ส่งเสริม เผยแพร่ และแลกเปลี่ยนความรู้ด้านการวิจัย
ระหว่าง คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
1 หมู่ 20 กม.48 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180
โทรศัพท์ : 0-2909-3036 โทรสาร : 0-2909-3036
http://rd.vru.ac.th

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ISSN 2351-0366 ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2564

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal Science and Technology
ISSN 2351-0366
ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2564)
Volume 16 Number 1 (January - April 2021)

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ISSN: 2351-0366(Print)
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน 2564)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีสารสนเทศ สู่นักวิจัย นักวิชาการและผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย เพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้านหรือชุมชน แก่นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไปได้เสนองานผลงานวิจัยสู่สาธารณะ
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีสารสนเทศ รวมไปถึงประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน

เจ้าของ
สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

กำหนดออกเผยแพร่
ปีละ 3 ฉบับ
ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)
ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)
ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่
กองบรรณาธิการวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2909 3036
E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th
Website: http://rd.vru.ac.th

โรงพิมพ์
ศูนย์เรียนรู้การผลิตและจัดการธุรกิจสิ่งพิมพ์ดิจิตอล
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2529 0674 7, 0 2909 1633
Website: www.vru.ac.th

จำนวน 40 เล่ม

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 2 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกเผยแพร่ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน) ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม) ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม) สำหรับนักวิจัยที่มีความประสงค์จะส่งต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ สามารถส่งบทความวิจัยดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการได้โดยตรง ทั้งนี้บทความวิจัยที่เสนอขอตีพิมพ์จะต้องไม่เคยหรือได้อยู่ในระหว่างขอเสนอลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวจะต้องได้รับการอ่านและประเมินคุณภาพพร้อมได้รับความเห็นชอบให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ของวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างน้อย 2 ท่านก่อนลงตีพิมพ์ บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรหรือมีการอ้างอิงอย่างถูกต้องชัดเจน โดยเนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ เป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์บทความวิจัยเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ปัจจุบันวารสารวิจัยและพัฒนาฯ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน 2564) ฉบับนี้ได้รวบรวมบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 11 เรื่อง เผยแพร่ผ่าน 3 ช่องทางได้แก่ การจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มวารสาร การเผยแพร่ออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ http://rd.vru.ac.th และเว็บไซต์ https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาฯ อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ
ประจำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 16 ฉบับที่ 1

สารบัญ

	หน้า
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ จรรยา โท๊ะนาบุตร	1
การใช้ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์เป็นสารเสริมในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ ศรีน้อย ชุ่มคำ อรพินท์ จินตสถาพร	17
การออกแบบสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล 2.4GHz สำหรับการประยุกต์ใช้การส่งกำลังงานไร้สาย โยษิตา เจริญศิริ ชุมพล ปทุมมาเกษร เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์	33
เปรียบเทียบการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. ปัทมาวดี คุณวัลลี เทวี มณีรัตน์	47
การวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19 ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กนกมน รุจิรกุล ไกรศรี เต้นปักษี รัตนา รุจิรกุล	57
การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษา รัตยากร ไทยพันธ์ วลัยภรณ์ ศรเกลี้ยง ชวัลรัตน์ ศรีนวลปาน วีระยุทธ สุดสมบูรณ์ ฉัตรชัย แก้วดี ธิดารัตน์ ทองเทียบ	71
ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล กฤษณะ จันทสิทธิ์	87
การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อยในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์ จิรวัฒน์ วิมุตติสุขวิริยา	103
การพัฒนาเครื่องพริกแกงหม่าล่าสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น อิสรา ปวกพรมมา ธนพัชร์ ฐิติวัชรธนากุล ปัณณวิชญ์ ภัทรวิไชยวงค์ มนัญญา คำวชิระพิทักษ์	119
เทคนิคคณิตศาสตร์สำหรับการประมาณค่าปริมาตรของหยดน้ำบนผิวไม่ชอบน้ำ ธีรนันท์ นงค์นวล สินีนาฏ ศรีมงคล	129
การศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อกระบวนการเพิ่มเฉดสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากขมิ้น ปทิตตาท์ วงศ์แสงเทียน	137

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

จรรยา โท๊ะนาบุตร[1*]

Received : September 16, 2020
Revised : January 16, 2021
Accepted : February 22, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรตำรับที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัส และศึกษาผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด และศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์โสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอ พบว่า สูตรตำรับที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัส คือสูตรตำรับที่ 3 ซึ่งได้รับคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ได้คะแนนเฉลี่ย 7.50, 7.70, 7.60, 7.80, 7.70 และ 7.80 ตามลำดับ โดยมีส่วนผสมของไข่ขาว 35.5% มะพร้าวขูดขาวคั่ว 30.54% น้ำตาลทราย 30.48% น้ำมะนาว 1.68% และผงโกโก้ 1.80% จึงนำสูตรตำรับที่ 3 มาศึกษาปริมาณเสริมใยเปลือกส้มโอที่เหมาะสม พบว่าการเสริมใยเปลือกส้มโอร้อยละ 5 ได้รับคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ได้คะแนนเฉลี่ย 7.33, 6.23, 6.45, 6.93, 6.93 และ 7.47 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา พบว่า ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอร้อยละ 5 มีค่าสี L* a* b* เท่ากับ 66.29, 9.39 และ 13.62 ด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.03 ซึ่งมีความชื้นน้อยกว่าขนมโสมนัสสูตรต้นตำรับ มีปริมาณไขมันที่น้อยกว่า คือ ร้อยละ 27.91 และการเสริมเปลือกส้มโอส่งผลให้มีปริมาณใยอาหารในขนมโสมนัสเพิ่มขึ้นคือร้อยละ 6.80 เถ้าเพิ่มขึ้นคือร้อยละ 0.83 โปรตีนเพิ่มขึ้นคือร้อยละ 3.90 การเสริมใยเปลือกส้มโอไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา

คำสำคัญ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ ขนมโสมนัส ใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

[1] อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ลำปาง จังหวัดลำปาง อีเมล: Janya_tho@dusit.ac.th
**ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Janya_tho@dusit.ac.th*

DEVELOPMENT OF KHANOM SOMMANAT SUPPLEMENTED WITH POMELO ALBEDO FIBERS

Janya Thonabut[1*]

Abstract

The purposes of this study were to study the appropriate recipes of Khanom Sommanat, to evaluate the results of supplementing the products with 0, 1, 3 and 5 percent of pomelo albedo fibers calculated from the total weight of the mixture and to examine the physical, chemical and biological properties of the products. It was found that the appropriate recipe was the 3rd recipe, with the highest average scores of the appearances, colors, smells, tastes, textures and overall preference of 7.50, 7.70, 7.60, 7.80, 7.70 and 7.8 respectively. The ingredients were egg white (35.5%), grated and roasted coconut (30.54%), sugar (30.48%), lemonade (1.68%) and cocoa powder (1.80%). The appropriate amounts of the pomelo albedo fibers for the 3rd recipe were studied. It was found that the supplement of the pomelo albedo fibers (5%) had the average scores of the appearances, colors, smells, tastes, textures and overall preference of 7.33, 6.23, 6.45, 6.93 ,6.93 and 7.47 respectively. By analyzing the physical, chemical and biological properties, it was found that Khanom Sommamat supplemented with the pomelo albedo fibers (5%) had the L* a* b* values of 66.29, 9.39 and 13.62. Regarding the chemical properties, the moisture was measured at 6.03 percent which was lower than that of the original recipe. The fat content measured at was 27.91 which was lower than that of the original recipe. The supplement increased the fiber content of Khanom Sommanat for 6.80 percent, ash for 0.83 percent and protein for 3.90 percent. The supplement did not affect the total amount of microbes, yeasts, and funguses.

