนในชุมชน
2. ควรพัฒนารูปแบบการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ทั้งในด้านการเฝ้าระวัง การส่งเสริมการป้องกัน และการรักษาโรค ในชุมชน

เอกสารอ้างอิง

- ถนน นามวงศ์ และคณะ. (2564). การพัฒนาระบบเฝ้าระวังโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 จังหวัดยโสธร. **วารสารควบคุมโรค**. 47(ฉบับเพิ่มเติม), 1179-1190.
- ทองคำดี หลักเขต. (2565). การพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) อำเภอเมืองอุบลราชธานี ด้วยกระบวนการพัฒนาคุณภาพชีวิตระดับอำเภอ (พชอ.). **วารสารวิจัยและพัฒนานวัตกรรมทางสุขภาพ**. 3(3), 61-69.
- ทวีติยา สุจริตรักษ์. (2563). ประเด็นน่ารู้เกี่ยวกับไวรัส SARS-CoV-2: ไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคโควิด-19. สืบค้นจาก <https://www.pidst.or.th/A966.html>.
- แพรพรรณ ภูริปัญญา, ชิตพงษ์ มงคลสินธุ์, และปวีณา ใจภูเขียว. (2565). การพัฒนารูปแบบการเฝ้าระวัง ป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในพื้นที่เฉพาะ (Bubble and Seal) ของสถานประกอบการ จังหวัดมหาสารคาม. **วารสารวิชาการสาธารณสุข**. 31(1), 49-63.
- ศูนย์ข้อมูล COVID จังหวัดอุบลราชธานี. (2564). รายงานสถานการณ์ โควิด-19. สืบค้นจาก <https://covid19.th-stat.com>.
- ศูนย์ปฏิบัติการภาวะฉุกเฉิน กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2563). **ข้อมูลสำหรับการป้องกันตนเองจากโรค COVID-19 เอกสารเผยแพร่สำหรับประชาชน**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สำนักงานองค์การอนามัยโลกประจำประเทศไทย. (2564). **โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด 19)**. สืบค้นจาก <https://cdn.who.int/media/docs/defaultsource/searo/thailand/2021>
- Daniel, W.W. (1999). **Biostatistics : A foundation of analysis in health sciences**. (7thed.) New York: John Wiley & Sons.
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (1991). **The Action Research Planer**. 3rd ed. Victoria: Deakin University.
- World Health Organization. (2020). **Guidelines on physical activity and sedentary behaviour**. Geneva: World Health Organization.

การพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว

ภควัต เกอะประสิทธิ์¹ อติสร จรรย์วรรกุลวงศ์² อธิธิ ผลิตศิริ^{3*}

Received : November 19, 2023

Revised : June 7, 2024

Accepted : July 12, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว สำหรับปัญหาปริมาณขยะในชุมชน ซึ่งแผ่นไม้เทียมจะมีส่วนประกอบของพลาสติกโพลีแลกติกแอซิด (PLA) ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพผสมกับผงกะลามะพร้าว วัสดุเชิงประกอบนี้เป็นช่องทางที่มีศักยภาพในการนำขยะพลาสติกชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะ PLA และกะลามะพร้าวที่เหลือจากชุมชนและการเกษตรกรรมมาเป็นวัสดุผสม กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการบดและการอัดวัสดุเชิงประกอบด้วยความร้อน โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน อัตราส่วนที่ใช้ในการศึกษานี้มี 5 อัตราส่วน ได้แก่ 90:10 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 ต่อจากนั้น แผ่นจะถูกทำให้เป็นเม็ดและฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบโดยใช้เครื่องฉีดที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบทางกลและทางกายภาพ ผลการทดลองระบุว่าปริมาณผงกะลามะพร้าวในส่วนผสมมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ ส่งผลให้มีความแข็งและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็เพิ่มปริมาณความชื้นและการดูดซึมน้ำด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงกระแทก ลดลง การวิจัยนี้ได้เลือกอัตราส่วนการผสม 90:10 สำหรับการผลิตเป็นไม้เทียมเพื่อใช้ประโยชน์ ทางด้านการก่อสร้าง และสถาปัตยกรรม เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2998-2562) นอกจากนี้ยังช่วยลดขยะที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและวัสดุเหลือใช้จากกะลามะพร้าว อันเป็นปัญหาสำหรับบุคคลในชุมชนอีกด้วย

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว พลาสติกชีวภาพ โพลีแลกติกแอซิด วัสดุเชิงประกอบ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อีเมล: pakawat.k@rmutp.ac.th

² อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อีเมล: adisorn.ja@rmutp.ac.th

³ อาจารย์ ดร. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อีเมล: itthi.w@rmutsb.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: itthi.w@rmutsb.ac.th

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL WOOD PANELS FROM RECYCLED BIOPLASTIC MIXED WITH COCONUT SHELL POWDER

Pakawat Kerprasit¹ Adisorn Jaralworakulwong² Itthi Plitsiri^{3*}

Abstract

This research aimed to develop artificial wood panels from recycled bioplastics mixed with coconut shell powder to solve the problem of waste in the community. The artificial wood panels are composed of biodegradable polylactic acid (PLA) plastic mixed with coconut shell powder. This composite material is a promising avenue for repurposing bioplastic waste, specifically PLA, and residual coconut shells sourced from community and agricultural contexts, into a composite material. The process involved grinding and thermally pressing composite materials using a hot press. The study investigated five ratios: 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50. Subsequently, the sheets were granulated, and injection molded into test specimens using an Injection Machine at a temperature of 260 degrees Celsius for mechanical and physical testing. Experimental results indicate that the quantity of coconut shell powder in the mixture significantly influences the properties of the composite material, leading to increased hardness and density while concurrently elevating moisture content and water absorption. Consequently, the tensile strength and impact resistance are reduced. This research has selected a blending ratio of 90:10 for the manufacturing of artificial wood intended for applications in construction and architecture. This choice aligns with established industrial product standards (TIS 2998-2019). Furthermore, it can assist in reducing biodegradable waste and leftover materials from coconut shells, which are problems for individuals in the community.

Keywords: Endocarp, Bio plastic, Polylactic acid, Composite

¹ Assistant Professor Dr., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: pakawat.k@rmutp.ac.th

² Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, e-mail: adisorn.ja@rmutp.ac.th

^{3*} Lecturer Dr., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, e-mail: itthi.w@rmutsb.ac.th

* Corresponding author, e-mail: itthi.w@rmutsb.ac.th

บทนำ

แผ่นไม้เทียม เป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์แทนที่ไม้จริงได้ เช่น แผ่นพื้น แผ่นตกแต่งผนัง ภายใน ตลอดจนเฟอร์นิเจอร์ภายในอาคาร และกรอบรูป เป็นต้น แผ่นไม้เทียมนี้มีแนวโน้มความต้องการสูง และมีแนวโน้มของราคาที่สูงเนื่องจากปัญหาด้านทรัพยากรป่าไม้ที่ลดลง (Singh & Kaneko, 2023; Chen et al., 2020; Yu et al., 2018) การหาเศษไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นไม้เทียมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำสิ่งที่เหลือทิ้งจากการผลิตในอุตสาหกรรม มาใช้งานเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาของสิ่งแวดล้อม (กิตติพันธ์ บุญโตสิตระกุล และคณะ, 2566; ภควัต เกอะประสิทธิ์ และคณะ, 2564; พนุชศติ เย็นใจ และคณะ, 2559) ปัจจุบันปัญหาสภาพสิ่งแวดล้อมเป็นพิษกำลังเป็นปัญหาที่ทุกประเทศในโลกให้ความสนใจและตื่นตัวเป็นอย่างมาก (Huang et al., 2022; Chawla et al. 2022) สำหรับประเทศไทยได้กำหนดให้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยให้มีการปรับเปลี่ยนแบบแผนการผลิตและการบริโภคทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม และภาคบริการ ซึ่งหนึ่งในปัญหาสภาพสิ่งแวดล้อมเป็นพิษของประเทศไทยคือ ปริมาณขยะมูลฝอยของชุมชนทั่วประเทศ จากรายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 พบว่า ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศ ในปี พ.ศ. 2565 ประมาณ 25.70 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) ขยะเหล่านี้เกิดมาจากคนที่อาศัยอยู่ในชุมชน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจและศึกษาสภาพแวดล้อม การอยู่อาศัย การประกอบอาชีพ และ และพฤติกรรมการใช้ชีวิตภายในชุมชนตำบลไม้เค็ด อำเภอเมืองปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี พบว่า ชุมชนนี้เป็นสวนเกษตร มีแม่น้ำลำคลอง และมีร้านอาหารอยู่ในชุมชน ทำให้สภาพแวดล้อมทั่วไปเต็มไปด้วยขยะจากการขายอาหารทิ้งตามพื้นมากมาย โดยเฉพาะขยะพลาสติก แสดงดังภาพที่ 1 การบริหารจัดการขยะพลาสติกด้วยหลัก 4R ได้แก่ Reduce (การลดการใช้พลาสติกที่ไม่จำเป็น) Reuse (การนำกลับมาใช้ซ้ำ) Recycle (การหลอมกลับมาใช้ใหม่) และ Replace (การแทนที่พลาสติกด้วยวัสดุอื่น) จากหลักการดังกล่าว Replace จะเป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้ได้ง่ายที่สุด เนื่องจากชุมชนหรือประชาชนทั่วไปไม่ต้องปรับเปลี่ยนวิถีชีวิต ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาแทนที่วัสดุจำพวกพลาสติกก็คือ พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรหรือจากธรรมชาติ สามารถปลูกหมุนเวียนและทดแทนกันได้โดยใช้ระยะเวลาอันสั้น เช่น ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง เมล็ดขนุน เป็นต้น (จันทิมา ชังสิริพร และคณะ, 2566; นิพนธ์ ต้นไพบุลย์กุล และคณะ, 2565; โสภิตา วิศาลศักดิ์กุล และคณะ, 2559) โดยมีทั้งชนิดที่สามารถย่อยสลายตัวเองได้ทางชีวภาพ และย่อยสลายตัวไม่ได้ทางชีวภาพ ซึ่งการย่อยสลายทางชีวภาพหรือตามธรรมชาติจะเป็นการให้จุลินทรีย์ในการย่อยพลาสติกชีวภาพจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ (สลิตรตัน รอดอารี, 2556) ซึ่งพลาสติกชีวภาพที่นิยมใช้คือ พลาสติก Polylactic acid (PLA) เพราะสามารถย่อยสลายเองได้ภายในเวลาไม่นาน อย่างไรก็ตามการย่อยสลายพลาสติก PLA อาจไม่ได้เกิดขึ้นรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมทั่วไป

เนื่องจากการย่อยสลายดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น การใช้ระบบการหมักแบบอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส (ตรีรัตน์ เจริญกุล, 2561) ซึ่งหากปัจจัยแวดล้อมไม่เหมาะสม จะทำให้ระยะเวลาในการย่อยสลายจะยืดยาวยิ่งขึ้น

นอกจากนี้เมื่อสำรวจอาชีพของคนในพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี พบว่า ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเพาะปลูกพืช ซึ่งมะพร้าวมีเนื้อที่ในการเพาะปลูกทั้งสิ้น 295 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.04 ของพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในจังหวัดปราจีนบุรี (สำนักงานจังหวัดปราจีนบุรี, 2564) ทำให้มีปัญหาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก โดยเฉพาะกะลามะพร้าว เนื่องจากการจำหน่ายมะพร้าวในพื้นที่จะมีการปอกเปลือกและส่งเฉพาะเนื้อมะพร้าวเข้าโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนของกะลามะพร้าวจึงกลายเป็นปัญหาของเกษตรกรเนื่องจากเป็นขยะเหลือทิ้งที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดมาก แสดงดังภาพที่ 2 ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำพลาสติกโพลีแลคติกแอซิด (Polylactic acid) หรือ PLA จากขยะพลาสติกเช่น กล่องอาหาร แก้วน้ำ ข้อนักอาหาร ตลอดจนภาชนะบรรจุทั้งหลาย มาผสมกับผงกะลาที่เหลือจากการเกษตรและนำไปบดละเอียดขึ้นรูปเป็นไม้เทียม โดยใช้กระบวนการ Hot compression molding เพื่อเป็นการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตและช่วยลดขยะพลาสติกชีวภาพรวมถึงช่วยลดปริมาณของกะลามะพร้าวซึ่งเป็นภาระค่าใช้จ่ายของเกษตรกรในชุมชนรวมทั้งเป็นการลดปริมาณการใช้ไม้จริงจากธรรมชาติ สิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่การช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมของชุมชน เป็นแนวทางในการช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์ (Zero waste)



ภาพที่ 1 ขยะพลาสติกที่เป็นปัญหาในชุมชน



ภาพที่ 2 กะลามะพร้าวดิบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว เพื่อลดปัญหาขยะเหลือทิ้งภายในชุมชน

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยของพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว เพื่อลดปริมาณขยะในชุมชน สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบคุณสมบัติของแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพ ประกอบด้วย ผงกะลามะพร้าวที่นำมาจากกะลาเหลือใช้ในชุมชน แสดงดังภาพที่ 3 พลาสติกชีวภาพไซเคิล Polylactic Acid (PLA) จากถังขยะในชุมชน โดยดูที่บริเวณด้านล่างพลาสติกจะมีสัญลักษณ์ (PLA) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ผงกะลามะพร้าวหลังจากทำการบดย่อย



ภาพที่ 4 พลาสติกชีวภาพที่ทำความสะอาดแล้ว

เครื่องย่อยพลาสติกชีวภาพ และบดย่อยกะลามะพร้าว แสดงดังภาพที่ 5 เครื่องร่อนผ่านตะแกรง แสดงดังภาพที่ 6 เครื่องชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ แสดงดังภาพที่ 7 เครื่องบดย่อยวัสดุเชิงประกอบ แสดงดังภาพที่ 8 เครื่องขึ้นรูปขึ้นทดสอบโดยวิธีการฉีดด้วยเครื่องฉีด (Injection machine) แสดงดังภาพที่ 9 เครื่องฉีดพลาสติกด้วยอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 10



(ก)

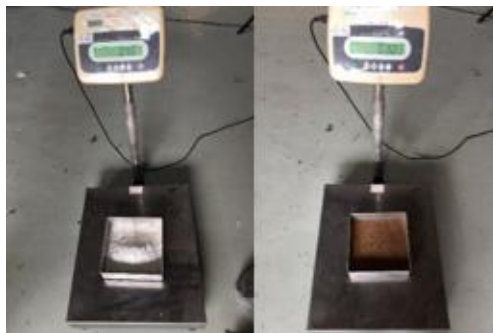


(ข)

ภาพที่ 5 เครื่องบดย่อยวัสดุที่ใช้ในการวิจัย (ก) สำหรับย่อยพลาสติกชีวภาพ (ข) สำหรับย่อยกะลามะพร้าว



ภาพที่ 6 เครื่องร่อนผ่านตะแกรงความละเอียด 130 ไมครอน



ภาพที่ 7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล



ภาพที่ 8 เครื่องบดย่อยวัสดุเชิงประกอบ



ภาพที่ 9 เครื่องขึ้นรูปขึ้นททดสอบโดยวิธีการฉีดด้วยเครื่องฉีด



ภาพที่ 10 เครื่องฉีดพลาสติก แบบ Injection molding machine

2. การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบ (Composite)

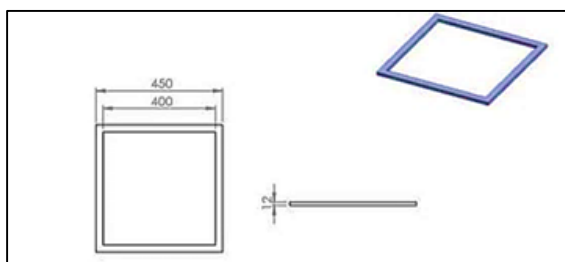
ออกแบบอัตราส่วนผสมของ Composite ใช้พลาสติกชีวภาพ และผงกลามะพร้าวในอัตราส่วนผสม โดยน้ำหนัก 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน น้ำหนักรวมของ Composite ในแต่ละสูตรเท่ากับ 1,800 กรัม ต่อการผสม 1 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนการเตรียมการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ (Composite) พลาสติกกรีไซเคิล (PLA) กับ กลามะพร้าว

รหัส	อัตราส่วนผสม โดยน้ำหนัก	พลาสติกกรีไซเคิล (กรัม)	กลามะพร้าว (กรัม)
C-01	90:10	1,620	180
C-02	80:20	1,440	360
C-03	70:30	1,260	540
C-04	60:40	1,080	720
C-05	50:50	900	900
C-06	40:60	720	1,080

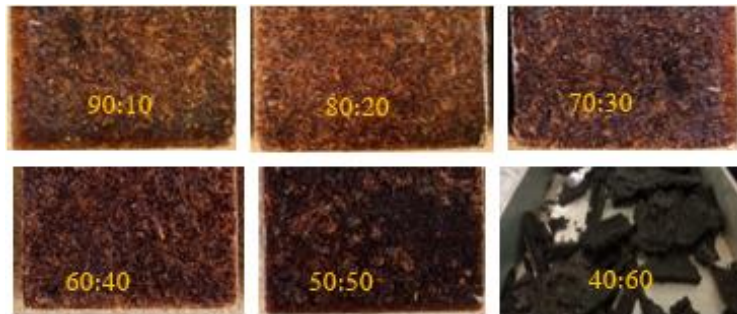
3. ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

3.1 สร้างแม่พิมพ์ขึ้นทดสอบโดยใช้แผ่นเหล็กขนาด 450×450×12 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้นมาทำการ Milling ให้มีพื้นที่ว่างภายในขนาด 400×400×12 มิลลิเมตร และแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 450×450×12 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น เพื่อประกบด้านล่างและด้านบนของแม่พิมพ์ แสดงดังภาพที่ 11 ก่อนนำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปพร้อมด้วยแรงดัน 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ด้วยอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอัด 10 นาที



ภาพที่ 11 แบบแม่พิมพ์

3.2 ทดสอบหาอัตราส่วนผสมในการทดลองพลาสติกชีวภาพกรีไซเคิลผสมกลามะพร้าว โดยมี ส่วนผสม 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 จากการสังเกตในอัตราส่วนผสมที่ 40:60 ผงกลามะพร้าวมากเกินไปทำให้เม็ดพลาสติกไม่หลอมเข้ากับผงกลามะพร้าวและทำให้เกิดการไหม้ที่ชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 12 ผู้วิจัยจึงคัดเลือกส่วนผสมของ Composite ที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 มาดำเนินการพัฒนาเป็นแผ่นไม้เทียม

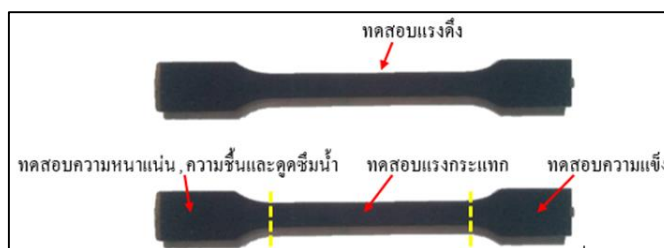


ภาพที่ 12 แผ่น Composite ขนาด 400×400 มิลลิเมตร

3.3 บดย่อยแผ่น Composite ด้วยเครื่องบดย่อยพลาสติก โดยผ่านตะแกรงของเครื่องบดย่อยที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร เพื่อนำเม็ดสารประกอบ (Compound) แสดงดังภาพที่ 13 ไปขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการฉีดด้วยเครื่องฉีด (Injection machine) ด้วยอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส หัวฉีดทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แรงดัน 100 บาร์ ใช้เวลาในการฉีดพลาสติก 45 วินาทีต่อชิ้น โดยฉีดพลาสติกอัตราส่วนละ 25 ชิ้น ผลิตชิ้นงานของจากแม่พิมพ์ จะได้ชิ้นงานทดสอบ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 เม็ดสารประกอบ (Compound)



ภาพที่ 14 ชิ้นงานทดสอบ

4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพ

ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ Composite จำนวน 6 การทดสอบ การทดสอบละ 5 ชิ้นงาน คือ ชิ้นงานทดสอบแรงดึง ทดสอบความแข็งแรงกระแทก ทดสอบความแข็งผิว ทดสอบความหนาแน่น และทดสอบการดูดซึมน้ำ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบในแต่ละการทดสอบมาวิเคราะห์และสรุปผล ในส่วนของการทดสอบทางกายภาพนั้น จะนำชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของผงกะลาปะพร้าวมากที่สุด ที่สามารถอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนได้ คือ C-05 อัตราส่วนที่ 50:50 ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า เพื่อตรวจสอบโครงสร้างการยึดเกาะภายในของชิ้นงานทดสอบ รายการและจำนวนชิ้นที่ทำการทดสอบแต่ละอัตราส่วนแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายการการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของวัสดุ Composite

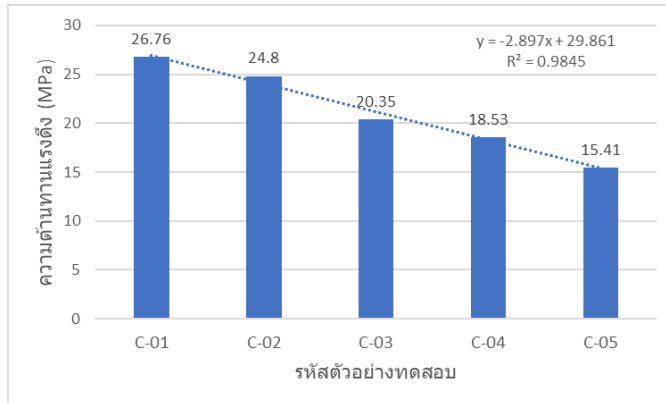
รายการ	มาตรฐาน	จำนวนงานทดสอบ (ชิ้น)				
		C-01	C-02	C-03	C-04	C-05
การทดสอบแรงดึง	ASTM D 638 TYPE 1	5	5	5	5	5
การทดสอบความแข็งแรงกระแทก	ASTM D 256	5	5	5	5	5
การทดสอบความแข็งผิว	ASTM D 785	5	5	5	5	5
ความหนาแน่น	ASTM D 792	5	5	5	5	5
ความชื้น	ASTM D 6980	5	5	5	5	5
การดูดซึมน้ำ	ASTM D 570	5	5	5	5	5
การศึกษาสัณฐานวิทยาเชิงกายภาพ	SEM	-	-	-	-	3

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพ สำหรับงานวิจัย เรื่องการพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลาปะพร้าว เพื่อลดปัญหาขยะเหลือทิ้งภายในชุมชน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638 พบว่า ชิ้นงานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ที่กำหนดให้แผ่นขึ้นไม้อัดต้องมีความต้านแรงดึงตั้งฉากไม่น้อยกว่า 0.4 MPa โดยที่ไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพผสมผงกะลาปะพร้าว C-01 ที่อัตราส่วนผสม 90:10 สามารถความต้านทานแรงดึง ได้ดีที่สุดในขณะที่ C-05 ที่อัตราส่วนผสม 50:50 สามารถความต้านทานแรงดึง ได้ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณผงกะลาปะพร้าวเพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงของวัสดุลดลง และเมื่อวิเคราะห์อัตราการลดลงของความต้านทานแรงดึงวัสดุ ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ของส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน พบว่า ความต้านทานแรงดึงของวัสดุจะลดลงเท่ากับ 2.897 MPa ทุกการเพิ่มขึ้นของผงกะลาปะพร้าวร้อยละ 10 โดยมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9845 ดังแสดงในภาพที่ 15



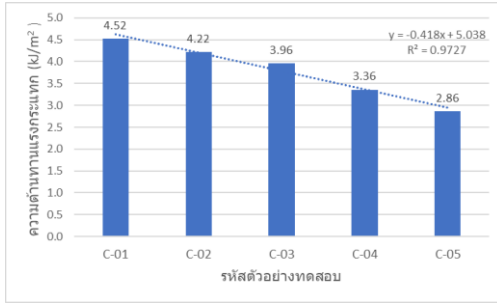
ภาพที่ 15 ความต้านทานแรงดึงของวัสดุชีวภาพพีโพรพิลีนผสมผงกะลามะพร้าว

2. ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact test)

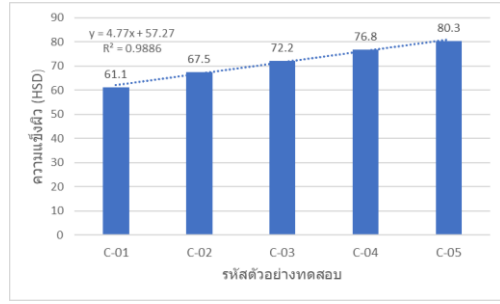
จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM 256 พบว่า ชิ้นงานทุกอัตราส่วนผสม ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2998-2562 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562) ที่กำหนดให้ไม้สังเคราะห์จากพลาสติกชีวมวลสำหรับใช้ภายนอกอาคาร ต้องมีความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุสูงกว่า 0.5 kJ/m^2 โดยที่ไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพผสมผงกะลามะพร้าว C-01 ที่อัตราส่วนผสม 90:10 สามารถทนต่อแรงกระแทก ได้ดีที่สุดในขณะที่ C-05 ที่อัตราส่วนผสม 50:50 สามารถทนต่อแรงกระแทก ได้ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณผงกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุลดลง และเมื่อวิเคราะห์อัตราการลดลงของความต้านทานแรงกระแทกวัสดุ ของส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน พบว่า ความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุจะลดลงเท่ากับ 0.418 kJ/m^2 ทุกการเพิ่มขึ้นของผงกะลามะพร้าวร้อยละ 10 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9727 ดังแสดงในภาพที่ 16

3. การทดสอบความแข็งผิว (Hardness test)

จากการทดสอบความแข็งผิว ตามมาตรฐาน ASTM D 785 พบว่า ไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพผสมผงกะลามะพร้าว C-05 ที่อัตราส่วนผสม 50:50 มีความแข็งผิววัสดุมากที่สุด ขณะที่ C-01 ที่อัตราส่วนผสม 90:10 ความแข็งผิววัสดุต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผงกะลามะพร้าว ส่งผลให้ความแข็งผิววัสดุเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปร้อนได้ และเมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ของส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน พบว่า ความแข็งผิว ของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.77 HSD ทุกการเพิ่มขึ้นของผงกะลามะพร้าวร้อยละ 10 โดยมีค่าสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9886 ดังแสดงในภาพที่ 17



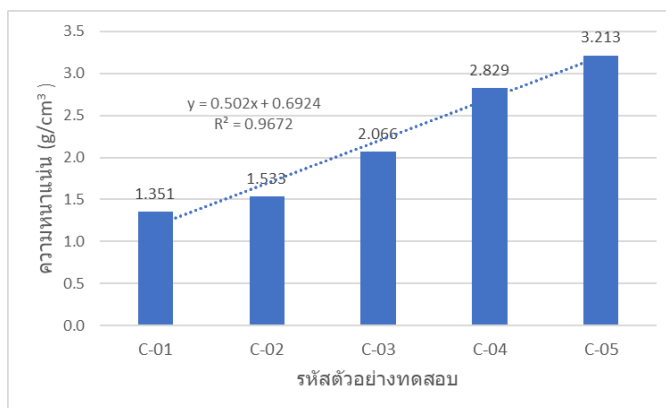
ภาพที่ 16 ความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว



ภาพที่ 17 ความแข็งแรงของวัสดุชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว

4. การทดสอบความหนาแน่น (Density test)

จากการทดสอบความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D 792 พบว่า มีเพียงส่วนผสม รหัส C-01 เท่านั้น ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2998-2562 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562) ที่กำหนดให้ไม้สังเคราะห์จากพลาสติกชีวมวล ต้องมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.50 g/cm^3 - 1.5 g/cm^3 โดยที่ไม่เทียบจากพลาสติกชีวภาพผสมผงกะลามะพร้าว C-05 ที่อัตราส่วนผสม 50:50 มีค่าความหนาแน่นของวัสดุมากที่สุด ขณะที่ C-01 ที่อัตราส่วนผสม 90:10 ค่าความหนาแน่นของวัสดุต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผงกะลามะพร้าว ส่งผลให้วัสดุมีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ของส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน พบว่า ค่าความหนาแน่นของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.502 g/cm^3 ทุกการเพิ่มขึ้นของผงกะลามะพร้าวร้อยละ 10 โดยมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9672 ดังแสดงในภาพที่ 18