Keywords: Product Development, Khanom Sommanat, Pomelo Albedo Fiber

[1] *Lecturer, Culinary Technology and Service Program, Suan Dusit University Lampang Center, Lampang, e-mail: Janya_tho@dusit.ac.th*

**Corresponding author, e-mail: Janya_tho@dusit.ac.th*

บทนำ

ขนมโสมนัสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไข่ขาวที่เหลือใช้มาทำการตีให้ขึ้นฟู ใส่น้ำตาลทรายลงในไข่ขาว ตีจนตั้งยอด ใส่น้ำมะนาวตีให้เข้ากันดี ตามด้วยมะพร้าวขูดคั่วจนเหลืองตะล่อมให้เข้ากันดี ตักหยอดลงบนถาดที่ทาไขมัน นำเข้าอบอุณหภูมิ 350 องศาฟาเรนไฮต์จนสุกเหลือง ซึ่งลักษณะที่ดีของขนมโสมนัส จะมีลักษณะกรอบเบา และมีกลิ่นหอมของมะพร้าว (ศรีสมร คงพันธุ์, 2553) โดยขนมโสมนัสได้เข้ามาในรัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราชจาก “ท้าวทองกีบม้า” ท่านได้นำขนมทองหยิบทองหยอดและฝอยทองมาเผยแพร่ ซึ่งขนมกลุ่มนี้ต้องใช้ไข่แดงเป็นส่วนผสมหลักส่วนไข่ขาวที่เหลืออยู่จึงมีการดัดแปลงมาทำเป็นขนมโสมนัส โดยจากปัจจุบันพฤติกรรมการบริโภคของคนในปัจจุบันมีการบริโภคอาหารที่มีกากใยน้อยลง ส่งผลให้กากอาหารค้างอยู่ในลำไส้ใหญ่และเน่าเปื่อย กลายเป็นที่เพาะเชื้อแบคทีเรียซึ่งสามารถสร้างพิษและส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคต่าง ๆ เพิ่มขึ้น อาทิ โรคระบบทางเดินอาหารผิดปกติ โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น ดังนั้น แม้ว่าเส้นใยจะไม่ถูกจัดเป็นสารอาหาร เพราะไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเหมือนโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเกลือแร่ แต่ก็ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่ร่างกายต้องได้รับจากการบริโภคอาหารแต่ละมื้อ เพื่อช่วยให้อวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ เส้นใยอาหารต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์จึงไม่ให้พลังงาน แต่ช่วยส่งเสริมให้ร่างกายมีสุขภาพดี เนื่องจากเส้นใยอาหารสามารถจับกับคอเลสเตอรอล และไขมัน ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคท้องผูก และเป็นอาหารของแบคทีเรียในลำไส้ ทำให้ระบบการขับถ่ายดีขึ้น (อาภัสรา แสงนาค, 2560) เปลือกสมโอเปนวัตถุดิบเหลือใช้ การบริโภคสมโอจะบริโภคเฉพาะเนื้อ ขณะที่เปลือกซึ่ง เปนสวนที่ไมนิยมบริโภคและมีปริมาณคอนข้างมากจะถูกทิ้งไป เปลือกในสมโอเปนแหลงของเสนใยอาหาร เนื่องจากมีรายงานการวิจัยพบวามีเสนใยอาหารทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 87.99 โดยเปนเสนใยอาหารที่ละลายน้ำและเสนใยอาหารที่ไมละลายน้ำ ร้อยละ 31.06 และ 56.93 โดยน้ำหนักแหง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีคาความสามารถในการอุมน้ำและอุมน้ำมันสูงคือ 18.37 กรัม ตามลำดับ (อภิรักษ์ เพียรมงคล, 2549) ทั้งนี้เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์และลิกนินจากพืชซึ่งต้านการย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ โดยที่พอลิแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยมอโนแซ็กคาไรด์ที่เป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกที่เป็นสายยาวตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไป (อาภัสรา แสงนาค, 2560) ในทางอุตสาหกรรมอาหารสามารถนำเปลือกส้มโอมาใช้ประโยชน์ในด้านอาหารเพื่อให้เกิดประโยชน์เพิ่มขึ้น เพราะเปลือกส้มโอมีปริมาณใยอาหารมากและยังพบว่าสารสำคัญส่วนใหญ่ที่พบในเปลือกทั้งส่วนสีเขียวและส่วนสีขาวเป็นสารกลุ่มของน้ำมันหอมระเหย และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เช่น Naringenin, Naringin, Hesperetin, Hesperidin, Apigenin, Poncirinและ Eriocitin เป็นต้น

เส้นใยอาหารมีสมบัติเชิงหน้าที่ซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์เป็นอย่างมากเพราะสามารถป้องกันและลดภาวะเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากโภชนาการได้ แต่ปัจจุบันด้วยสภาพสังคมและวัฒนธรรมการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ผู้บริโภคได้รับเส้นใยอาหารน้อยกว่าปริมาณที่แนะนำต่อวัน ดังนั้นการเสริมใยอาหารในขนมโสมนัสจากเปลือกส้มโอนั้น มีส่วนช่วยทำให้ผู้บริโภคได้รับเส้นใยอาหารในปริมาณที่เพียงพอ อีกทั้งการนำเปลือกส้มโอมาเป็นส่วนผสมในขนมโสมนัสยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสในด้านสุขภาพช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้มีมากขึ้น โดยเฉพาะใยอาหาร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสูตรตำรับที่เหมาะสม สำหรับในการทำผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัส
2. เพื่อศึกษาการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัส
3. เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสูตรตำรับที่เหมาะสมในการผลิตขนมโสมนัส

สูตรและวิธีการผลิตขนมโสมนัสที่ใช้ 3 สูตร (ตารางที่ 1 สูตรการผลิตขนมโสมนัส) จาก เสาวภรณ์ วังวรรธนะ (2537) ตำรับที่ 1 อุ่นเตาอบทิ้งไว้ 120 องศาเซลเซียส ตีไข่ขาวด้วยเครื่องตีไฟฟ้า ใส่น้ำตาลทราย เกลือ น้ำมะนาว ตีต่อจนไข่ขาวตั้งยอดปิดเครื่อง ใส่มะพร้าวคั่ว ผงโกโก้ ผสมด้วยตะกร้อมือหรือพายยาง ตั้งส่วนผสมด้วยช้อนสองคันจนเป็นก้อนกลมแล้วหยอดในถาดที่ทาเนยขาว นำเข้าเตาอบ อบนานประมาณ 50-60 นาที ยกถาดออกจากเตาแซะขนมออกทิ้งไว้ให้เย็น เก็บไว้ในกล่องมีฝาปิด จาก ศรราม ดีรอด (2561) ตำรับที่ 2 ตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูค่อย ๆ ใส่น้ำตาลที่ละน้อยจนหมด ระหว่างใส่น้ำตาลตีไข่ไปเรื่อย ๆ จนตั้งยอดใส่น้ำมะนาว ใส่มะพร้าวที่คั่วแล้วเคล้าให้เข้ากัน ใส่ผงโกโก้ ผสมให้เข้ากัน ใช้ช้อนชาตักหยอดในถาดที่ทาน้ำมันแล้ว นำเข้าอบ 350 องศาฟาเรนไฮต์ พอสุกดีนำออกจากเตา วางบนตะแกรงให้เย็น จาก เยาวภา ขวัญดุษฎี (2554) ตำรับที่ 3 นำไข่ขาวกับน้ำตาลมาตีให้ขึ้นฟู นำมะพร้าวขูดมาคั่วให้เหลืองหอม นำมะพร้าวคั่ว ผงโกโก้ใส่ลงในไข่ขาวที่ตีจนฟูคนเบา ๆ ให้เข้ากันใส่น้ำมะนาว นำถาดอบมาทาน้ำมันบาง ๆ ให้ทั่ว นำขนมมาหยอดจนเต็ม นำเข้าอบ 350 องศาฟาเรนไฮต์ จนเหลืองหอม สุกแล้วแซะออกจากถาดพักไว้ให้เย็น

ตารางที่ 1 แสดงสูตรต้นตำรับของขนมโสมนัส

ส่วนผสม	สูตรที่ 1 (ร้อยละ)	สูตรที่ 2 (ร้อยละ)	สูตรที่ 3 (ร้อยละ)
ไข่ขาว	18.46	29.54	35.50
น้ำตาลทราย	36.92	48.00	30.48
มะพร้าวขูดขาวคั่ว	40.00	19.20	30.54
น้ำมะนาว	0.61	1.50	1.68
ผงโกโก้	1.53	1.73	1.80
เกลือ	1.23	-	-

นำขนมโสมนัสที่ผลิตได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point hedonic scale (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2561) โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 คะแนน (1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ทดสอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ตามลำดับ

2. ศึกษาการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัส

กระบวนการเตรียมใยอาหารจากเปลือกส้มโอจาก วันเพ็ญ แสงทองพินิจ (2551) เริ่มจากปอกเปลือกส่วนสีเขียวออกให้เหลือแต่เปลือกส่วนที่เป็นสีขาวเปลือกดิบ นำเปลือกส้มโอส่วนสีขาว หั่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 1×1×1 เซนติเมตร นำเปลือกดิบต้มในน้ำเดือด นาน 6 ชั่วโมง กรองให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปบีบน้ำออก