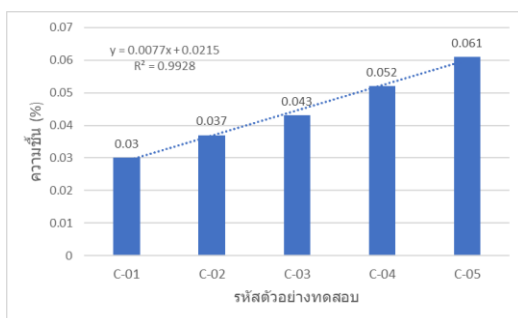
ภาพที่ 18 ความหนาแน่นของวัสดุชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว

5. การทดสอบความชื้น (Moisture content test)

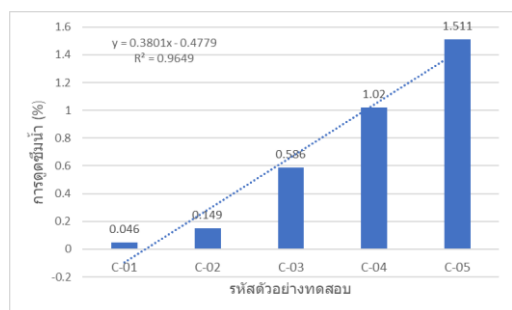
จากการทดสอบความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D 6980 พบว่า ไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพผสมผงกะลามะพร้าว C-05 ที่อัตราส่วนผสม 50:50 มีค่าความชื้นมากที่สุด ขณะที่ C-01 ที่อัตราส่วนผสม 90:10 ค่าความชื้นต่ำที่สุด ความชื้นที่มากเกินไปอาจทำให้เชื้อราเติบโต ส่งผลให้อายุการใช้ของไม้เทียมลดลง และอาจมีต่อสุขภาพที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร การเพิ่มผงกะลามะพร้าว ส่งผลให้วัสดุมีค่าความชื้น เพิ่มมากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ของส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน พบว่า ค่าความหนาแน่นของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0077 % ทุกการเพิ่มขึ้นของผงกะลามะพร้าวร้อยละ 10 โดยมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9928 ดังแสดงในภาพที่ 19

6. การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D 570 พบว่า ชิ้นงานทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2998-2562 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562) ที่กำหนดให้ไม้สังเคราะห์จากพลาสติกชีวมวล ต้องมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุต่ำกว่า 10 % ไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพผสมผงกะลามะพร้าว C-05 ที่อัตราส่วนผสม 50:50 มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ขณะที่ C-01 ที่อัตราส่วนผสม 90:10 ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผงกะลามะพร้าว ส่งผลให้วัสดุมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ของส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.3801 % ทุกการเพิ่มขึ้นของผงกะลามะพร้าวร้อยละ 10 โดยมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9649 ดังแสดงในภาพที่ 20



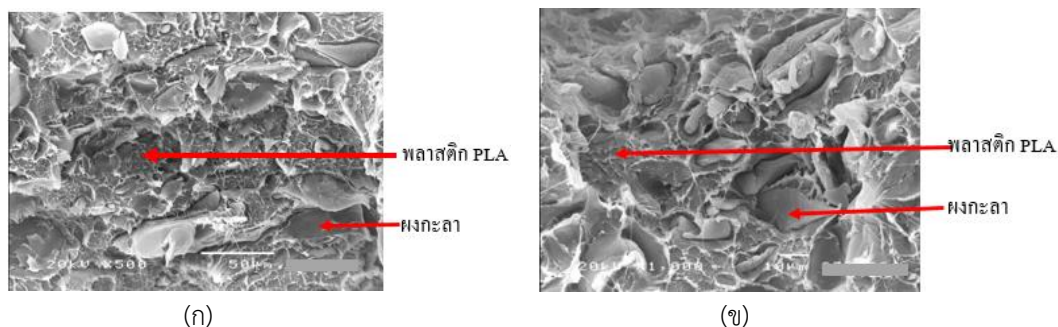
ภาพที่ 19 ความชื้นของวัสดุชีวภาพพีซีเคิลผสมผงกะลามะพร้าว



ภาพที่ 20 การดูดซึมน้ำของวัสดุชีวภาพพีซีเคิลผสมผงกะลามะพร้าว

7. การสัณฐานวิทยาเชิงกายภาพ (Physical morphology)

การสัณฐานวิทยาเชิงกายภาพ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ด้วยการนำชิ้นตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่ 50 : 50 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้ผงกะลามะพร้าวมากที่สุด ไปวิเคราะห์การยึดเกาะภายในของชิ้นทดสอบจากภาพถ่าย SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่า การขึ้นรูปแผ่นไม้เทียม โดยใช้ผงกะลามะพร้าวผสมกับ PLA อัตราส่วนผสมที่ 50 : 50 นั้น โครงสร้างระหว่างมวลสารทั้ง 2 ชนิดยังสามารถยึดเกาะกันได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ภาพถ่าย SEM ของแผ่น Composite ที่อัตราส่วนผสม 50 : 50 โดยที่ (ก) ใช้กำลังขยาย 500 เท่า และ (ข) ใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า

สรุป

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพ แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าว เข้าสู่อุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ เนื่องจาก เมื่อเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้วนั้น ส่วนผสมทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงคุณสมบัติด้านความหนาแน่นเท่านั้นที่อาจจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไข หรือออกแบบอัตราส่วนผสมใหม่ให้เป็นที่ไปตาม มอก. 2998-2562 การวิจัยในครั้งนี้มุ่งแก้ปัญหาด้านขยะเหลือทิ้งภายในชุมชน ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้แผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าวในอัตราส่วน 90:10 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 26.76 MPa ค่าความแข็งแรงกระแทก เท่ากับ 4.52 kJ/m² ค่าความแข็งผิว เท่ากับ 61.1 HSD ค่าความหนาแน่น 1.351 g/cm³ ค่าความชื้น 0.03% และค่าการดูดซึมน้ำ 0.046% มาผลิตเป็นแผ่นตกแต่งผนังภายนอกและภายในอาคาร เนื่องจากผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2998-2562) อีกทั้งยังสามารถช่วยลดขยะชีวมวลและแก้ไขปัญหาต้นตอในการกำจัดวัสดุเหลือใช้จากกะลามะพร้าวที่เป็นปัญหาของคนในชุมชนได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการเพิ่มเติม การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ด้านการเปลี่ยนแปลงความยาว หลังดูดซึมน้ำ ความต้านทานการตัดโค้ง อุณหภูมิการโค้งตัว ความทนต่อสภาวะเร่ง และด้านความปลอดภัย คือ การทดสอบการปลดปล่อยสารฟอร์แมลดีไฮด์ และโลหะที่ละลายออกมา เพื่อที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างเต็มรูปแบบ ตามมาตรฐาน ไม้สังเคราะห์จากพลาสติกชีวมวล (มอก.2998-2562) ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเงินทุน รวมทั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ.

2565. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กิตติพันธ์ บุญโตสีตระกูล, อธิ ผลิตศิริ, ปราโมทย์ วีรานุกูล, และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2566). การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัด จากเศษกิ่งไม้ต้นมะยงชิดเพื่อสร้างรายได้ให้ชุมชนท้องถิ่นและส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์.

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 18(3), 121-135.

จันทิมา ชั่งสิริพร, พกกระยา พงศ์ยี่หล้า, และนิรณา ชัยฤกษ์. (2566). ศึกษาการเตรียมพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้จากฟางข้าวและโคโตซาน. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 51(1), 69-77.

ตรีรัตน์ เจริญกุล. (2561). ผลกระทบของอัตราการเติมและอุณหภูมิของอากาศที่เข้าต่อประสิทธิภาพการย่อย สลายของเปลือกผลไม้ในถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์).

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล, ธรพร บุศย์น้ำเพชร, กนกวรรณ ศุภรัตน์, และพิมพ์กา โพธิ์ลังกา. (2565).

กระดาษชีวภาพ จากผักตบชวาโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน.

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 8(1), 56-69.

พูนชติ เย็นใจ, ทรงกลด จารุสมบัติ, และธีระ วิณิน. (2559). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เสม็ดขาว. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(2), 131-140.

ภควัต เกอะประสิทธิ์, ปราโมทย์ วีรานุกูล, อิทธิ วีรานุกูล, กิตติพงษ์ สุวีโร, และกิติวร ม่วงพริบ. (2564).

การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดเทียมจากเปลือกไม้กระถินณรงค์เพื่อใช้ในงานวัสดุตกแต่ง.

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลชัยบุรี, 19(1), 125-135.

สถิตรัตน์ รอดอารี. (2556). บทความพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. สืบค้นจาก

<http://dspace.bru.ac.th/xmlui/handle/123456789/5650>.

สำนักงานจังหวัดปราจีนบุรี. (2564). แผนพัฒนาจังหวัดปราจีนบุรี พ.ศ. 2561 - 2565 (ฉบับทบทวน

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565). ปราจีนบุรี: กระทรวงมหาดไทย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องแผ่นขึ้น

ไม้อัดชนิดราบ (มอก.876-2547). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). (2562). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องไม้

สังเคราะห์จากพลาสติกชีวมวล (มอก.2998-2562). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

โสภิตา วิศาลศักดิ์กุล, อรวัลภ์ อุปลัมภานนท์, กุลวดี สังข์สนธิ, สุภา จุฬคุปต์, และสุทัศน์ บุญโญภาส. (2559).

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 21(2), 216-228.

Chawla, S., Varghese, B. S., Chithra, A., Hussain, C. G., Keçili, R., & Hussain, C. M. (2022).

Environmental impacts of post-consumer plastic wastes: Treatment technologies towards eco-sustainability and circular economy. *Chemosphere*, 135867.

Chen, Y., Fu, J., Dang, B., Sun, Q., Li, H., & Zhai, T. (2020). Artificial wooden nacre: a high

specific strength engineering material. *ACS nano*, 14(2), 2036-2043.

Huang, J., Veksha, A., Chan, W. P., Giannis, A., & Lisak, G. (2022). Chemical recycling of plastic

waste for sustainable material management: A prospective review on catalysts and processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111866.

Singh, M., & Kaneko, T. (2023). Ultra-tough artificial woods of polyphenol-derived

biodegradable Co-polymer with Poly (butylene succinate). *Heliyon*, 9(6), E16567.

Yu, Z. L., Yang, N., Zhou, L. C., Ma, Z. Y., Zhu, Y. B., Lu, Y. Y., Qin, B., Xing, W. Y., Ma, T., Li, S. C.,

Gao, S. C., Wu, H. A., & Yu, S. H. (2018). Bioinspired polymeric woods. *Science advances*, 4(8), 7223.

การพัฒนาระบบติดตามพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ

ประวีณ ไม้เกตุ^{1*}

Received : October 31, 2023

Revised : May 25, 2024

Accepted : July 24, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบติดตามพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ 2) ประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนาระบบติดตามพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ 3) ประเมินความพึงพอใจของการใช้งานระบบติดตามพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ ผลการวิจัย พบว่า 1) ระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุในการพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในการออกแบบฮาร์ดแวร์การทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno R3 สำหรับควบคุมการทำงานของโมดูล GY-521 (MPU 6050) โดยเซนเซอร์สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำด้วยการปรับตั้งค่า (Calibration) ตัวเซนเซอร์ด้วยไลบรารี (Library) ของโมดูล GY-521 (MPU 6050) การทำงานร่วมกับโมดูล Arduino 3G Shield ที่ใช้ในการส่งข้อมูลไปยัง Server พร้อมทั้งศึกษาความแม่นยำในการส่งสถานที่และการส่ง SMS ในกรณีการเกิดอุบัติเหตุซึ่งสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนของซอฟต์แวร์มีการพัฒนาแบบแอปพลิเคชันบนมือถือโดยมีการพัฒนาตามวงจรการพัฒนาแบบ (System Development Life Cycle: SDLC 6 ขั้นตอนซึ่งการทำงานระหว่างส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ผลประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุในการพัฒนาระบบมีการวางแผนขั้นตอนทั้ง 3 ด้านอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.68) 3) ผลประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับชี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุทั้ง 3 ด้านอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.59)

คำสำคัญ: การตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับชี่ ความพึงพอใจต่อระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับชี่

ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับชี่ อาคูนไ่

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อีเมล: praveenm@siamtechno.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: praveenm@siamtechno.ac.th

DEVELOPMENT OF BIKER'S BEHAVIOR TRACKING AND ACCIDENT DETECTOR SYSTEM

Praveen Maigate^{1*}**Abstract**

This research aimed to 1) develop a biker's behavior tracking and accident detector system, 2) evaluate the performance of the system, and 3) assess satisfaction with its use. The results revealed that: 1) the system for biker's behavior tracking and accident detection has been developed into two parts—hardware and software. The hardware design involves the Arduino Uno R3 microcontroller board controlling the GY-521 (MPU 6050) module, ensuring sensor accuracy through calibration using its library, and working with the Arduino 3G Shield module for data transmission to the server. The system's efficiency in accurately sending location data and SMS notifications during accidents has been studied. The software component entails developing a mobile application following the System Development Life Cycle (SDLC) with six steps, ensuring efficient interaction between hardware and software components. 2) The effectiveness evaluation of the biker's behavior tracking and accident detection system in system development indicates that planning across all three aspects is at a good level ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.68). 3) The satisfaction assessment of the biker's behavior tracking and accident detection system shows positive ratings across all three aspects ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.59).