นำเปลือกที่ต้มมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 10-20 นาทีด้วยตู้อบลมร้อน จนกระทั่งแห้ง นำมาปั่นละเอียดในเครื่องปั่น หลังจากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช บรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตปิดผนึกโดยใช้ความร้อน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในการผลิตขนมโสมนัสโดยแปรปริมาณการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในปริมาณร้อยละ 0, 1 ,3 และ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด ในการทดลองนี้ได้สูตรตำรับที่ 3 จาก เยาวภา ขวัญดุษฎี (2554) มีส่วนผสมดังนี้ ไข่ขาว 35.50% มะพร้าวขูดขาวคั่ว 30.54% น้ำตาลทราย 30.48% น้ำมะนาว 1.8% และผงโกโก้ 1.68% กระบวนการผลิตโดยนำไข่ขาวกับน้ำตาลมาตีให้ขึ้นฟู นำมะพร้าวขูดมาคั่วให้เหลืองหอม จากนั้นนำมะพร้าวคั่ว ผงโกโก้ใส่ลงในไข่ขาวที่ตีจนฟูคนเบาๆให้เข้ากันใส่น้ำมะนาว นำถาดอบมาทาน้ำมันบาง ๆ ให้ทั่ว นำขนมมาหยอดจนเต็ม อบจนเหลืองหอม สุกแล้วแซะออกจากถาดพักไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point hedonic scale (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2561) โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 คะแนน (1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด ใช้บุคคลทั่วไปเป็นผู้ทดสอบจำนวน 50 คน การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้คำนึงถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบชิมเป็นผู้ที่มีสุขภาพดีทั้งเพศหญิงและเพศชาย เป็นผู้ที่ไม่มีประวัติแพ้อาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง ผู้ทดสอบชิมทดสอบผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้ทีละสูตร โดยผู้ทดสอบชิมไม่ทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เป็นสูตรใด จากนั้นจึงทำการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ลงในแบบสอบถามที่เตรียมไว้ ในระหว่างที่ชิม ผู้ทดสอบชิมได้รับมอบหมายให้กลั้วปากด้วยน้ำเปล่าก่อนทำการชิมผลิตภัณฑ์ในสูตรต่อไปทุกครั้ง ทดสอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ ความชอบโดยรวม คัดเลือกขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาเพื่อใช้ในการศึกษาตอนต่อไป

3. ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอ

โดยคัดเลือกขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

3.1 คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ คือ สีของขนมโสมนัสเสริมใยอาหาร โดยเครื่องวัดสี ระบบ CIE L a* b*เป็นการวัดค่าสีของตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดสี Color Quest II Sphere (Chroma Meter CR 300 Series, Japan) วัดค่าสีด้วยระบบ CIE L *a** *b** มีรายละเอียดดังนี้

ค่า L คือ Lightness เป็นค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

ค่า *a** คือ Redness/Greenness เป็นค่าแสดงถึงความเป็นสีแดงหรือสีเขียวของวัตถุ

ค่า *b** คือ Yellowness/Blueness เป็นค่าแสดงถึงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของวัตถุ

3.2 คุณภาพทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน ใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (2000)

3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)

อบกระป๋องหาความชื้นพร้อมฝา ที่ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W_1) ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (2-3 กรัม) ใส่ลงในกระป๋องอบความชื้นที่อบเรียบร้อยแล้ว และชั่งน้ำหนัก (W_2) นำกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาโดยเปิดฝาออกไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนำกระป๋องอบความชื้นออกจาก

ตู้อบสุญญากาศ โดยปิดฝาทันที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนนำไปอบต่ออีกจนได้น้ำหนักที่คงที่ (น้ำหนักที่คงที่หมายถึง ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม) (W_3)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_2 - W_1)} \times 100$$

3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

เป็นการสกัดไขมันอิสระจากตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดน้ำหรือความชื้นแล้วด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยอบขวดกลมสำหรับหาปริมาณไขมันซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบลมร้อน ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม (W1) ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว ประมาณ 1-2 กรัม (W2) ห่อให้เรียบร้อยแล้วนำไปใส่ลงในทิมเบอร์สำหรับใส่ตัวอย่าง ปิดด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอนำทิมเบอร์ใส่ลงในชุดกลั่นซอคเลต เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดก้นกลม ประมาณ 150 มิลลิลิตร เปิดเครื่องทำน้ำหล่อเย็นก่อนทำการสกัดประมาณ 30 นาที ตั้งอุณหภูมิ 10 °C เปิดเตาหลุมให้ความร้อนตั้งระดับความร้อนที่ระดับ 4-5 ทำการสกัดไขมัน เป็นเวลา 14 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาให้ปิดเตาหลุมให้ความร้อน นำตัวอย่างออกจากชุดกลั่นซอคเลต และกลั่นปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ออกจากตัวอย่างไขมันด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศนำขวดก้นกลมที่มีตัวอย่างไขมัน ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80-90° C เป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นนำออกจากตู้อบลมร้อนไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม (W3) คำนวณหาปริมาณไขมัน จากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \left(\frac{W3 - W1}{W2}\right) x\,100$$

3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมด (AOAC, 2000)

เป็นการหาปริมาณสารที่เหลือจากการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 525 – 550 °C ในเตาเผาไฟฟ้า โดยเผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525 – 550 °C (เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้เผาตัวอย่าง) นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถที่มีตัวดูดซับความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_1) และใส่ตัวอย่าง (ที่ผ่านการกำจัดความชื้นและไขมันแล้ว) ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ชั่งให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2-3 g (W_2) นำไปเผาให้หมดควันดำบนเตาไฟฟ้า (ระดับไฟปานกลาง) (ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวให้นำตัวอย่างไประเหยแห้งบน water bath ก่อนนำไปเผาบนเตาไฟฟ้า)นำไปเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525 – 550 °C จนได้เถ้าสีขาว ทำให้เย็นในโถที่มีตัวดูดซับความชื้น (ถ้าเถ้าที่ได้ไม่ขาวให้นำเถ้าออกจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วหยดน้ำเล็กน้อยพอเปียกชุ่ม ระวังอย่าให้เถ้าฟุ้งหรือกระเด็น นำไประเหยให้แห้งบน Water bath จากนั้นทำซ้ำจนเถ้าเป็นสีขาว) และได้น้ำหนักที่ได้ (W_3)

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_2 - W_1)} \times 100$$

3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (AOAC, 2000)

เป็นการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่างภายใต้สภาวะที่กำหนด และนำส่วนที่เหลือจากการย่อยไปอบและเผา จากนั้นคำนวณหาส่วนที่หายไปหลังจากการเผาก่อนใช้งานให้เปิดเครื่อง Cooling Bathกดปุ่ม Power และ Compressor พร้อมตั้งอุณหภูมิของน้ำ ปกติตั้งอุณหภูมิที่ 15°C รอให้

อุณหภูมิของน้ำลดลงตามที่ต้องการ หรือประมาณ 20-30 นาทีกดปุ่ม Pump เพื่อให้น้ำหล่อเย็นเข้าสู่ระบบ Condenser ของเครื่อง Fiber extractorsนำ Crucible ที่มีตัวอย่างใส่เครื่อง Fiber extractors ตรวจเช็ค Crucible ให้ตรงช่องว่างกรณีตัวอย่างไม่ครบ 6 ตัวอย่างให้วางตัวอย่างในตำแหน่งที่สมดุลกัน แล้วกดเครื่องลงจนสุด เพื่อให้ Crucible เชื่อมต่อกับ Condenser ตรวจเช็คตำแหน่งสวิตซ์หมุนสีดำให้อยู่ตำแหน่ง Close ทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรด โดยค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริก 1.25% ปริมาณ 150 มิลลิลิตร/ตัวอย่าง ปิดฝาบนเครื่อง เปิดเครื่อง ตั้งอุณหภูมิใช้ความร้อนที่ระดับ 7-8 ระวังอย่าให้ตัวอย่างเดือดมากเกินไป เมื่อตัวอย่างเริ่มเดือดให้ตั้งเวลาที่ 30 นาที โดยกดปุ่ม Timeเมื่อครบเวลาเครื่องจะมีเสียงเตือนให้หมุนสวิตซ์ Heating ไปที่ Off เริ่มกรองตัวอย่างโดยกดปุ่ม Vacuum บริเวณข้างเครื่อง และหมุนสวิตซ์สีดำไปอยู่ตำแหน่ง Vacuum (กรณีตัวอย่างกรองยากให้กดปุ่ม Pressure บริเวณข้างเครื่อง และหมุนสวิตซ์สีดำให้อยู่ตำแหน่ง Pressure เพื่อให้ตัวอย่างกระจายตัว)เมื่อกรองกรดออกหมดแล้วให้ล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน จากนั้นทำการกรอง ทำซ้ำ ประมาณ 3 รอบทำการย่อยตัวอย่างด้วยด่าง โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ปริมาณ 150 มิลลิลิตร/ตัวอย่าง จากนั้นทำเหมือนการย่อยตัวอย่างด้วยกรด ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องอีก 1 ครั้งล้างตัวอย่างด้วย Acetone ปริมาณ 25 มิลลิลิตร อีก 3 ครั้งใส่ที่จับ (Holder) เข้ากับตัวถ้วย Crucible ปิดเครื่อง Fiber extractors และ Cooling bathนำ crucible ออกจากตัวเครื่อง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-105°C นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน Desecrater ชั่งน้ำหนัก (W_2) เผา Crucible ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500°C นาน 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทาชั่งน้ำหนัก (W_3)

$$\text{ปริมาณเส้นใยทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_1)} \times 100$$