Keywords: Driving behavior detection, Satisfaction with the driving behavior detection, Performance of the driving behavior detection system, Arduino

¹ Lecture of Business Computer Program in Business Administration, Siam Technological College, e-mail: praveenm@siamtechno.ac.th

* Corresponding author, e-mail: praveenm@siamtechno.ac.th

บทนำ

การเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนในประเทศไทยยังคงมีสถิติการเกิดขึ้นสูงโดยอ้างอิงจากข้อมูลทางสถิติอุบัติเหตุจราจร ซึ่งรายงานสถิติจากศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน (ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน, 2566) พบว่า มีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุจราจรในประเทศไทยแบ่งเป็นผู้เสียชีวิต 2,851 ราย และบาดเจ็บถึง 144,131 ราย ซึ่งจากข้อมูล พบว่า รดจักรยานยนต์มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุสูงที่สุดถึงร้อยละ 79 ซึ่งสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุที่ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่างทั้งพฤติกรรมกรรมการขับขี่ เช่น ขับโดยใช้ความเร็วเกินกำหนด ไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร เมาสุรา ขณะขับรถ เป็นต้น จากสถิติที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า รดจักรยานยนต์มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่สูงที่สุดเป็นอันดับหนึ่งซึ่งสาเหตุในการเกิดอุบัติเหตุที่มาจากพฤติกรรมกรรมการขับขี่ที่เป็นอันตราย เช่น ใช้ความเร็วในการขับขี่เกินกำหนด หรือเปลี่ยนแปลงกะทันหันทำให้เกิดการเฉี่ยวชน เป็นต้น แม้ว่าทางรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้มีการณรงค์ให้ขับอย่างปลอดภัยบนท้องถนน ไม่ว่าจะเป็นช่วงเทศกาลต่าง ๆ เช่น เทศกาลวันขึ้นปีใหม่ เทศกาลวันสงกรานต์ หรือในช่วงเวลาปกติ

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ใช้ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System : GPS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกใช้สำหรับการติดตามบอกตำแหน่งที่อยู่ และนำทาง อีกทั้งยังสามารถนำพิกัดที่ได้จาก GPS มาใช้สำหรับเก็บรวบรวมพฤติกรรมกรรมการขับขี่ เช่น การติดตามพฤติกรรมการใช้รดจักรยานยนต์ของบุรุษไปรษณีย์ โดยการเฝ้าติดตามความเร็วในการขับขี่ โดยจะมีการวัดค่าเฉลี่ยออกมาเป็นรายงานว่าการมีการขับขี่ที่เป็นอันตรายหรือไม่ (ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน, 2566) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการติดตามพฤติกรรมการใช้ความเร็วในการขับขี่และบอกตำแหน่งที่อยู่ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ นอกเหนือจาก GPS แล้วการติดตามพฤติกรรมกรรมการขับขี่ยังสามารถใช้เซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (Accelerometer) และเซนเซอร์ตรวจจับแกนหมุน (Gyroscope) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ถูกนำมาใช้ในงานที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นพื้นฐานของระบบตรวจจับการล้ม Jo, et al. (2015). ซึ่งจะวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวันในท่าทางต่าง ๆ หรือใช้ในการเก็บพฤติกรรมในการขับรถว่ามีความเสี่ยงหรือไม่ Madansingh, et al. (2015) โดยการนำข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ที่มีอยู่ในสมาร์ทโฟน (Smartphone) มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการต่าง ๆ จากนั้นจะได้ค่าที่เป็นไปได้ในการระบุพฤติกรรมกรรมการขับขี่ว่ามีความปลอดภัยหรือมีแนวโน้มที่เป็นอันตราย

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่า โดยส่วนใหญ่ใช้เซนเซอร์ที่มีอยู่ในสมาร์ทโฟน (Smartphone) และ GPS เก็บข้อมูลทางด้านพฤติกรรม ซึ่งการที่นำเซนเซอร์จากสมาร์ทโฟน มาใช้ในการเก็บข้อมูลพฤติกรรมกรรมการขับขี่รดจักรยานยนต์นั้นไม่เหมาะสมในด้านการใช้งานที่ต้องติดตั้ง ให้อยู่ในทิศทางตามแนวแกนของเซนเซอร์ และเมื่อต้องการใช้สมาร์ทโฟน เช่น การรับสาย หรือการโทรออก อาจทำให้ค่าที่ได้จากเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อน จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหาเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้โดยการนำเซนเซอร์ที่อยู่ในรูปแบบ

ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งประกอบไปด้วย เซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (Accelerometer) เซนเซอร์ตรวจจับแกนหมุน (Gyroscope) และ GPS ซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายในรถจักรยานยนต์ เพื่อใช้เก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมรถจักรยานยนต์ โดยจะมีเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ที่เก็บข้อมูลการขับขี่ซึ่งสามารถติดตามดูพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ได้ผ่านแอปพลิเคชัน (Application) บนสมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เช่น ความเร็วในการขับขี่ หรือลักษณะพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ที่มีแนวโน้มเป็นอันตราย และในกรณีเมื่อเกิดอุบัติเหตุจะใช้เซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง (Accelerometer) และเซนเซอร์ตรวจจับแกนหมุน (Gyroscope) เพื่อใช้ในการตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ พร้อมทั้งส่งข้อความ SMS พร้อมทั้งพิกัดลองจิจูด (Longitude) และละติจูด (Latitude) ที่ได้จาก GPS ไปยังครอบครัวหรือศูนย์ที่ให้ความช่วยเหลือ

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยสนใจพัฒนาระบบติดตามพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ เพื่อใช้เป็นส่วนป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการขับขี่รถจักรยานยนต์ และเป็นการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากการขับขี่เพื่อเป็นหนึ่งในซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการลดอุบัติเหตุที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาบนท้องถนน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 40 ท่านและนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามที่มีประสบการณ์ในการขับขี่รถจักรยานยนต์ จำนวน 100 ท่าน

1.2 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้การเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) ในการเลือกผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 ท่าน และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยใช้วิธีการจับฉลาก (Lottery) โดยการเลือกจากนักศึกษาสาขาวิชา

คอมพิวเตอร์ธุรกิจ จำนวน 30 ท่าน ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

2. เครื่องมือและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- 2.1 ระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
- 2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
- 2.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

3. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บและรวบรวมข้อมูลดังนี้

- 3.1 ผู้วิจัยทำการนัดหมายกับผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มทดลองเพื่อขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.2 ประสานงานกับกลุ่มทดลองเพื่อนำระบบไปติดตั้ง
- 3.3 ดำเนินการทดลองการใช้งานระบบโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการใช้งานระบบและทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาทำแบบประเมินความพึงพอใจและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อสรุปผลในขั้นตอนต่อไป

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- 4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเข้ามาทำการวิเคราะห์โดยหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) จากผลการประเมินประสิทธิภาพ และผลจากการประเมินความพึงพอใจจากแบบสอบถาม

5. การสร้างเครื่องมือและการตรวจสอบระบบตรวจจับพฤติกรรมกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ มีดังนี้

- 5.1 การศึกษาความต้องการของระบบ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนาระบบโดยมีขั้นตอนการศึกษาความต้องการทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดังนี้

5.1.1 ศึกษาข้อมูลทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ศึกษาการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno R3 ที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของโมดูล GY-521 (MPU 6050) โดยต้องทำให้เซนเซอร์สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำด้วยการปรับตั้งค่า (Calibration) ตัวเซนเซอร์ด้วยไลบรารี (Library) ของโมดูล GY-521 (MPU 6050) รวมทั้งศึกษาการทำงานร่วมกับโมดูล Arduino 3G Shield ที่ใช้ในการส่งข้อมูลไปยัง Server พร้อมทั้งศึกษาความแม่นยำในการส่งสถานที่และการส่ง SMS ในกรณีการเกิดอุบัติเหตุ ด้านซอฟต์แวร์ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์สมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อนำมาใช้ในการแสดงผลพฤติกรรมกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ รวมทั้งศึกษาเครื่องมือและ

ซอฟต์แวร์อื่น ๆ ที่สามารถนำมาช่วยในการพัฒนาระบบเพื่อให้ระบบมีความถูกต้องแม่นยำในการติดตามและตรวจจับมากที่สุด

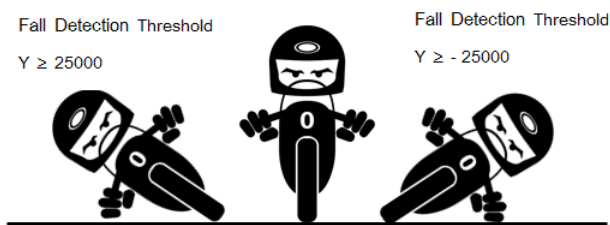
5.1.2 รวบรวมพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก่อนทำการพัฒนาระบบ ซึ่งผู้วิจัยจะนำค่า Thresholds มาพัฒนาเป็นระบบที่ใช้ในการติดตามพฤติกรรม และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ ทำการเก็บรวบรวมค่าโดยใช้โปรแกรม USB Serial Console ซึ่งแอปพลิเคชันระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่สามารถบันทึกข้อมูลจากเซนเซอร์ในรูปแบบไฟล์ .TXT เพื่อนำค่าเหตุการณ์ที่ได้ทดสอบมาหาค่า Threshold โดยผู้วิจัยจะทำการทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหาค่า Threshold ของการขับขี่รถจักรยานยนต์ในรูปแบบปกติ และในรูปแบบที่มีแนวโน้มที่อาจทำให้เกิดอันตรายเพื่อเปรียบเทียบค่าตัวเลขของพฤติกรรมในรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้จากเซนเซอร์ ที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาระบบต่อไป

5.1.3 การออกแบบชุดทดสอบเพื่อเก็บรวบรวมค่า Threshold ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในการขับขี่รถจักรยานยนต์เป็นขั้นตอนแรกก่อนการพัฒนาระบบซึ่งค่า Threshold ที่เหมาะสมของพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์รวมถึงแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุจะนำไปใช้ในการพัฒนาระบบ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่นำไปใช้งานกับระบบจริง ซึ่งประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno R3 เซนเซอร์ตรวจจับความเร่งและตรวจจับแกนหมุน GY-521 การเชื่อมต่อเซนเซอร์ GY-521 กับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno R 3

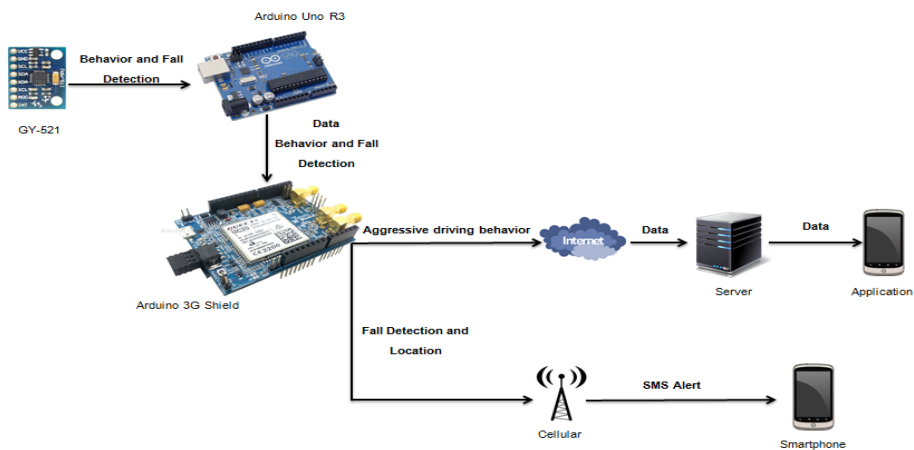
5.1.4 ทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ในสภาพการจราจรจริงการทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ในสภาพการจราจรจริง เส้นทางในการทดสอบเป็นเส้นทางที่อยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จุดมุ่งหมายในการทดสอบคือ การกำหนดค่า Threshold ของการขับขี่รถจักรยานยนต์ โดยในการทดสอบซึ่งจะเป็นลักษณะการขับขี่ที่ปลอดภัยปฏิบัติ การขับขี่รถยนต์ต้องใช้อัตราความเร็วตามที่ผู้บัญชาการตำรวจแห่งชาติประกาศกำหนด ซึ่งอาจกำหนดแยกตามประเภทรถยนต์ก็ได้ แต่ต้องไม่เกินแปดสิบกิโลเมตรต่อชั่วโมง ราชกิจจานุเบกษา (2565) เส้นทางที่ทำการทดสอบเป็นเส้นทางบริเวณระหว่างถนนแจ้งวัฒนะ และถนนพหลโยธิน ช่วงเวลาที่ทดสอบเป็นช่วงที่มีการจราจรที่ค่อนข้างเบาบาง ความเร็วที่ใช้ในการขับขี่ประมาณ 20 km/h จนถึง 50 km/h โดยในการทดสอบ ผู้ที่ทำการทดสอบจะทำการบันทึกช่วงเวลาใดที่มีเหตุการณ์ เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และการเปลี่ยนเลน เพื่อนำช่วงเวลาดังกล่าวไปเทียบกับค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่ง ค่าตัวเลขที่ได้จากเซนเซอร์ความเร่ง

5.1.5 การทดสอบหาแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุของรถจักรยานยนต์การทดสอบเพื่อหาแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุของรถจักรยานยนต์ ผู้วิจัยจะคำนึงถึงเหตุการณ์จริงมากที่สุด เพื่อกำหนดค่า Threshold ที่ได้จากเซนเซอร์ไปพัฒนาระบบ โดยทำการทดสอบหาค่า Threshold โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับแกนหมุน (Gyroscope) โดยผู้วิจัยได้ทดสอบการเอียงเซนเซอร์เบื้องต้นพบว่าแกน Y ค่าตัวเลขมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด

จากการทดสอบพบว่า ตัวเลขจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้นหากมีการเอียงที่แกน Y เมื่อรถจักรยานยนต์เกิดอุบัติเหตุจะต้องมีแรงกระแทกที่สูง ดังนั้น ค่าตัวเลขของเซนเซอร์ตรวจจับแกนหมุนจะสูงตามไปด้วยเช่นกัน โดยทำการทดสอบด้วยการนำเซนเซอร์ติดตั้งไว้ภายในรถจักรยานยนต์ทดสอบการเอียงรถจักรยานยนต์ ซึ่งในขณะที่รถจักรยานยนต์อยู่ในระดับที่ปกติที่สามารถขับขี่ได้อย่างปลอดภัยจะอยู่ระดับตั้งฉาก 90 องศา ผู้วิจัยทดสอบ พบว่า หากรถจักรยานยนต์เอียงมากกว่า 30 องศาและ 150 องศาจะไม่สามารถบังคับรถจักรยานยนต์ได้เป็นการเสียสมดุล ดังนั้น ค่าตั้งแต่มุม 30 องศาถึง 150 องศาขึ้นไป จะถือว่าเป็นการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งในระดับ 30 องศาและ 150 องศาขึ้นไปค่าตัวเลขที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจจับแกนหมุนจะอยู่ในระดับตั้งแต่ 25000 และ 25000 ขึ้นไป จึงเป็นค่า Threshold เริ่มต้นของการเกิดอุบัติเหตุที่นำไปใช้ในการพัฒนาระบบ



ภาพที่ 1 ภาพจำลองทดสอบการเอียงของรถจักรยานยนต์



ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของระบบ

5.2 การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพและแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ มีขั้นตอน ดังนี้

5.2.1 ศึกษาทฤษฎีการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากเอกสารและตำราที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพโดยกำหนดหัวข้อการประเมินทั้งหมด 3 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านความสามารถของระบบ 2) ด้านการใช้งานต้นแบบ และ 3) ด้านความปลอดภัย โดยประยุกต์ใช้แบบประเมินของ เกรียดี้ศักดิ์ กับปิยะ และวริยา เย็นปิง (2564)

5.3 การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ผู้วิจัยมีขั้นตอนการสร้างแบบประเมินดังนี้

5.3.1 ศึกษาทฤษฎีการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจจากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ โดยกำหนดหัวข้อการประเมินทั้งหมด 3 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านความสามารถของระบบ 2) ด้านการใช้งาน และ 3) ด้านความปลอดภัยแบบมาตราส่วนประมาณค่า(Rattng) 5 ระดับ โดยมีการกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายเพื่อจัดระดับค่าเฉลี่ยนอกเป็นช่วงดังต่อไปนี้ ธาณินทร์ ศิลป์จารุ (2563)

ค่าเฉลี่ย 4.50 -5.00 กำหนดให้อยู่ในเกณฑ์ มากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 -4.49 กำหนดให้อยู่ในเกณฑ์ มาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 -3.49 กำหนดให้อยู่ในเกณฑ์ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 -2.49 กำหนดให้อยู่ในเกณฑ์ น้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 กำหนดให้อยู่ในเกณฑ์ น้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ แบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดังนี้

1.1 ผลการออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน และมีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ โดยมีการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ (Server) และมีการทดสอบการทำงานของสัญญาณ GPS ซึ่งผลการทดสอบส่งค่าไปยัง Servers ได้อย่างรวดเร็ว สำหรับพิกัด GPS ทำการทดสอบรวมกับการส่ง SMS และตรวจจับสัญญาณได้อย่างแม่นยำ



(ก)

```

COM3 (Arduino/Genuino Uno)
Send
Gyro : -270 130 -88
Accel : 0.055 0.013 1.016
Gyro : -261 140 -87
Accel : 0.048 0.007 1.022
Gyro : -264 142 -86
Accel : 0.054 0.007 1.020
Gyro : -278 135 -81
Accel : 0.049 0.002 1.025
Gyro : -302 125 -71
Accel : 0.057 0.007 1.026
Gyro : -289 135 -80
Accel : 0.053 0.010 1.026
Gyro : -283 127 -74
Accel : 0.053 0.006 1.020
Gyro : -263 109 -62
Accel : 0.057 -0.002 1.045
Gyro : -2419 -820 -4550
Accel : -0.802 0.268 0.859
Gyro : 1878 23122 19324
Accel : -0.888 0.403 1.244
Gyro : 8496 23796 24814
Accel : 0.217 0.397 1.186
Gyro : 3064 12728 23755
Accel : 2.405 -0.188 1.523
Gyro : 409 -16228 1420
Accel : 0.050 0.021 1.029
Gyro : -266 134 -71
Accel : 0.049 0.020 1.017
Gyro : -149 131 -78
Accel : 0.049 0.023 1.028
Gyro : -270 131 -76
Accel : 0.049 0.019 1.031
    
```

(ข)

```

COM3 (Arduino/Genuino Uno)
Send
GPSIDOC: 143116.0,13147.00828,10300.4008E,7.4,-15.6,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.049 -0.001 1.020
Gyro : -324 134 -74
GPSIDOC: 143117.0,13147.00828,10300.4008E,7.4,-15.6,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.046 0.003 1.019
Gyro : -325 131 -84
GPSIDOC: 143117.0,13147.00828,10300.4008E,7.4,-15.6,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.057 0.007 1.019
Gyro : -307 110 -82
GPSIDOC: 143118.0,13147.00828,10300.4008E,7.4,-15.6,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.052 -0.002 1.026
Gyro : -313 109 -73
GPSIDOC: 143118.0,13147.00828,10300.4008E,7.4,-15.6,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.054 0.007 1.008
Gyro : -323 90 -111
GPSIDOC: 143119.0,13147.00828,10300.4008E,2.9,-15.4,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.042 0.008 1.011
Gyro : -311 97 -72
GPSIDOC: 143119.0,13147.00828,10300.4008E,2.9,-15.4,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.053 0.010 1.011
Gyro : -330 137 -128
GPSIDOC: 143119.0,13147.00828,10300.4008E,2.9,-15.4,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.052 0.003 1.016
Gyro : -306 122 -83
GPSIDOC: 143111.0,13147.00828,10300.4008E,2.9,-15.5,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.057 0.003 1.023
Gyro : -302 88 -78
GPSIDOC: 143111.0,13147.00828,10300.4008E,2.9,-15.5,2.199,47.6,0.0,0.0
Accel : 0.053 0.008 1.012
Gyro : -371 75 -48
GPSIDOC: 143111.0,13147.00828,10300.4008E,2.9,-15.5,2.199,47.6,0.0,0.0
    
```

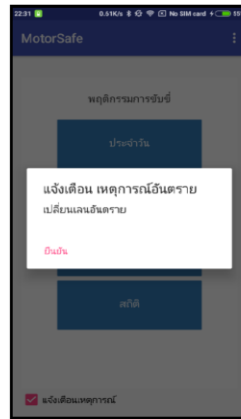
(ค)

ภาพที่ 3 (ก) บอร์ดทดลอง (ข) แสดงผลการส่งค่าไปยัง Server (ค) แสดงผลการตรวจจับพิกัด GPS

1.2 ผลการพัฒนาด้านซอฟต์แวร์ในการวิจัยได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ในรูปแบบของแอปพลิเคชันที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ประกอบด้วยหน้าจอแสดงหลักมีเมนูย่อยสำหรับแสดงพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ซึ่งจะประกอบไปด้วยเมนูย่อย ๆ สำหรับเรียกดูพฤติกรรม โดยสามารถเลือกดูพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ประจำวันประจำสัปดาห์นี้ ประจำเดือนนี้ และสถิติ ดังภาพที่ 3 และแสดงข้อความแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีพฤติกรรมการขับขี่ที่เป็นอันตราย



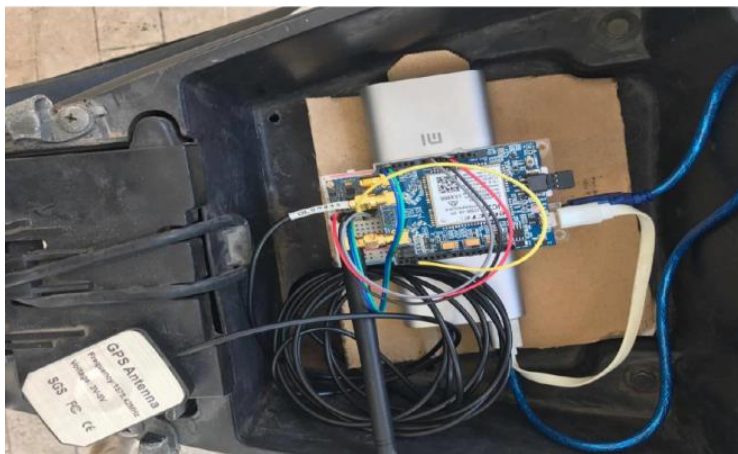
(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) หน้าจอเมนูเริ่มต้นของแอปพลิเคชัน (ข) แสดงข้อความแจ้งเตือนพฤติกรรมอันตราย

1.3 ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและความแม่นยำของระบบ ผู้วิจัยจะทำการทดสอบขับวีเจ็กรยานยนต์ในแต่ละพฤติกรรมซึ่งประกอบไปด้วย การเปลี่ยนเลนซ้ายและการเปลี่ยนเลนขวา การเลี้ยวซ้ายการเลี้ยวขวา การเร่งเครื่องและการเบรก โดยการทดสอบเป็นการทดสอบลักษณะการขับซึ่งมีความปลอดภัยเพื่อป้องกันอุบัติเหตุเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ โดยทำการติดตั้งชุดเซนเซอร์ไว้ช่องเก็บของใต้เบาะขอรถจักรยานยนต์ ดังภาพที่ 4 ซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบพฤติกรรมละ 10 ครั้ง นอกจากนี้ยังมีผลการทดสอบการส่งข้อความ SMS เพื่อใช้ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ และผลการทดสอบความแม่นยำในการตรวจจับพิกัดของ GPS



ภาพที่ 5 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบภายในรถจักรยานยนต์

1.4 ผลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบ จะเป็นเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการตรวจจับเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบ โดยคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยความแม่นยำของระบบต้องมีค่ามากกว่า 80 % ซึ่งการคำนวณหาความแม่นยำแสดงดังสมการที่ 1 และผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 1

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{i}{x} \times 100\% \quad \text{สมการที่ (1)}$$

i = จำนวนครั้งที่ตรวจจับถูกต้อง

x = จำนวนทั้งหมดที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความแม่นยำของระบบ

การทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	การแสดงผลที่ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ
เปลี่ยนเลนซ้าย	10	8	80%
เปลี่ยนเลนขวา	10	9	90%
เลี้ยวซ้าย	10	7	70%
เลี้ยวขวา	10	9	90%
เบรก	10	8	80%
เร่ง	10	10	100%
ตรวจจับความเร็ว	10	7	70%
ความแม่นยำของ GPS	10	8	80%
การส่งข้อความ SMS	10	10	100%
ค่าเฉลี่ย	10	8.44	84.44%

จากตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินความแม่นยำของระบบ จากจำนวนครั้งทั้งหมดที่ทำการทดสอบจำนวน 90 ครั้ง ระบบแสดงผลถูกต้องจำนวน 76 ครั้ง และแสดงผลผิดพลาดจำนวน 14 ครั้ง จากการคำนวณความแม่นยำของระบบโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ระบบมีความแม่นยำอยู่ที่ 84.44%

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ โดยแยกรายละเอียดในแต่ละด้านการประเมินดังนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน

ข้อความ	\bar{X}	S.D.	การแปลผล
1. ด้านความสามารถของระบบ			
การตอบสนองของระบบ	4.60	0.49	มากที่สุด
ความแม่นยำในการตรวจจับ	4.20	0.75	มาก
อุปกรณ์ที่ใช้มีความเหมาะสม	4.60	0.49	มากที่สุด
แอปพลิเคชันที่ใช้มีความเหมาะสม	4.40	0.80	มาก
รวม	4.45	0.67	มาก

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน (ต่อ)

ข้อความ	\bar{X}	S.D.	การแปลผล
2. ด้านการใช้งาน			
การทำงานครอบคลุมการใช้งานจริง	4.40	0.49	มาก
ความรวดเร็วในการแจ้งเตือน	4.20	0.75	มาก
ความถูกต้องจากผลลัพธ์ในการส่งค่าการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน	4.60	0.49	มากที่สุด
การติดตั้งระบบและการทำงานระบบง่าย	4.60	0.49	มากที่สุด
การใช้งานระบบโดยรวม	4.40	0.80	มาก
รวม	4.44	0.69	มาก
3. ด้านความปลอดภัย			
การกำหนดสิทธิ์ผู้รับการแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชัน Line	4.20	0.75	มาก
มีระบบป้องกันข้อผิดพลาด	4.40	0.80	มาก
ความน่าเชื่อถือของระบบ	4.60	0.49	มากที่สุด
รวม	4.40	0.61	มาก
ผลรวมทุกด้าน	4.28	0.68	มาก

จากตารางที่ 2 ผู้วิจัยสรุปได้ว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ผลสรุปในภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.68) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านทั้ง 3 ด้าน มีประสิทธิภาพในระดับมากทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบ ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.67) ด้านการใช้งาน ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.69) ด้านความปลอดภัย ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.61)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุโดยแยกรายละเอียดในแต่ละด้านดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ จากกลุ่มทดลองจำนวน 30 ท่าน

ข้อคำถาม	\bar{X}	S.D.	การแปลผล
1. ด้านความสามารถของระบบ			
ความสามารถในการตอบสนองของระบบ	3.80	0.83	มาก
ความแม่นยำในการตรวจจับ	3.93	0.77	มาก
ความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้	4.20	0.65	มาก
ความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน	4.67	0.73	มากที่สุด
รวม	4.15	0.68	มาก
2. ด้านการใช้งาน			
มีการทำงานที่ครอบคลุม	4.60	0.49	มากที่สุด
มีความรวดเร็วในการประมวลผลและแจ้งเตือน	4.33	0.47	มาก
ผลการแจ้งเตือนมีความถูกต้อง	4.47	0.50	มาก
การติดตั้งระบบง่ายไม่ซับซ้อน	4.60	0.49	มากที่สุด
การใช้การระบบโดยภาพรวม	4.53	0.62	มากที่สุด
รวม	4.51	0.47	มากที่สุด
3. ด้านความปลอดภัย			
การกำหนดสิทธิ์ผู้รับการแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชัน Line	4.27	0.77	มาก
มีระบบการป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น	4.53	0.50	มากที่สุด
ระบบที่ใช้ทำงานมีความน่าเชื่อถือ	4.60	0.49	มากที่สุด
รวม	4.47	0.68	มาก
ผลรวมทุกด้าน	4.37	0.59	มาก

จากตารางที่ 3 ผู้วิจัยสรุปได้ว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากกลุ่มทดลอง 15 ท่าน ผลสรุปในภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.59) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านทั้ง 3 ด้าน มีประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด 1 ด้าน ได้แก่ ด้านการใช้งาน ($\bar{X} = 4.51$, S.D. = 0.47) อยู่ในระดับมาก 2 ด้าน ได้แก่ ด้านความปลอดภัย ($\bar{X} = 4.47$, S.D. = 0.68) ด้านความสามารถของระบบ ($\bar{X} = 4.15$, S.D. = 0.68)