3.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

โดยทำการบดตัวอย่างให้เป็นผง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.2-0.3 กรัม บรรจุลงในแผ่นฟอล์ยดีบุกห่อแผ่นฟอล์ยดีบุก โดยพับปลายให้ติดกันทุกด้านและม้วนเล็กน้อยอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันการสูญเสียตัวอย่างระหว่างการเตรียมตัวอย่างบันทึกน้ำหนักตัวอย่างบนหน้าจอควบคุมเครื่องวิเคราะห์ Nitrogen/Protein Determination Combustion กดปุ่ม Start เพื่อเปิดช่องสำหรับใส่ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ใส่ตัวอย่างลงไป จากนั้นกดปุ่ม Start อีกครั้ง เพื่อเริ่มการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างบันทึกปริมาณไนโตรเจนร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ และนำข้อมูลที่ได้ไปคูณ 5.95 ซึ่งเป็นแฟกเตอร์สำหรับหาปริมาณโปรตีนร้อยละของน้ำหนักในตัวอย่างแป้ง

3.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นร้อยละ โดยการคำนวณจาก สูตร 100 ลบด้วยผลรวมของปริมาณร้อยละของความชื้น (หรือน้ำ) โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า

% คาร์โบไฮเดรต = 100 – (%ความชื้น + %ไขมัน + %โปรตีน + %เส้นใย + %เถ้า)

3.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรียืทั้งหมด (Total Plate Counts) และปริมาณยีสต์ และรา (Yeast and Mold Counts) (BAM, 2002)

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2002) โดยนำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ในถุง stomacher เติมสารละลาย Peptone water ร้อยละ 0.1 จำนวน 225 กรัม นำเข้าเครื่องตีป่น Stomacher นาน 1-2 นาที เจือจางอาหารโดยปิเปตมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง Peptone water ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางต่อจนได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมปิเปตสารละลายอาหารที่ระดับความเจือจางที่เหมาะสม

จำนวน 3 ระดับความเข้มข้นที่ติดกันจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเพาะเชื้อเทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA อุณหภูมิ 44-46 องศาเซลเซียส ประมาณ 12-15 มิลลิลิตร ใส่ในจานเพาะเชื้อแล้วเอียงจานให้กระจายทั่วจานเพาะเชื้อปล่อยให้อาหารวุ้นแข็งตัว แล้วคว่ำจานเพาะเชื้อในถุงพลาสติก นำไปบ่มในตู้บ่มอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48±3 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีจากจานที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี คำนวณ cfu/g หรือ cfu/ml ของอาหาร การคำนวณดังสูตรต่อไปนี้

$$CFU/g = \frac{\sum C}{(v_1 n_1 + 0.1 n_2)\, d}$$

3.3.2 การวิเคราะห์เชื้อยีสต์ และรา (BAM, 2002) โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ในถุงตีป่น เติมสารละลาย Peptone water ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 จำนวน 225 กรัม นำเข้าเครื่องตีป่นนาน 1 นาที สำหรับตัวอย่างอาหารที่เป็นของเหลวให้ชั่งตัวอย่างอาหารใส่ลงในสารละลายเพื่อเจือจางโดยตรงทำเจือจางอาหารในสารละลาย Peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 หลอดละ 9 มิลลิลิตร จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสมใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดสารละลายอาหารที่ระดับความเจือจางที่เหมาะสมจำนวน 3 ระดับความเข้มข้นที่ติดกัน จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเพาะเชื้อ โดยทำ Duplicate เติมอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ปรับ pH เป็น 3.5 ด้วยกรดทาร์ทาริก อุณหภูมิ 44-46 องศาเซลเซียส ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ใส่ในจานเพาะเชื้อ เขย่าจานให้สารละลายอาหารกระจายทั่ว จานเพาะเชื้อ ปล่อยให้อาหารวุ้นแข็งตัว บ่มในตู้บ่มอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 72 ± 3 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีจากจานที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 15-150โคโลนี คำนวณค่า cfu/g ได้จากสูตรเดียวกับการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยของการทดลองที่ได้เกิดจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) วิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics สำหรับ Window

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาสูตรตำรับที่เหมาะสมในการผลิตขนมโสมนัส

จากเสาวภรณ์ วังวรรธนะ (2537) ตำรับที่ 1 จาก ศรราม ดีรอด (2561) ตำรับที่ 2 จาก เยาวภา ขวัญดุษฎี (2554) ตำรับที่ 3 ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า สูตรตำรับทั้ง 3 สูตร มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสทั้ง 6 ด้าน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนี้

ตารางที่ 2 คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของสูตรตำรับขนมโสมนัส

คะแนนความชอบ	สูตรตำรับขนมโสมนัส		
	สูตรที่ 1	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**
ลักษณะปรากฏ	6.70±1.16[ab]	5.60±1.89[b]	7.50±.85[a]
สี	6.70±1.16[ab]	6.00±1.56[b]	7.70±.48[a]
กลิ่น	7.00±.67[ab]	6.60±1.17[b]	7.60±.70[a]
รสชาติ	6.40±.84[b]	6.70±0.89[ab]	7.80±.92[a]
เนื้อสัมผัส	6.20±1.14[b]	6.20±1.87[b]	7.70±.82[a]
ความชอบโดยรวม	6.40±.84[b]	6.50±1.01[b]	7.80±1.03[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, (คะแนนเต็ม = 9)

ตัวอักษร [a b c]แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 2 พบว่า คุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) พบว่า ขนมโสมนัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) โดยพบว่า ขนมโสมนัส สูตร 3 มีค่าคะแนนความชอบทางด้านคุณลักษณะปรากฏสูงที่สุด จึงแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมที่ใช้มีผลต่อลักษณะปรากฏ โดยเฉพาะไข่ขาวในสูตรตำรับที่ 3 มีส่วนผสมของไข่ขาวที่ใช้สูงกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งลักษณะฟองของไข่ขาวที่เกิดขึ้นนั้นค่อนข้างมีความคงตัวเป็นอย่างดี ซึ่งไข่ขาวนอกจากจะให้กลิ่นและรสชาติที่เฉพาะแก่ผลิตภัณฑ์แล้ว เมื่อไข่ขาวโดนความร้อน ไข่ขาวจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดการขึ้นฟู (Foaming and leavening)ขึ้นด้วย (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541) ทั้งนี้สูตรตำรับที่ 3 ในส่วนผสมมีปริมาณไข่ขาวมากกว่าสูตรอื่น จึงมีโอโวโกลบูลินและโอวัลบูมิน ซึ่งเป็นโปรตีนในไข่ขาวที่ทำหน้าที่ในการขึ้นฟูในปริมาณมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมากกว่าสูตรอื่นด้วย นอกจากนั้นกระบวนการผลิตของสูตรตำรับที่ 3 มีการนำไข่ขาวกับน้ำตาลมาตีให้ขึ้นฟู ซึ่งน้ำตาลจะช่วยทำให้ฟองที่เกิดขึ้นมีความคงตัวและมีเนื้อสัมผัสที่ละเอียดอีกด้วย ทั้งนี้เทคนิคการเลือกใช้ไข่ขาวในการทำขนมโสมนัสทั้ง 3 สูตร ควรมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ซึ่งจะตีให้เกิดเป็นฟองได้ง่ายกว่าไข่ขาวที่เก็บในตู้เย็น เพราะที่อุณหภูมิต่ำไข่ขาวจะมีความหนืดค่อนข้างสูง และในกระบวนการทำนั้นต้องไม่มีไข่แดงปนมาด้วย เพราะไข่แดงจะไปขัดขวางการขึ้นฟูของไข่ขาว ในด้านคุณภาพด้านสี (Color) พบว่าขนมโสมนัสทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) โดยพบว่าขนมโสมนัส สูตร 3 มีค่าคะแนนความชอบทางด้านสีสูงที่สุดแสดงว่าส่วนผสม ที่ใช้มีผลต่อคุณภาพด้านสีของขนมโสมนัส โดยสูตรที่ 3 มีการใช้น้ำตาลทรายในปริมาณที่น้อยกว่าสูตรอื่นๆ (30.48%) ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้เปลือกนอกของขนมโสมนัสมีสีที่ดีกว่า นอกจากนี้มีการใช้ผงโกโก้เป็นส่วนผสมในปริมาณมากกว่าสูตรตำรับอื่น ๆ ใช้ (1.80%) เพื่อทำให้เกิดสีอีกด้วยจึงทำให้ผู้บริโภคยอมรับกับสูตรตำรับนี้มากที่สุด ทั้งนี้ผงโกโก้ประกอบด้วยความชื้น แทนนิน แอนโธไซยานิน แป้ง คาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ ไขมัน สารประกอบไนโตรเจนและแร่ธาตุด้วย นอกจากนั้นยังขึ้นกับปริมาณของไข่ขาวในส่วนผสมที่ใช้มากกว่าสูตร อื่น ๆ ซึ่งเมื่อไข่ขาวโดนความร้อนจากการอบ ทำให้ขนมโสมนัสมีสีเป็นที่ยอมรับอีกด้วยในด้านคุณภาพด้านกลิ่น (Smell) พบว่าขนมโสมนัสทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) โดยพบว่าขนมโสมนัส สูตร 3 มีค่าคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นสูงที่สุดจึงแสดงให้เห็นว่าการใช้ส่วนผสมของมะพร้าวขูดขาวที่ปานกลาง (30.54%) ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นของขนมโสมนัสมากที่สุด ทั้งนี้ในมะพร้าวมีสารให้กลิ่นอยู่หลากหลายชนิด การใช้ไฟอ่อนในการคั่วมะพร้าวจะทำให้มะพร้าวที่ได้นั้นเกิดกลิ่นหอมตามธรรมชาติ