สรุป

1. การพัฒนาระบบติดตามพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุผู้วิจัยได้พัฒนาระบบตามขั้นตอนการพัฒนาาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) 6 ขั้นตอน ได้แก่ การค้นหาปัญหา การศึกษาความเหมาะสม การวิเคราะห์รวบรวมข้อมูล การออกแบบ การพัฒนาและทดสอบระบบ การติดตั้งระบบ และนำระบบให้ผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 ท่านประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมแอปพลิเคชัน ซึ่งในการจัดทำระบบติดตามพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และตรวจจับการเกิดอุบัติเหตุ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการขับขี่รถจักรยานยนต์ในพฤติกรรมต่าง ๆ ในรูปแบบที่ปลอดภัย ซึ่งทำการทดสอบการตรวจจับทั้งหมด 90 ครั้ง โดยแยกทดสอบเป็นพฤติกรรมละ 10 ครั้ง จากผลการทดสอบของแต่ละพฤติกรรมจะพบความผิดพลาดในการตรวจจับ ซึ่งเป็นลักษณะความผิดพลาดจากการทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ในรูปแบบที่ปลอดภัย แต่มีการแจ้งเตือนพฤติกรรมอันตราย รวมถึงทดสอบความแม่นยำของ GPS โดยประสิทธิภาพโดยรวมของระบบโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ 84.44% ซึ่งถือว่าระบบมีความแม่นยำในการตรวจจับพฤติกรรม ในส่วนของการแจ้งเตือนพฤติกรรมอันตราย ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในสภาพการจราจรจริงซึ่งเป็นลักษณะการขับขี่ที่ปลอดภัย โดยในระหว่างทดสอบจะมีบางเหตุการณ์ที่ต้องใช้เบรกกะทันหัน โดยระบบจะแจ้งเตือนพฤติกรรมอันตราย และทำการแจ้งเตือนเมื่อใช้ความเร็วเกินซึ่งในบางครั้งที่ความเร็วเกินอาจไม่แจ้งเตือนเนื่องด้วยในบางพื้นที่ไม่สามารถจับสัญญาณ GPS ได้ จากการทดสอบขับขี่รถจักรยานยนต์ พบว่า ระบบมีความสามารถในการตรวจจับเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ในบางสถานการณ์ เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ผลสรุปในภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.68) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านทั้ง 3 ด้าน มีความประสิทธิภาพในระดับมากทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบ ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.67) ด้านการใช้งาน ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.69) ด้านความปลอดภัย ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.61) สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุมีคะแนนความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก เนื่องจากในการพัฒนาระบบครั้งนี้มีหลักการออกแบบตามกระบวนการออกแบบ และพัฒนาซอฟต์แวร์โดยมีการวางแผนอย่างเป็นระบบ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์ และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุจากกลุ่มทดลอง 30 ท่าน ผลสรุปในภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.59) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านทั้ง 3 ด้าน มีความประสิทธิภาพในระดับมาก ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการใช้งาน ($\bar{X} = 4.51$, S.D. = 0.47) ด้านความปลอดภัย ($\bar{X} = 4.47$,

S.D = 0.68) ด้านความสามารถของระบบ (\bar{X} = 4.15, S.D. = 0.68) สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุมีคะแนนความพึงพอใจการใช้งานระบบตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่รถจักรยานยนต์และการแจ้งเตือนเมื่อเกิดอุบัติเหตุผู้ใช้ให้ผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถรองรับการประมวลผลมากกว่านี้ เช่น Raspberry pi ซึ่งจะสามารถรองรับงานที่มีการประมวลผลสูงได้
2. ในส่วนของการแจ้งเตือนพฤติกรรมอันตราย ยังคงต้องเพิ่มเติมในส่วนของการแจ้งเตือนผู้ขับขี่เอง เพื่อให้ผู้ขับขี่ทราบว่าตนเองกำลังขับขี่ในลักษณะที่มีแนวโน้มเป็นอันตราย โดยอาจจะติดตั้งไฟแสดงสถานะเมื่อมีพฤติกรรมอันตรายหรืออาจจะเป็นระบบสั่นแจ้งเตือนเวลาที่ มีพฤติกรรมอันตราย

เอกสารอ้างอิง

เกียรติศักดิ์ กับปิยะ และวริยา เย็นเปิง. (2564). การพัฒนาระบบตรวจจับควันและก๊าซ LPG ในครัว.

การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย ครั้งที่ 9, 1 มีนาคม 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี

ชานินทร์ ศิลป์จารุ. (2563). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS. (พิมพ์ครั้งที่ 18).

กรุงเทพมหานคร: เอส. อาร์. พรินติ้ง แมสโปรดักส์.

ราชกิจจานุเบกษา. (2565). พระราชบัญญัติ จราจรทางบก (ฉบับที่ ๑๓) พ.ศ. ๒๕๖๕. สืบค้นจาก

https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/A/028/T_0005.PDF

ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน ThaiRSC. (2566). ข้อมูลรับบ้าง

อุบัติเหตุทางถนน ในรอบ 24 ชั่วโมง. สืบค้นจาก <https://www.thairsc.com>

Jo, J., Kim, H., Park H., & Yoon D. (2015). A monitoring system to understand postal motorcyclist's driving behavior. IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation System, 15–18 September 2015, Gran Canaria, Spain.

Madansingh, S., Thrasher, T. A., Layne, C. S., & Lee, B.-C. (2015). Smartphone based fall detection system. 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 13 – 16 October 2015, BEXCO, Busan, Korea.

CYTOTOXICITY OF *ALPINIA GALANGA* RHIZOME EXTRACTS AND ISOLATED COMPOUNDS
AGAINST SMALL CELL LUNG CANCER NCI-H187 CELL LINE

Anchulee Pengsook¹ Parinthorn Temyarasilp^{2*} Wanchai Pluempanupat³

Received : February 21, 2023

Revised : June 10, 2024

Accepted : July 25, 2024

Abstract

The purpose of this research was to study the cytotoxicity of the extracts from *Alpinia galanga* rhizome and isolated compounds against NCI-H187 small cell lung cancer cells. 1'S-1'-acetocavical acetate (**1**), *p*-coumaryl diacetate (**2**), 1'S-1'-acetoxy-eugenol acetate (**3**), (S)-hydroxycavicol acetate (**4**), 4-hydroxycinnamaldehyde (**5**) and *trans-p*-acetoxycinnamyl alcohol (**6**) were isolated from the rhizomes of *Alpinia galanga*. The structures of the isolated compounds were characterized by spectroscopic techniques and comparison with the literature. Among them, the extracts, and compounds 1-5 displayed potent cytotoxic activity against human small cell lung cancer (NCI-H187) cells exhibiting >98% at the highest concentration (50 μ g). Compound 1 showed the highest cytotoxicity against NCI-H187 cells with 99.69% inhibition and IC₅₀ of 4.61 μ M, 1.68-fold higher than ellipticine.

Keywords: *Alpinia galanga*, Cytotoxicity, NCI-H187

¹ Student, Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, and Special Research Unit for Advanced Magnetic Resonance, Kasetsart University, e-mail: anchulee.peng@ku.th

² Dr. Lecturer, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province, e-mail: parinthorn@vru.ac.th

³ Associate Professor Dr., Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, and Special Research Unit for Advanced Magnetic Resonance, Kasetsart University, e-mail: fsciwcp@ku.ac.th

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

Introduction

Small cell lung cancer (SCLC) is a rapidly spreading cancer. This type of cancer can recur even after chemotherapy. SCLC cells are also small and the cytoplasm surrounding the nucleus is limited. Cells tend to grow accordingly floating clumps or spheres, which are often challenging to achieve separately. SCLC is a type of lung cancer that has no effective treatment over recent years and it affects to more than 200,000 people worldwide yearly with a very high death rate. SCLC has unique biological and chromosomal changes, abnormal regulation of tumor suppressor genes, oncogenes, and signaling pathways, upregulation of tyrosine kinase receptor, growth factors and cell markers and an active early development path. Treatment for SCLC depends on many factors including age, overall health and cancer stage. The options include surgery, radiation therapy, chemotherapy and immunotherapy.

A. galanga (L.) Wild (Figure 1) is a herb in the family *Zingiberaceae* that distribute in Asia including Thailand, Malaysia, China and India. The rhizome of *A. galanga* is used as spices in Southeast Asian cuisine and as a traditional medicine (Anirban & Santanu, 2018). Currently, it is reported that *A. galanga* has various biological activities such as anti-tumor, antimicrobial (Wong, 2009), antiallergic (Matsuda *et al.*, 2003), antioxidant. and anti-inflammatory (Ghosh *et al.*, 2008).



Figure 1 *Alpinia galanga* (L.) Wild

Several studies on the phytochemicals of *A. galanga* have been reported over the past decades, in which *A. galanga* has various medicinal properties such as antibacterial, antifungal, cancer cytotoxicity, etc. The examples of chemical compositions and related biological activities are shown in Table 1

Table 1 The examples of the chemical compositions from *A. galanga* and their biological activities

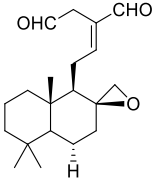
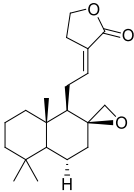
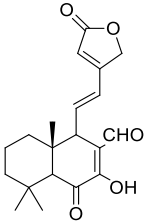
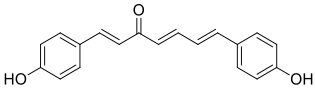
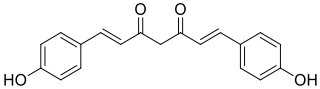
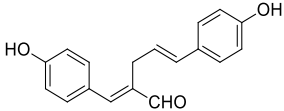
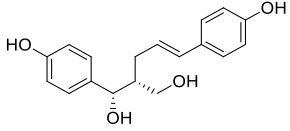
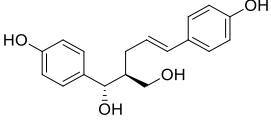
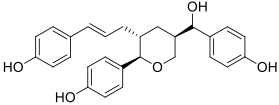
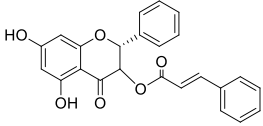
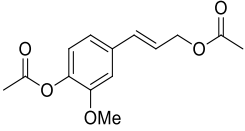
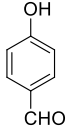
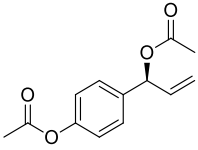
Structure	Name	Biological activity
	(<i>E</i>)-8 β ,17-epoxyabd-12-ene-15,16-dial	Antibacterial against <i>Staphylococcus aureus</i> and <i>Bacillus cereus</i> and α -glucosidase inhibitory (Itokawa et al., 1980 & Sivasothy et al., 2013)
	Galanolactone	Antifungal activity to <i>Candida guilliermondii</i> PW44 and <i>Candida tropicalis</i> PW30 (Morita & Itokawa, 1988)
	Galanganin	Cytotoxicity towards various cancer cells (Ma et al., 2017)
	1,7-bis(4-hydroxyphenyl)-1,4,6-heptatrien-3-one	Effectively inhibited the proliferation of melanoma cells (Lo et al., 2013)
	Bisdemethoxy-curcumin	Effectively inhibited the proliferation of melanoma cells (Lo et al., 2013)
	Galanganal	Cytotoxicity against Hela cells and inhibit nitric oxide production (Morikawa et al., 2005 & Xu et al., 2013)

Table 1 The examples of the chemical compositions from *A. galanga* and their biological activities (Continued)

Structure	Name	Biological activity
	Galanganol A	Cytotoxicity against Hela cells (Xu et al., 2013)
	Galanganol B	Inhibit nitric oxide production (Morikawa et al., 2005)
	Galanganol C	Inhibit nitric oxide production (Morikawa et al., 2005)
	(2 <i>R</i> ,3 <i>S</i>)-Pinobaksin-3-cinnamate	Exhibited neuroprotective effect against PC12 cells. (Ma et al., 2017)
	trans-Coniferyl diacetate	Xanthine oxidase inhibitory (Noro et al., 1988)
	4-Hydroxybenzaldehyde	Xanthine oxidase inhibitory (Noro et al., 1988)
	1' <i>S</i> -1'-Acetoxychavicol acetate	Antileishmanial, antiallergic, gastroprotective, nitric oxide production inhibitory, anti-HIV, antibacterial, anticancer (Matsuda et al., 2003; Morikawa et al., 2005; Niyomkam et al., 2010; Ye & Li, 2006; Zeng et al., 2015)

Based on the above information, a group of interesting compounds with diverse biological activity has been identified. However, the biological activity of *A. galanga* extract on SCLC is less reported. In this works, the researcher is interested in studying the biological activity of *A. galanga* extracts against NCI-H187 lung cancer cells and the isolated compounds in the *A. galanga* extract as well.

Objectives

To extract and characterize the chemical constituents from *A. galanga* rhizomes and test their cytotoxic activity against NCI-H187 lung cancer cells

Materials and methods

1. Plant preparation

A. galanga rhizomes were collected from Prachinburi province, Thailand. Fresh *A. galanga* rhizomes (20 kg) were cut into small pieces and air-dried for 7 days.

2. Extraction and isolation

The air-dried *A. galanga* rhizomes (1.6 kg) were ground and sequentially extracted with n-hexane, EtOAc, and EtOH by Soxhlet extraction over 7 days, respectively. The extracted solutions were filtered and evaporated under reduced pressure at 40– 45 °C to obtain 6.83 g from hexane extract, 19.11 g from EtOAc extract and 82.86 g from MeOH extract. All crude extracts had a significant effect on cells, whereas in this experiment only EtOAc extract was selected to determine the active ingredients. This is because EtOAc extract has been reported to contain many bioactive compounds (Datt *et al.*, 2015).

The EtOAc extract (9.0 g) was fractionated by column chromatography, using a gradient solvent system of n-hexane, n-hexane-EtOAc, and EtOAc with increasing the amount of polar solvents. The eluents were examined by TLC and 12 groups of fractions were obtained. Fraction 2 gave 1'S-1'-Acetoxychavicol acetate (**1**) as colorless oil (2.0 g). Fraction 6 was chromatographed by isocratic elution with n-hexane:EtOAc (4:1) to afford *p*-Coumaryl diacetate (**2**) as pale yellow oil (205 mg) in fraction 6-1. Fraction 7 was further fractionated by preparative thin layer chromatography (PTLC) using an isocratic solvent system of n-hexane:EtOAc (4:1) to give three

fractions (fr. 7-1 to 7-3). Fraction 7-2 was chromatographed two times with PTLC using n-hexane:EtOAc (5:1) as eluting solvent, then the darkest fraction 7-2-1, was collected. Fraction 7-2-1 was separated with PTLC twice, using n-hexane:EtOAc (5:1), to give two fractions (fr. 7-2-1-1 and 7-2-1-2). Fraction 7-2-1-2 was subjected to PTLC, using n-hexane:EtOAc (3:1) to give 1'S-1'-acetoxy-eugenol acetate (**3**) as yellow liquid (5 mg) in fraction 7-2-1-2-2. Fraction 8 was further fractionated by column chromatography, using an isocratic solvent system of n-hexane:EtOAc (4:1), to give four fractions (fr. 8-1 to 8-4). Fraction 8-3 was separated with PTLC by of n-hexane:EtOAc (3:1) to yield (*S*)-Hydroxychavicol acetate (**4**) as yellow oil (160 mg) in fraction 8-3-2. Fraction 9 was further fractionated by column chromatography, using a gradient solvent system from 100% hexane to n-hexane:EtOAc (3:1), to give fraction 9-1, 9-2 and 9-3. Fraction 9-2 was isolated three times by PTLC using n-hexane-EtOAc (2:1) followed by n-hexane-EtOAc (2:1) and n-hexane-EtOAc (3:1) to yield 4-Hydroxycinnamaldehyde (**5**) as yellow solid (20 mg). Fraction 10 was further fractionated by column chromatography, using an isocratic solvent system of n-hexane-EtOAc (4:1), to give *trans-p*-Acetoxycinnamyl alcohol (**6**) as pale yellow solid (380 mg). The isolation scheme off all bioactive compounds is shown in Figure 2.

1'S-1'-Acetoxychavicol acetate (**1**) colorless oil; $[\alpha]_D^{20}$ -50 ($c=0.5$, CH_2Cl_2): Colorless solid; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ 7.36 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 7.07 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 6.26 (d, $J = 5.8$ Hz, 1H), 5.98 (ddd, $J = 17.1, 10.4, 5.8$ Hz, 1H), 5.30 (dt, $J = 17.2, 1.3$ Hz, 1H), 5.25 (dt, $J = 10.5, 1.2$ Hz, 1H), 2.29 (s, 3H), 2.10 (s, 3H). ^{13}C NMR (CDCl_3 , 100 MHz) δ 169.8, 169.3, 150.4, 136.4, 136.0, 128.4, 121.7, 117.0, 75.5, 21.1, 21.0. HRMS (ESI) Calculated for $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{NaO}_4$ 257.0790 ($[\text{M}+\text{Na}]^+$), Found 257.0825. The Physical and spectral data were in agreement with Noro *et al.* (1988).

p-Coumaryl diacetate (**2**) pale yellow oil; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ 7.39 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 7.05 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 6.62 (d, $J = 16.1$ Hz, 1H), 6.22 (dt, $J = 15.9, 6.4$ Hz, 1H), 4.75 (dd, $J = 6.4, 1.3$ Hz, 2H), 2.30 (s, 3H), 2.10 (s, 3H). ^{13}C NMR (CDCl_3 , 100 MHz) δ 170.8, 169.4, 150.4, 134.0, 133.1, 127.6, 123.4, 121.7, 64.9, 21.1, 21.0. HRMS (ESI) Calculated for $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{NaO}_4$ 257.0790 ($[\text{M}+\text{Na}]^+$), Found 257.0796. (Noro *et al.*, 1988) The Physical and spectral data were in agreement with Noro *et al.* (1988).

1'S-1'-acetoxy-eugenol acetate (**3**) yellow liquid; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3) δ 7.01 (d, J = 8.5 Hz, 1H), 6.95-6.93 (m, 2H), 6.25 (d, J = 5.8 Hz, 1H), 5.99 (ddd, J = 17.2, 10.5, 5.8 Hz, 1H), 5.31 (dt, J = 17.2, 1.2 Hz, 1H), 5.26 (dt, J = 10.5, 1.3 Hz, 1H), 3.84 (s, 3H), 2.31 (s, 3H), 2.12 (s, 3H).

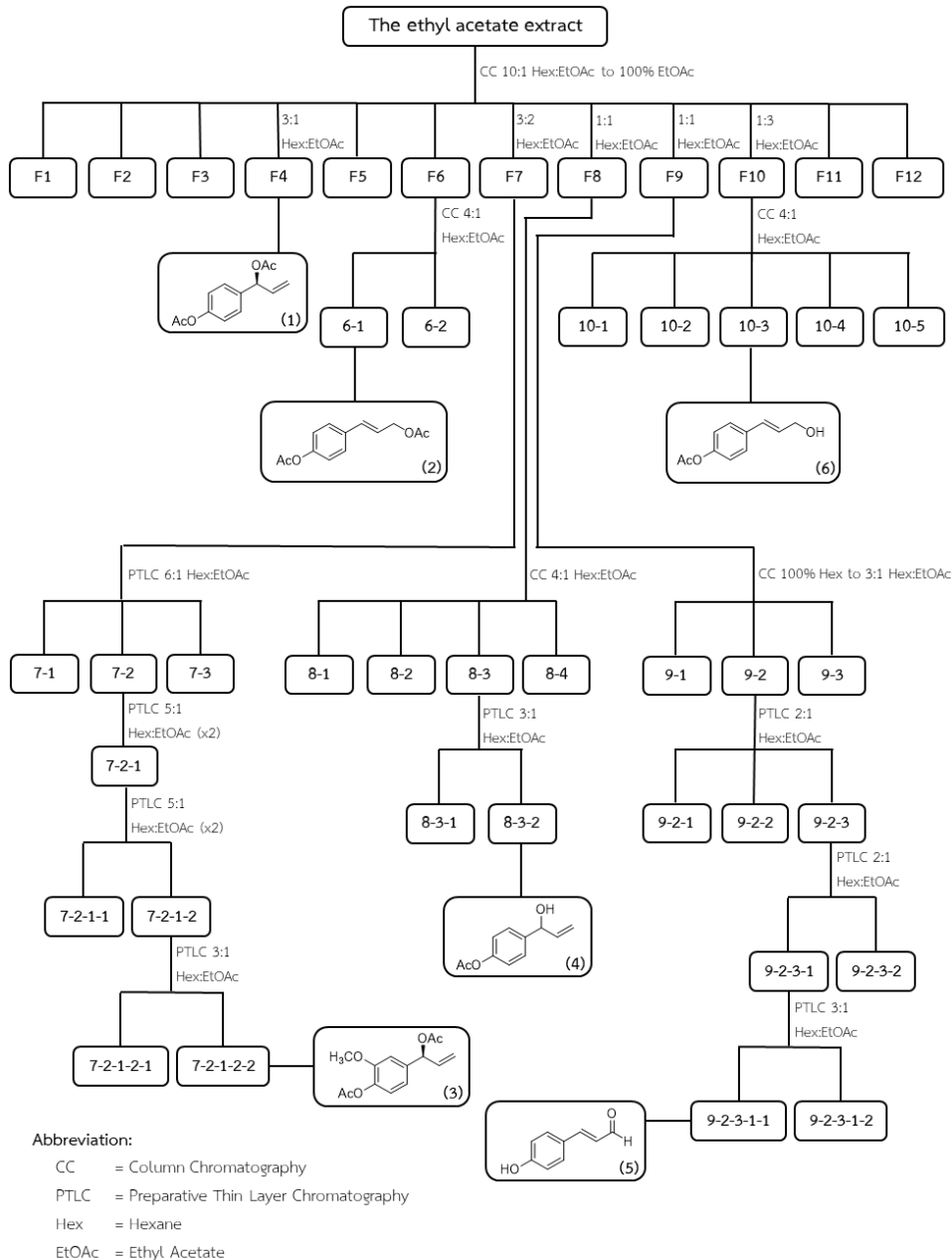


Figure 2 Schematic representation of the separation of active compounds using chromatographic technique

^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3) δ 170.04, 169.12, 151.21, 139.68, 137.81, 136.07, 122.92, 119.75, 117.17, 111.62, 75.83, 56.04, 21.38, 20.81. HRMS (ESI) Calculated for $\text{C}_{14}\text{H}_{16}\text{NaO}_6$ 287.0895 ($[\text{M}+\text{Na}]^+$), Found 287.0908. The Physical and spectral data were in agreement with Janssen & Scheffer (1985)

(S)-Hydroxychavicol acetate (**4**) yellow oil; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ 7.37 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H), 7.06 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 6.00 (ddd, $J = 17.1, 10.3, 6.1$ Hz, 1H), 5.33 (dt, $J = 17.1, 1.4$ Hz, 1H), 5.20-5.17 (m, 2H), 2.28 (s, 3H). ^{13}C NMR (CDCl_3 , 100 MHz) δ 169.6, 150.0, 140.2, 140.0, 127.5, 121.6, 115.4, 74.7, 21.1. HRMS (ESI) Calculated for $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{NaO}_3$ 215.0684 ($[\text{M}+\text{Na}]^+$), Found 215.0679. The Physical and spectral data were in agreement with Janssen & Scheffer (1985)

4-Hydroxycinnamaldehyde (**5**) yellow solid; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ 9.67 (d, $J = 7.8$ Hz, 1H), 7.51 (d, $J = 8.7$ Hz, 2H), 7.44 (d, $J = 15.8$ Hz, 1H), 6.92 (d, $J = 8.7$ Hz, 2H), 6.63 (dd, $J = 15.8, 7.8$ Hz, 1H). ^{13}C NMR (CDCl_3 , 100 MHz) δ 194.1, 158.8, 153.1, 130.8, 127.0, 126.6, 116.3. HRMS (ESI) Calculated for $\text{C}_9\text{H}_8\text{NaO}_2$ 171.0422 ($[\text{M}+\text{Na}]^+$), Found 171.0421. The Physical and spectral data were in agreement with Stange *et al.* (1999).

trans-p-Acetoxycinnamyl alcohol (**6**) pale yellow solid; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ 7.36 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 7.03 (d, $J = 8.6$ Hz, 2H), 6.57 (d, $J = 15.9$ Hz, 1H), 6.28 (dt, $J = 15.9, 5.7$ Hz, 1H), 4.29 (dd, $J = 5.7, 1.3$ Hz, 2H), 2.28 (s, 3H). ^{13}C NMR (CDCl_3 , 100 MHz) δ 169.6, 150.0, 134.4, 129.9, 128.7, 127.3, 121.6, 63.4, 21.0. HRMS (ESI) Calculated for $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{NaO}_3$ 215.0684 ($[\text{M}+\text{Na}]^+$), Found 215.0681. The Physical and spectral data were in agreement with Zhu *et al.* (2013).

3. Cytotoxic activity

All extracts and isolated compounds of *A. galanga* were evaluated for cytotoxicity against NCI-H187 small lung cancer cell line via Resazurin microplate assay (O'Brien *et al.*, 2000). Ellipticine and 0.5% DMSO were used as positive and negative controls, respectively.

The NCI-H187 cell line was cultured in RPMI-1640 supplemented with 15% non-thermal activated FBS, 1 mM sodium pyruvate, 2.5 g/L glucose and 2.2 g/L NaHCO_3 . The growth cell was harvested and diluted to 6.7×10^4 cells/mL in the complete medium before the test. The REMA testing was triplicate performed in 384-well plates. Each well contained 5 μL of sample and 45 μL of cell suspension. The plates were then incubated at 37°C for 5 days in a humidified incubator with 5% CO_2 . Then, 0.0625 mg/mL resazurin solution (12.5 μL) was added

to each well and further incubated at 37 °C for 4 hours. For determination of cytotoxicity, the fluorescence was measured at 530 nm excitation and 590 nm emission wavelength using the bottom reading mode and the noise of the signal was removed by a blank before calculation.

Percent cytotoxicity was calculated by the following equation, where FU_T and FU_C are mean fluorescent units from cells treated with the test compound and 0.5% DMSO, respectively.

$$\% \text{ Cytotoxicity} = [1 - (FU_T / FU_C)] \times 100$$

The sample was considered active if percent cytotoxicity was more than 50.

Results and discussion

From the assessment of cytotoxicity with biological approaches human small cell lung cancer (NCI-H187), column chromatography of EtOAc extract from *A. galanga* rhizomes has led to the isolation of six compounds such as 1'S-1'-acetocavical acetate (**1**), *p*-coumaryl diacetate (**2**), 1'S-1'-acetoxo-eugenol A acetate (**3**), (S)-hydroxycavicol acetate (**4**), 4-hydroxycinnamaldehyde (**5**) and *trans-p*-Acetoxycinnamyl Alcohol (**6**). The structures of the isolated compounds were shown by comparison of spectroscopic and physical data with literary value (Figure 3). The cytotoxic activities of *A. galanga* rhizome extracts and isolated compounds from EtOAc extract against the NCI-H187 are summarized in Table 2.

The results indicated that the cytotoxicity of *A. galanga* rhizome extracts against small cell lung cancer (NCI-H187) was excellent inhibition (>99%) at the concentrations, 50 µg/mL. In addition, the isolated compounds, compound (**1**) presented high activity with 99.69%, followed by compound (**3**) (99.49%), compound (**4**) (99.46%), compound (**2**) (99.41%) and compound (**5**) (98.84%). Compound (**6**) exhibited weak activity with 52.01% cytotoxicity. Then, the compound **1** and Ellipticine were determined their IC_{50} values. The results showed that the IC_{50} of compound **1** was 4.61 µM, 1.68-fold higher than ellipticine (IC_{50} 7.75 µM), the reference anticancer drug.

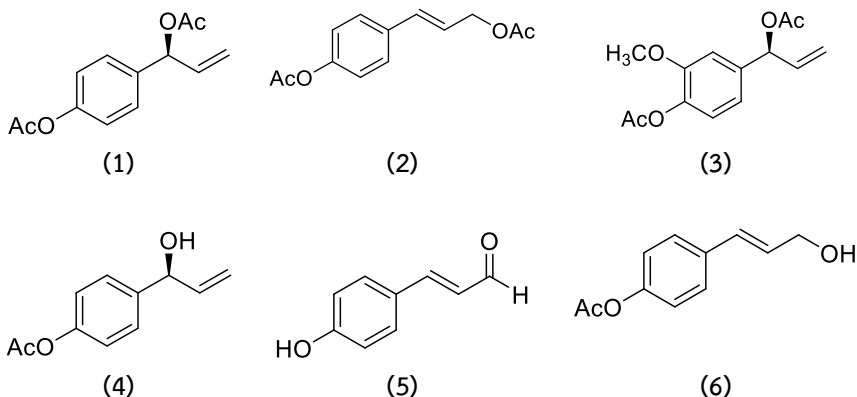


Figure 3 Structures of compound 1-6 isolated from EtOAc extract of *A. galanga* rhizomes

Table 2 Cytotoxicity of *A. galanga* rhizome extracts and isolated compounds against NCI-H187 small lung cancer cells

Crude extract / Compound	% Cytotoxicity ¹	IC ₅₀ (μM)
n-Hexane extract	99.15	-
EtOAc extract	99.27	-
EtOH extract	99.96	-
1'S-1'-acetocavical acetate (1)	99.69	4.61
<i>p</i> -coumaryl diacetate (2)	99.41	-
1'S-1'-acetoxy-eugenol A acetate (3)	99.49	-
(S)-hydroxycavicol acetate (4)	99.46	-
4-hydroxycinnamal- dehyde (5)	98.84	-
<i>trans-p</i> -Acetoxycinnamyl Alcohol (6)	52.01	-
Ellipticine	-	7.75

¹Final concentration 50 μg/mL

In comparing the activity of compounds (2) and (6), it can be suggested that the acetyl group of compound (2) should play an important role in its cytotoxicity, while the presence of free hydroxyl groups appears to reduce the cytotoxic effect of compound (6). Compound (1) should be selected as a potential lead molecule for the development of anticancer drug.