ขึ้นด้วย ซึ่งมะพร้าวขูดขาวนอกจากจะช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์แล้ว ยังช่วยให้กลิ่นรสอีกด้วย ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมะพร้าวขึ้นกับพันธุ์ ความอ่อนแกและสภาวะการเจริญเติบโต โดยเนื้อมะพร้าวแก่ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ,กากใยและเถ้า ในปริมาณร้อยละ 46.3, 4.08, 37.3, 11.3, 3.4 และ 1.03 ตามลำดับ (Onwudike, 1996) ในด้านคุณภาพด้านรสชาติ (Flavor) พบว่า ขนมโสมนัสทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) โดยพบว่าขนมโสมนัส สูตร 3 มีค่าคะแนนความชอบทางด้านรสชาติสูงที่สุด จึงแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของน้ำตาลทรายที่ให้ความหวานแก่ขนมโสมนัสที่แตกต่างกันมีผลต่อรสชาติของขนมโสมนัส โดยสูตรตำรับที่ 3 มีการใช้น้ำตาลทรายที่น้อยที่สุด (30.48%) แสดงถึงผู้บริโภคต้องการความหวานที่เหมาะสม และคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (Texture) พบว่า ขนมโสมนัสทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) โดยพบว่าขนมโสมนัส สูตร 3 มีค่าคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดทั้งนี้ในสูตรต้นตำรับมีการใช้ไข่ขาวซึ่งไข่ขาวมีคุณสมบัติในการเกิดฟองโปรตีนจะขยายตัวเพราะว่ามีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ เมื่อได้รับความร้อนโปรตีนทั้งหมดจะจับตัวกันเป็นช่องที่เก็บอากาศ อาหารจึงขึ้นฟู และทรงรูปอยู่ได้ในลักษณะเป็นโพรงอากาศเล็ก ๆ (เข็มทอง นิ่มจินดา, 2538) ผู้บริโภคจึงค่อนข้างชอบสูตรต้นตำรับสูตรที่ 3 ที่มีการใช้ไข่ขาวมากที่สุดคือร้อยละ 35.5 ในด้านคุณภาพด้านความชอบโดยรวม (Overall) พบว่าขนมโสมนัสทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) โดยพบว่าขนมโสมนัส สูตร 3 มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดแสดงว่าส่วนผสมในการทำขนมโสมนัสที่ประกอบด้วยไข่ขาว มะพร้าวขูดขาวคั่ว น้ำตาลทราย น้ำมะนาว ผงโกโก้ และเกลือ รวมถึงขั้นตอนการผลิต มีผลต่อคุณภาพด้านความชอบโดยรวมของขนมโสมนัสโดยสูตรที่ 3 นั้นเป็นสูตรที่มีการใช้น้ำตาลในส่วนผสมน้อยที่สุด จึงเหมาะกับผู้ที่รักสุขภาพ จึงส่งผลให้คะแนนในทุกๆด้านมีแนวโน้มที่สูงกว่าสูตรต้นตำรับอื่นๆโดยมีส่วนผสมของไข่ขาว (35.5%) มะพร้าวขูดขาวคั่ว (30.54%) น้ำตาลทราย (30.48%) น้ำมะนาว (1.68%) และผงโกโก้ (1.80%) ดังนั้นผู้วิจัยเลือกสูตรที่ 3 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้ง 6 ด้านสูงที่สุดนำไปศึกษาตอนต่อไป

2. ผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ในการผลิตขนมโสมนัสโดยแปรปริมาณการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในปริมาณร้อยละ 0, 1 ,3 และ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ

คะแนนความชอบ	ขนมโสมนัส			
	เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 0)	เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 1)	เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 3)	เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 5)
ลักษณะปรากฏ	6.37 ± 1.05^{b}	6.13 ± 1.43^{b}	6.31 ± 1.09^{b}	7.33 ± 1.18^{a}
สี$^{(ns)}$	6.27±1.24	6.33±1.37	6.15±1.27	6.23±1.37
กลิ่น$^{(ns)}$	6.77±1.28	6.87±1.25	6.94±1.01	6.45±1.10
รสชาติ$^{(ns)}$	6.90±1.19	6.53±1.52	6.66±1.10	6.93±1.16

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ (ต่อ)

คะแนนความชอบ	ขนมโสมนัส			
	เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 0)	**เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 1)**	**เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 3)**	**เสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 5)**
เนื้อสัมผัส$^{(ns)}$	6.93±1.02	6.80±1.35	6.90±1.11	6.93±1.19
ความชอบโดยรวม	7.27±1.13^{a}	6.98±1.49^{b}	6.70±1.20^{b}	7.47±0.88^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(คะแนนเต็ม = 9)

ตัวอักษร $^{a\ b}$ แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษร^{ns} แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 3 พบว่า คุณภาพด้านสี (Color) คุณภาพด้านกลิ่น (Smell) และ คุณภาพด้านรสชาติ (Flavor) คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (Texture) พบว่า ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอร้อยละ 0 1 3 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>.05) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากส่วนผสมที่ใช้ในการทำอีกทั้งในส่วนผสมการทำขนมโสมนัสมีน้ำตาล มีการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ใกล้เคียงกัน เพราะในกระบวนการอบขนมโสมนัสมีอุณหภูมิที่ใช้เหมือนกัน ส่งผลให้กลิ่นและรสชาติของขนมเปลี่ยนไป โดยเปลี่ยนไปในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสดังกล่าวไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอจึงไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสดังกล่าวด้วย ส่วนในด้านคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) พบว่า ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) โดยพบว่า ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอร้อยละ 5 มีค่าคะแนนความชอบทางด้านคุณลักษณะปรากฏสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเส้นใยอาหารจากเปลือกส้มโอในปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้ขนมโสมนัสที่ร้อยละ 5 มีคะแนนความชอบที่สูงที่สุด ซึ่งลักษณะของขนมโสมนัสที่ได้มีความขึ้นฟู กลวงและเบา อีกทั้งยังมีความหอมของมะพร้าวคั่วและใยเปลือกส้มโอที่เสริมลงไปด้วย เพราะในใยเปลือกส้มโอมีสารกลุ่มของน้ำมันหอมระเหยอยู่ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กุลชญา ลิ่วหงวน และคณะ (2560) ที่กล่าวว่าการใช้ปริมาณใยอาหารผงในปริมาณที่เหมาะสมมีผลให้ขนมปังอบกรอบที่ได้มีความคงตัวเพิ่มขึ้นไม่มีลักษณะร่วนจนเกินไป ในด้านคุณภาพด้านความชอบโดยรวม (Overall) พบว่า ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) โดยพบว่าขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอร้อยละ 0 และ 5 มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ทั้งนี้การเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอลงในผลิตภัณฑ์นอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้น ทั้งนี้ใยอาหารนั้นจะช่วยควบคุมระดับน้ำตาล ช่วยลดระดับไขมันในเลือด รวมถึงยังช่วยเพิ่มภูมิต้านทานให้กับร่างกายได้ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอที่ร้อยละ 5 ที่มีค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวมแนวโน้มมากที่สุด นำไปศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาต่อไป

3. ผลของคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอดังนี้

โดยนำขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอที่ร้อยละ 5 ที่คัดเลือกจากตอนที่ 2 นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาดังนี้

ตารางที่ 4 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอปริมาณร้อยละ 0 และ ร้อยละ 5

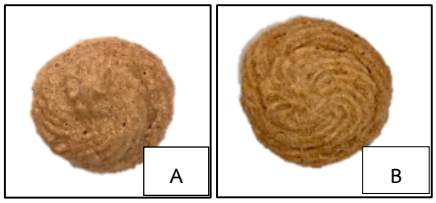
	ค่าคุณภาพ	**ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 0)**	**ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอ (ร้อยละ 5)**
คุณภาพทางกายภาพ	ค่าสี L*	67.58±1.08	66.29±0.78
	ค่าสี a*	8.99±0.41	9.39±0.75
	ค่าสี b*	13.09±0.39	13.62±1.08
คุณภาพทางเคมี	ปริมาณความชื้น (%)	6.42±0.92	6.03±0.78
	ปริมาณไขมัน (%)	28.59±0.55	27.91±0.22
	ปริมาณโปรตีน (%)	3.41±0.02	3.90±0.01
	ปริมาณเส้นใย (%)	4.59±0.85	6.80±0.56
	ปริมาณเถ้า (%)	0.82±0.06	0.83±0.06
	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	43.83±0.41	45.47±0.39
คุณภาพทางจุลชีววิทยา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด(CFU/g)	< 10	< 10
	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)	< 10	< 10

หมายเหตุ < 10 หมายถึง ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของขนมโสมนัสโดยเปรียบเทียบที่ระดับร้อยละ 0 และ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด พบว่า ขนมโสมนัสร้อยละ 0 มีค่าสี L* เท่ากับ 67.58±1.08 a* เท่ากับ 8.99±0.41 b* เท่ากับ 13.09±0.39 ส่วนขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอที่ระดับร้อยละ 5 มี ค่าสี L* เท่ากับ 66.29±0.78 a* เท่ากับ 9.39±0.75b* เท่ากับ 13.62±1.08 ซึ่งจะเห็นว่าการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่เพิ่มขึ้นคือร้อยละ 5 มีแนวโน้มที่ทำให้ค่าความสว่างของขนมโสมนัสลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ค่า a* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าสีเหลือง) เนื่องจาก ในขณะที่ผสมเปลือกส้มโอและส่วนผสมอื่นๆที่มีองค์ประกอบของไข่ขาว มะพร้าวขูดขาวคั่ว น้ำตาลทราย น้ำมะนาว และผงโกโก้ เมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการอบ ส่วนผสมจะมีสีเข้มขึ้น คุณภาพทางเคมีพบว่า ปริมาณความชื้นในขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ร้อยละ 5 มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 6.03±0.78 จึงไม่มีความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ต่ำจะสามารถลดหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ได้ อีกทั้งเส้นใยอาหารนั้นได้มีการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นโพลีแซคคาไรด์ซึ่งโพลีแซคคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะ

ไฮโดรเจนกับน้ำ เส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ (Spiller, 2001) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีโครงสร้าง และขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารด้วยอีกทั้งเปลือกส้มโอมีความอุ้มน้ำมากของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดนเจนกับน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นราธิป ปุณเกษม (2559) ที่มีปริมาณความชื้นของคุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอเท่ากับ 6.33 ± 0.11 ด้านปริมาณไขมันในขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ร้อยละ 5 มีแนวโน้มลดลง เท่ากับ 27.91±0.22 จึงลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ได้ ด้านปริมาณโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตในขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ร้อยละ 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เท่ากับ 3.90±0.01 , 0.83±0.06 และ 45.47±0.39 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเปลือกส้มโอเป็นใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ อีกทั้งยังมีไขมันที่ค่อนข้างต่ำด้วย ด้านปริมาณเส้นใยพบว่าขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ร้อยละ 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เท่ากับ ร้อยละ 6.80±0.56 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กุลชญา ลิ่วหงวน และคณะ (2560) โดยพบเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปังอบกรอบที่มีการใช้เปลือกส้มโอผงเพื่อเสริมใยอาหาร ที่ร้อยละ 3.92 นอกจากนั้นจากงานวิจัยของ Larrauri (1999) พบว่า เส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มมีข้อดีกว่าเส้นใยอาหารจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และน้ำมัน และความสามารถในการถูกย่อยในลำไส้สูงกว่า ทั้งยังมีปริมาณกรดไฟติก และแคลอรี่ต่ำอีกด้วย นอกจากนั้นเส้นใยอาหารได้จัดเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน แต่เป็นมีประโยชน์ต่อสุขภาพ จัดเป็น Functional food มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลากหลายอาทิเช่น เป็นพริไบโอติก (Prebiotic) ลดไขมันในเลือด ลดน้ำตาลในเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ รวมทั้งยังช่วยควบคุมน้ำหนักตัวได้อีกด้วย

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมโสมนัสเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ พบว่า การเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอที่ระดับร้อยละ 0 และ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด ไม่มีผลต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ และรา เนื่องจากเปลือกส้มโอที่เสริมลงในขนมโสมนัสมีปริมาณความชื้นค่อนข้างต่ำ จึงไม่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในผลิตภัณฑ์นั้นแปรผันตามค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ด้วย



ภาพที่ 1 ขนมโสมนัส

A ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอปริมาณร้อยละ 0, B ขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอปริมาณร้อยละ 5

สรุป

สูตรต้นตำรับที่เหมาะสมสำหรับในการทำผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสคือสูตรตำรับที่ 3 โดยมีส่วนผสมของไข่ขาว (35.5%) มะพร้าวขูดขาวคั่ว (30.54%) น้ำตาลทราย (30.48%) น้ำมะนาว (1.68%) และผงโกโก้ (1.80%) และมีกระบวนการผลิตคือ นำไข่ขาวกับน้ำตาลมาตีให้ขึ้นฟู ซึ่งขั้นตอนนี้อากาศจะแทรกเข้าไประหว่างโปรตีน หลังจากนั้นนำมะพร้าวขูดขาวมาคั่วให้เหลืองหอม จากนั้นนำมะพร้าวคั่ว และผงโกโก้ใส่ลงในไข่ขาวที่ตีจนฟูคน

เบาๆให้เข้ากันใส่น้ำมะนาว นำเข้าอบ 350 องศาฟาเรนไฮต์ จนสุกเหลืองหอม โปรตีนจากไข่ขาวจะเกิดการขยายตัวเพราะว่าคุณสมบัติยืดหยุ่นได้เมื่อถูกความร้อน โปรตีนทั้งหมดจะจับตัวกันเป็นช่องที่เก็บอากาศไว้ ทำให้โครงสร้างของขนมโสมนัสขึ้นฟู กลวง เบา มีคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ทั้งนี้เทคนิคในการคั่วมะพร้าวให้ใช้ไฟอ่อน จะได้มะพร้าวสุกเหลือง จนกระทั่งน้ำมะพร้าวออกมาจะทำให้มะพร้าวมีกลิ่นหอมโดยธรรมชาติและเหลืองกรอบที่เป็นเสน่ห์ของขนมโสมนัส การนำขนมโสมนัสมาเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอ โดยที่ร้อยละ 5 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอที่ได้มีความกรอบตลอดทั้งชิ้น หอมกลิ่นมะพร้าวขูดขาวคั่วปนกลิ่นไข่ มีรสชาติที่หวานและมันด้วย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ในด้านคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาของการเสริมใยอาหารจากเปลือกส้มโอในผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสที่ร้อยละ 5 มีแนวโน้มให้ค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นลดลง จึงช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น ซึ่งความชื้นต่ำสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ได้ และมีปริมาณไขมันลดลงซึ่งลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนปริมาณเส้นใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเส้นใยนั้นมีประโยชน์ต่อสุขภาพ จัดเป็น Functional food ด้วย ในด้านปริมาณโปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตก็สูงขึ้นอีกด้วย และการเสริมใยเปลือกส้มโอที่ระดับ ร้อยละ 0 และ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด ไม่มีผลต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมโสมนัสเสริมใยเปลือกส้มโอเพื่อให้เห็นความแตกต่างของคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และควรมีการคำนวณต้นทุนการผลิตเพื่อให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ลำปาง ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

กุลชญา ลิ่วหงวน และคณะ. (2560). การใช้เปลือกส้มโอผงเพื่อเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมปังอบกรอบ. **วารสารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 2(1), 14-23.

เข็มทอง นิ่มจินดา. (2538). **ทฤษฎีอาหาร**. กรุงเทพฯ: กรมการฝึกหัดครู.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2541). **เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 244 น.

นราธิป ปุณเกษม. (2559). การพัฒนาคุกกี้เนยสดเสริมใยอาหารจากอัลเบโดของส้มโอ. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยสวนดุสิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 9(1), 35-49.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2561). **การประเมินทางประสาทสัมผัส**. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เยาวภา ขวัญดุษฎี. (2554). **ขนมอบขนมทอด**. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดี.

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ. (2551). **การผลิตและคุณสมบัติของใยจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์**

อาหาร. เอกสารการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมครั้งที่ 1 (หน้าที่ 8-14), 23-24 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. นครปฐม: เพชรเกษมการพิมพ์.

ศรราม ดีรอด. (2561). **ขนมไทยโบราณ**. กรุงเทพฯ: วาดศิลปะ.

ศรีสมร คงพันธุ์ . (2553). **ตำราอาหาร คาว-หวาน.** พิมพ์ครั้งที่ 20. กรุงเทพฯ : แสงแดด.

เสาวภรณ์ วังวรรธนะ. (2537). **ขนมไทยของหวาน-ของว่าง108 ชนิดทำกินได้ทำขายอร่อย**. OTOP ส่งเสริมอาชีพหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ

อภิรักษ์ เพียรมงคล. (2549). **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้น ใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน กากส้มสายน้ำผึ้ง กากส้มสีทอง และเปลือกในส้มโอ.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อาภัสรา แสงนาค. (2560). **เส้นใยอาหาร.** กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

AOAC. (2000). **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, Washington, D.C., U.S.A: AOAC

BAM. (2002). **Bacteriological analytical manual (8th ed). Gaithersburg**. MD:Association of Official Analytical Chemists.

Larrauri, J.A. (1999). **New approaches in the preparation of high dietary fibre powder from Fruitby-products.** Trends in Food Science and Technology. 10, 3-8.

Onwudike, O.C. (1996). **Coconut (*Cocosnucifera* L.) kernel, oil and meal**, pp.306-317. In E. Nwokolo and J. Smartt(eds.) Food and Feed from Legumes and Oilseeds. Chapman&Hall, London.

Spiller, A.G. (2001). **CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition.(3rd edition).** New York: CRC Press Ltd.

การใช้ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์เป็นสารเสริมในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

ศรีน้อย ชุ่มคำ[1*] อรพินท์ จินตสถาพร[2]

Received : October 14, 2020
Revised : January 19, 2021
Accepted : February 24, 2021

บทคัดย่อ

ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์มีคุณค่าทางอาหารและคุณค่าทางเภสัชโภชนศาสตร์ จึงสามารถนำมาช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่ การวิจัยนี้จึงวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์ในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ คุณภาพไข่ ส่วนประกอบไข่และขนาดไข่ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้แม่ไก่ไข่ลูกผสมทางการค้าอายุ 32 สัปดาห์ จำนวน 250 ตัว โดยการจัดกลุ่มทดลองเป็น 5 กลุ่มได้แก่ กลุ่มอาหารปกติ กลุ่มอาหารปกติเสริมเซลล์ยีสต์ 5% กลุ่มอาหารปกติเสริมยีสต์เซลล์แตก 2% กลุ่มอาหารปกติเสริมนิวคลีโอไทด์ 0.25% และกลุ่มอาหารปกติเสริมเบต้ากลูแคน 0.05% ระยะเวลาทดลอง 8 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มที่เสริมเซลล์ยีสต์ มีน้ำหนักไข่ที่อายุ 36-37, 38-39 และ 32-39 สัปดาห์มากที่สุด ($p<0.05$) ในไก่ที่อายุ 34-35 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมเซลล์ยีสต์และกลุ่มที่เสริมนิวคลีโอไทด์ จะมีปริมาณอาหารที่กินต่อวันมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ($p<0.05$) และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุดในกลุ่มที่ได้รับเซลล์ยีสต์ที่อายุ 36-37 สัปดาห์ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม 5.94% และที่อายุ 38-39 สัปดาห์ ($p=0.081$) ประสิทธิภาพการใช้อาหารมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ค่าฮอกยูนิตและความสูงไข่ขาวที่อายุ 34-35, 36-37, 38-39 และ 32-39 สัปดาห์ในกลุ่มเสริมนิวคลีโอไทด์จะสูงที่สุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การเสริมเซลล์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ทำให้มีไข่ขนาดใหญ่มากกว่ากลุ่มอื่นๆ ($p<0.05$) การเสริมเซลล์ยีสต์ในอาหารไก่ไข่จะช่วยเพิ่มน้ำหนักไข่และประสิทธิภาพการใช้อาหาร การเสริมนิวคลีโอไทด์จะช่วยปรับปรุงคุณภาพไข่ขาว การเสริมเซลล์ยีสต์และนิวคลีโอไทด์ทำให้ได้จำนวนไข่ขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: คุณภาพไข่ ผลิตภัณฑ์จากยีสต์ ยีสต์ สมรรถภาพการผลิตไข่

[1] รองศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: srinoy@vru.ac.th

[2] รองศาสตราจารย์ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: ffisora@ku.ac.th

**ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: srinoy@vru.ac.th*

EFFECTS OF SUPPLEMENTING YEAST AND YEAST PRODUCTS AS FEED ADDITIVES IN LAYER DIETS ON PRODUCTIVE PERFORMANCE AND EGG QUALITY TRAITS

Srinoy Chumkam[1*] Orapint Jintasaporn[2]

Abstract

Yeast and yeast products are rich in nutrients and nutraceuticals. They can be used in improving egg production and egg quality as a consequence. The aim of this study was to investigate the effect of supplementing yeast and yeast products as feed additives in layer diets on performance and egg traits. A total of 250 commercial laying hens, aged 32 weeks, were randomly distributed in completely randomized design. The hens were distributed into 5 treatments. The experimental treatments were basal diets, basal diets supplemented with 5.0% whole cell yeast, basal diets supplemented with 2.0% autolyzed yeast, basal diets supplemented with 0.25 % nucleotide, and basal diets supplemented with 0.05% beta-glucan. The treatments lasted for 8 weeks. The resulted showed that those supplemented with whole cell yeast increased most of the egg weight ($p<0.05$) during 36-37, 38-39 and 32-39 weeks old. The feed intake of layer in treatments of whole cell yeast and nucleotide supplementation was significantly higher ($p<0.05$) than other treatments during 34-35 weeks old. The better ($p<0.05$) feed efficiency ratio was founded in those fed with whole cell yeast during 36-37 weeks old, which was 5.94 % lower than that of the control group. . This value tended to be better than the other treatments ($p=0.081$) during 38-39 weeks old. Nucleotide supplementation significantly exhibited the highest value ($p<0.05$) of Haugh unit score and albumen hight during 34-35, 36-37, 38-39 and 32-39 weeks old. Supplementing yeast and nucleotide contributed to a larger egg size compared to those without supplementation ($p<0.05$). Supplementing the diets with whole cell yeast was beneficial for increasing egg weight and improving feed conversion ratio. Supplementing nucleotide in laying diet improving albumen quality. Supplementing both whole cell yeast and nucleotide in layer diet increased the number of larged-size eggs.

Keywords: Egg quality, Yeast products, Yeast, Egg performance

---

[1] *Associate Professor, Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage*
e-mail: srinoy@vru.ac.th
[2] *Associate Professor, Faculty of Fishery , Kasetsart University, Bangkok e-mail: ffisora@ku.ac.th*
**Corresponding author, e-mail: srinoy@vru.ac.th*

บทนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ไข่ของประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2562 มีจำนวนแม่ไก่ไข่ทั่วประเทศ 49.5 ล้านตัว มีผลผลิตไข่ 14,996 ล้านฟองและในปี พ.ศ. 2563 จำนวนแม่ไก่ไข่จะเพิ่มเป็น 50 ล้านตัว มีผลผลิตไข่ 15,148 ล้านฟอง ผลผลิตที่ได้เกือบทั้งหมดใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากไข่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่มีราคาถูก โดยในปี พ.ศ. 2556 อัตราการบริโภคไข่ไก่ของคนไทยอยู่ที่ 204 ฟอง/คน/ปี และเพิ่มขึ้นเป็น 221 ฟองในปี พ.ศ. 2562 (กองส่งเสริมและพัฒนาปศุสัตว์, 2563) ด้วยอัตราการการบริโภคที่เพิ่มขึ้น และการให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ แนวทางการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพไข่เพื่อลดการตกค้างของยาและสารเคมี ด้วยการเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดีหรือการใช้สารเสริมที่มีคุณสมบัติส่งเสริมให้สัตว์มีการเจริญเติบโตที่ดี มีสุขภาพแข็งแรงและต้านทานโรคได้ดี เพื่อลดการใช้สารปฏิชีวนะ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ประกอบด้วยกรดอะมิโนเปปไทด์ คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิค เอนไซม์และโคแฟคเตอร์ (Hassan, 2011) เซลล์ยีสต์ที่ได้จากการหมัก มีโปรตีน 45% ไขมัน 2.4% เยื่อใย 1.7% มีกรดอะมิโนที่จำเป็นใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง นอกจากนี้ผนังเซลล์ของยีสต์ยังประกอบด้วยกลูแคน แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (MOS) ซึ่งมีคุณสมบัติกระตุ้นภูมิต้านทานของสัตว์ ขัดขวางการเจริญของเชื้อโรคในระบบทางเดินอาหารโดยสามารถจับกับโปรตีนที่ผิวผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค (อุทัย คันโธ, 2559) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวการใช้ยีสต์เป็นองค์ประกอบเสริมในอาหารสัตว์จึงให้ทั้งคุณค่าทางอาหารและคุณค่าทางเภสัชโภชนศาสตร์ (Nutraceuticals) ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์ที่ใช้ในอาหารสัตว์มีหลายรูปแบบได้แก่ เซลล์ยีสต์ที่มีชีวิต (Active yeast) จะใช้เพื่อเป็นสารเสริมชีวนะ เซลล์ยีสต์ที่ตาย (Inactive yeast) ใช้เป็นแหล่งโปรตีนราคาถูก ยีสต์เซลล์แตก (Autolyzed yeast) เป็นเซลล์ยีสต์ที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ใช้เป็นสารเสริมภูมิคุ้มกันโรค ยีสต์จากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมเกษตรสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เพราะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 27-29% (Ali, 2004) และยีสต์จากของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลจะมีโปรตีน 30% (Sharif et al., 2012) มีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Rameshwari & Karthikeyan, 2005) นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) เป็นสารสกัดจากยีสต์จากส่วนของไซโตพลาสซึมที่ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์และกรดอะมิโนมักใช้เป็นสารเสริมอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพสูงเพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและเพิ่มความสมบูรณ์ของผนังลำไส้เล็กโดยเพิ่มความสูงของวิลไล (Wu et al., 2018) ผนังเซลล์ยีสต์เป็นสารสกัดจากยีสต์เฉพาะส่วนที่เป็นผนังเซลล์ ประกอบด้วยแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ เบต้ากลูแคน (Beta-glucane) และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ มีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และสามารถเป็นสารพรีไบโอติคดังนั้นจึงมีงานวิจัยจากการใช้ยีสต์ในการส่งเสริมการเจริญของไก่ไข่ เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน Zhang et al. (2020) พบว่า การเสริมเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตในอาหารเพื่อเป็นสารเสริมชีวนะในระดับ 3.0 กรัม/กิโลกรัม ทำให้อัตราการไข่เพิ่มขึ้น 13.0-13.5% น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น 11.2-13.6% ปริมาณอาหารที่กิน/น้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม. ลดลง 9.3-11.0% ในสัปดาห์ที่ 5, 6, 7 และ 8 ของการทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) แต่คุณภาพไข่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) นอกจากนี้ยังเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin) และแอลฟาอะไมเลส (α-amylase) 54.8-62.5% และเพิ่มความสมบูรณ์ของผนังลำไส้ ผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับ Hameed et al. (2019) ที่เสริมในอาหารแม่ไก่ที่อายุ 40-50 สัปดาห์ที่ระดับ 0.2% ทำให้น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาวและค่าฮอกยูนิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) แต่ความหนาเปลือกไข่ลดลงตามระดับยีสต์ที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ($p<0.05$) Hashmi et al. (2006) พบว่าปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักที่เพิ่มและประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่เนื้อที่ได้รับเซลล์ยีสต์ 1 % ในอาหารไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากระดับของการเสริมยีสต์ที่ต่ำทำให้มีปริมาณแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์มีจำกัด ส่วนการเสริมนิวคลีโอไทด์ในอาหารจะทำ

ให้ระดับภูมิคุ้มกันของลูกไก่ที่ได้รับวัคซีนเพิ่มขึ้นถึงระดับที่สามารถคุ้มโรคได้เร็วกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมนิวคลีโอไทด์ 1 สัปดาห์ (Wu et al., 2018) ดนุภัสรา ชะนะเพีย และสุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์ (2559) เสริมสารสกัดจากผนังเซลล์ยีสต์ในอาหารสุกรที่ระดับต่างๆ พบว่า ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ซึ่งสอดคล้องกับสุวรรณี แสนทวีสุข และคณะ (2555) ที่เสริมสารสกัดยีสต์ร่วมกับอินนูลินในอาหารเพื่อเป็นพรีไบโอติคพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารให้เป็นไข่และระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ในซีรั่มของไก่ไข่ที่อายุ 36 สัปดาห์ แต่ Ding et al. (2019) และ Park et al. (2008) พบว่าการเสริมเบต้ากลูแคนจากยีสต์ทำให้อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และความแข็งแรงของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น ความสูงของวิลไลเพิ่มขึ้น ส่งเสริมจุลลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และกระตุ้นภูมิต้านทาน ทำให้สามารถลดการใช้สารปฏิชีวนะในอาหารสัตว์ได้

ดังนั้นการเสริมยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตจากสัตว์ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์ซึ่งมีคุณสมบัติของการเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ที่ต่างกันในการเลี้ยงไก่ไข่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลการเสริมยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์ในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

วิธีดำเนินการวิจัย

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ 1) กลุ่มอาหารปกติ 2) กลุ่มอาหารปกติเสริมเซลล์ยีสต์ (Inactive whole cell yeast) 5% 3) กลุ่มอาหารปกติเสริมยีสต์เซลล์แตก 2% 4) กลุ่มอาหารปกติเสริมนิวคลีโอไทด์ 0.25% และ 5) กลุ่มอาหารปกติเสริมเบต้ากลูแคน 0.05% ยีสต์ในการทดลองนี้เป็นยีสต์จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที่มีโปรตีน 31.40% ไขมัน 4.00% เยื่อใย 0.20% และเถ้า18.00% โดยวิเคราะห์ตามวิธี AOAC (2000)

สัตว์ทดลองและการจัดการ

ใช้แม่ไก่ไข่ลูกผสมทางการค้าพันธุ์โรมันบราวน์ที่มีอายุ 32 สัปดาห์ สุ่มแม่ไก่จำนวน 250 ตัว แบ่งเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว ทดลองในโรงเรือนไก่ไข่ที่เป็นระบบปิด ควบคุมอุณหภูมิโดยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling system) ที่อุณหภูมิ 28$\pm$1 องศาเซลเซียส ไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ ใช้อาหารไก่ไข่สำเร็จทางการค้าที่มีโปรตีน 17.52% ไขมัน 3..44% เยื่อใย 7.53% และเถ้า 9.56% โดยวิเคราะห์ตามวิธี AOAC (2000)

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

ระยะเวลาในการทดลอง 8 สัปดาห์ แบ่งการเก็บข้อมูลตามช่วงอายุแม่ไก่เป็น 4 ช่วง ช่วงละ 14 วัน เก็บข้อมูลปริมาณอาหารที่กินทุกช่วงอายุเพื่อหาปริมาณอาหารที่กินต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เก็บข้อมูลจำนวนไข่ น้ำหนักไข่ และคัดขนาดไข่ทุกวัน เพื่อหาอัตราการไข่ต่อแม่ไก่มีชีวิต น้ำหนักไข่เฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ไข่ในแต่ละขนาด ในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงอายุ เก็บไข่จำนวน 3 ฟองของทุกซ้ำ เพื่อหาคุณภาพไข่ โดยหาค่าความถ่วงจำเพาะของไข่ (