Conclusions

The purpose of this research was to study the cytotoxicity of the extracts and its isolated compounds of EtOAc extract from *A. galanga* rhizomes against NCI-H187 small cell lung cancer. The isolated compounds were 1'S-1'-acetocavical acetate (**1**), *p*-coumaryl diacetate (**2**), 1'S-1'-acetoxy-eugenol A acetate (**3**), (S)-hydroxycavicol acetate (**4**), 4-hydroxycinnamaldehyde (**5**) and *trans-p*-Acetoxycinnamyl Alcohol (**6**). The structures of all compounds were characterized by spectroscopic techniques and comparison with the literature. Compound (**1**) showed the highest cytotoxicity against NCI-H187 cells with 99.69% inhibition and IC₅₀ of 4.61 μ M, 1.68-fold higher than ellipticine.

Acknowledgements

Anchulee pengsook and colleagues thank to Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University for providing facilities, chemicals and equipment for this research. This work was supported by the Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation and the Kasetsart University Research and Development Institute (KURDI).

References

- Anirban, C., & Santanu, P. (2018). A Review on Phytochemical and Pharmacological Potential of *Alpinia galanga*. *Pharmacognosy Journal*, 10(1), 9-15.
- Datta, R., Kaur, A., Saraf, I., Singh, I. P., & Kaur, S. (2019). Effect of crude extracts and purified compounds of *Alpinia galangal* on nutritional physiology of a polyphagous lepidopteran pest, *Spodoptera litura* (Fabricus). *Ecotoxicology and environmental Safety*, 168, 324-329.
- Ghosh, B., Saha, K., Ghosh, A., & Dhar, S. (2008). Cardiovascular Evaluation in Patients with Systemic Lupus Erythematosus-a Cross Sectional Study. *Chronicles of Young Scientists*, 2(3), 139-143.

- Itokawa, H., Watanabe, K., Mihashi, S., & Itaka, Y. (1980). Isolation of Agarofuran-Type Sesquiterpenes from *Alpinia japonica* (Thunb.) Miq. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, 28(2), 681-682.
- Janssen, A.M., & Scheffer, J.J. (1985). Acetoxychavicol Acetate, an Antifungal Component of *Alpinia galanga*. **Planta Med**, 51(6), 507-511.
- Lo, C.Y., Liu, P.L., Lin, L.C., Chen, Y.T., Hseu Y.C., Wen Z.H., & Wang H.M. (2013). Antimelanoma and Antityrosinase from *Alpinia galangal* Constituents. **The Scientific World Journal**, 2013(3), 186505.
- Ma, X.N., Xie, C.L., Miao, Z., Yang, Q., & Yang X.W. (2017). An Overview of Chemical Constituents from *Alpinia* Species in the Last Six Decades. **RSC Advances**, 7(23), 14114-14144.
- Matsuda, H., Morikawa, T., Managi, H., & Yoshikawa, M. (2003). Antiallergic Principles from *Alpinia galanga*: Structural Requirements of Phenylpropanoids for Inhibition of Degranulation and Release of Tnf- α and Il-4 in Rbl-2h3 Cells. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, 13(19), 3197-3202.
- Morita, H., & Itokawa, H. (1988). Cytotoxic and Antifungal Diterpenes from the Seeds of *Alpinia galanga*. **Planta Med**, 54(02), 117-120.
- Morikawa, T., Ando, S., Matsuda, H., Kataoka, S., Muraoka, O., & Yoshikawa M. (2005). Inhibitors of Nitric Oxide Production from the Rhizomes of *Alpinia galanga*: Structures of New 8-9' Linked Neolignans and Sesqueneolignan. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, 53(6), 625-630.
- Niyomkam, P., Kaewbumrung, S., Kaewnpparat, S., & Panichayupakaranant, P. (2010). Antibacterial Activity of Thai Herbal Extracts on Acne Involved Microorganism. **Pharmaceutical Biology**. 48(4), 375-380.
- Noro, T., Sekiya, T., Katoh, M., Oda, Y., Miyase, T., Kuroyanagi, M., Ueno, A., & Fukushima, S. (1988). Inhibitors of Xanthine Oxidase from *Alpinia galanga*. **Chemical & Pharmaceutical Bulletin**, 36(1), 244-248.
- O'Brien, J., Wilson, I., Orton, T., & Pognan, F. (2000). Investigation of the Alamar Blue (resazurin) fluorescent dye for the assessment of mammalian cell cytotoxicity. **Eur. J. Biochem**, 267(17), 5421-5426.

- Sivasothy, Y., Ibrahim, H., Paliany, A.S., Alias, S.A., Md Nor, N.R., & Awang, K. (2013). A New Bis-Labdanic Diterpene from the Rhizomes of *Alpinia pahangensis*. **Planta Med**, 79(18), 1775-1780.
- Stange, R.R.Jr., Sims, J.J., Midland, S.L., & McDonald, R.E. (1999). Isolation of a Phytoalexin, *trans-p*-Coumaryl Aldehyde, from *Cucurbita maxima*, Cucurbitaceae. **Phytochemistry**, 52(1), 41-43.
- Wong, L.F., Lim, Y.Y., & Omar, M. (2009). Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some *Alpinia* Species. **Journal of Food Biochemistry**, 33(6), 835-851.
- Xu, J.J., Zeng G.Z., Yang S.C., Shen Y., & Tan N.H. (2013). 8-9' Linked Neolignans with Cytotoxicity from *Alpinia conchigera*. **Fitoterapia**, 91, 82-86.
- Ye, Y., & Li, B. (2006). 1'S-1'-Acetoxychavicol Acetate Isolated from *Alpinia galanga* Inhibits Human Immunodeficiency Virus Type 1 Replication by Blocking Rev Transport. **Journal of General Virology**, 87(7), 2047-2053.
- Zeng, Q.H., Lu, C.L., Zhang, X.W., & Jiang, J.G. (2015). Isolation and Identification of Ingredients Inducing Cancer Cell Death from the Seeds of *Alpinia galanga*, a Chinese Spice. **Food & Function**, 6(2), 431-443.
- Zhu, Y., Regner, M., Lu, F., Kim, H., Mohammadi, A., Pearson, T.J., & Ralph, J. (2013). Preparation of Monolignol Ψ -Acetate, Ψ -*p*-Hydroxycinnamate, and Ψ -*p*-Hydroxybenzoate Conjugates: Selective Deacylation of Phenolic Acetates with Hydrazine Acetate. **RSC Advances**, 3(44), 21964-21971.

[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 รุรกิจการพิมพ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี อีเมล :

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล :

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

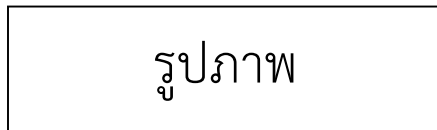
ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร

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



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 แล้วต่อกับเอกสารภาษาต่างประเทศ]..... (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 พร้อมทั้งข้าพเจ้าได้ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ บทความภาษาไทย จำนวน 4,500 บาท บทความภาษาอังกฤษ จำนวน 6,000 บาท เรียบร้อยแล้ว

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

ลงชื่อ.....ผู้นำส่งบทความวิจัย
(.....)

วันที่/...../.....

คำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. **การเตรียมต้นฉบับ** ต้นฉบับบทความวิจัยต้องจัดทำสำหรับกระดาษขนาด B5(JIS) (18.2 ซม. X 25.7 ซม.) ความยาว 15 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word เวอร์ชัน 2007 ขึ้นไป
2. **การตั้งค่าหน้ากระดาษ** ระยะขอบกระดาษด้านบน (Top Margin) 2.54 เซนติเมตร ด้านซ้าย (Left Margin) ด้านขวา (Right Margin) และด้านล่าง (Bottom Margin) 2 เซนติเมตร
3. **รูปแบบตัวอักษร** ใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น ชื่อหัวข้อพิมพ์เป็นตัวหนา ขนาด 14 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ และเนื้อหาพิมพ์เป็นตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
4. **องค์ประกอบบทความวิจัยประกอบด้วย**
 - 4.1 **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด สามารถอธิบายสาระของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4.2 **ชื่อผู้นิพนธ์บทความ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ 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 โดยใช้สำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
 - 4.5 **คำสำคัญ(Keyword)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่ใต้บทคัดย่อ(Abstract) คำสำคัญภาษาไทย จำนวน 3 – 5 คำเรียงตามลำดับอักษรระหว่างคำวรรค 2 วรรค ส่วน Keyword หรือคำสำคัญภาษาอังกฤษให้เรียงตามคำสำคัญภาษาไทยคั่นระหว่างคำด้วยจุลภาค (,)
 - 4.6 **เนื้อหาของบทความวิจัย** ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้
 - 4.6.1 **บทนำ** เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย
 - 4.6.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย
 - 4.6.3 **วิธีดำเนินการวิจัย** ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
 - 4.6.4 **ผลการวิจัยและอภิปรายผล** เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ 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 (,) และชื่อย่อตามด้วย มหัพภาค (.)
- 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 การอ้างอิง – อ้างโดย(ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
- 4.7.10 ไม่อ้างอิงโดยใช้คำว่า “และคณะ” หรือ “และคนอื่นๆ” หรือ et al. ยกเว้นกรณีอ้างอิงในเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่สามคนขึ้นไปและหลังจากได้มีการอ้างอิงครั้งแรกไว้ก่อนหน้านั้นแล้ว หรือการอ้างอิงที่มีผู้แต่งตั้งแต่หกคนขึ้นไป
- 4.7.11 การอ้างอิงจากวารสารและนิตยสารให้ระบุหน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย โดยไม่ใช่คำย่อ “p.” หรือ “pp.” นอกจากหนังสือ
- 4.7.12 การติดต่อส่วนตัวโดยสื่อใดๆ ก็ตาม สามารถอ้างอิงได้ในเนื้อเรื่อง แต่ต้องไม่มีการระบุไว้ในรายการเอกสารอ้างอิง เพราะผู้อื่นไม่สามารถติดตามข้อมูลเหล่านี้ได้
- 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

1. หนังสือหรือตำรา
- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี). //เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
ตัวอย่างเช่น ไพรซ์ รัชยพงษ์, และกฤษณะ ช่างกล่อม. (2541). **งานพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศแห่งชาติเพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา.
- Mitchell, T. R., & Larson, J. R., Jr. (1987). **People in organizations: An introduction to organizational behavior** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
2. หนังสือหรือตำราที่มีบรรณาธิการ
- รูปแบบ: ชื่อบรรณาธิการ(ผู้รวบรวม).//ปีที่พิมพ์.//ชื่อหนังสือ.//เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่างเช่น อุดลย์ 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.
3. วิทยานิพนธ์
- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อวิทยานิพนธ์.//ระดับวิทยานิพนธ์./มหาวิทยาลัย.
ตัวอย่างเช่น พรพิมล เฉลิมพลาคุณภาพ. (2535). **พฤติกรรมกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์มหาบัณฑิต 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.
4. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ
- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม./วัน เดือน ปี สถานที่จัด.
เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.
ตัวอย่างเช่น กรมวิชาการ. 2538. **การจัดกิจกรรมส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน**. การประชุมปฏิบัติการรณรงค์เพื่อส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน, 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.
5. พจนานุกรม
- ตัวอย่างเช่น พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. (2546). กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชัน.
Shorter Oxford English dictionary (5 th ed.). (2002). New York: Oxford University Press.

6. วารสาร/นิตยสาร

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีตีพิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อวารสารหรือนิตยสาร./ปีที่ (ฉบับที่)/หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
ตัวอย่างเช่น ชำนิ กิ่งแก้ว, และอุษา คณเณ. (2551). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลด
ความสูญเสียในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์. **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.//ปีตีพิมพ์, เดือน, วันที่.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อหนังสือพิมพ์./หน้าที่นำมาอ้างอิง.
ตัวอย่างเช่น สายใจ ดวงมาลี. (2548, มิถุนายน 7) มาลาเรียลาม3จว.ใต้ตอนบน 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.//ปีตีพิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//สืบค้นจาก//URL
ตัวอย่างเช่น สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ กระทรวงวัฒนธรรม. (2545). **ประเพณีใส่
กระจาดชาวไทยพวนสอนให้รู้จักแบ่งปัน มีน้ำใจ**. สืบค้นจาก
[http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.
php?highlight_id=114&lang=th](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](http://www.bradley.edu/psiphi/DS9/ep/503r.html)

5. **การส่งต้นฉบับ** ผู้มีพันธะต้องส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและ
ส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในรูปแบบ Word Document (.docx) และ
PDF File (.pdf) พร้อมแบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์และสำเนาหลักฐานการชำระเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index> บทความวิจัยที่ปฏิบัติ
ตามคำแนะนำจะได้รับพิจารณาดำเนินการโดยทันที

6. การประเมินบทความวิจัย และลิขสิทธิ์ในการตีพิมพ์เผยแพร่

- 6.1 **การอ่านประเมินต้นฉบับ** บทความวิจัยต้นฉบับที่ส่งเข้ามาเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะได้รับการอ่านประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ อย่างน้อย
จำนวน 2 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้มีพันธะความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการ
ประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้มีพันธะความจะได้รับหนังสือแจ้ง
พิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

- 6.2 **ลิขสิทธิ์บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรม
ราชูปถัมภ์** ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำ
ข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร

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

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 แหล่งที่มา
 ของข้อมูล 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 ที่ชัดเจนและมี
 คำบรรยายใต้รูป กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

สรุป (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
 เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้าง
 ทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้าน
 ทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์.....
 (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)
 (เว้น 14 point)

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 แล้วต่อกับเอกสาร
 ภาษาต่างประเทศ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจ่าย)

2 ซม.

ขั้นตอนการตีพิมพ์บทความวิจัย

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

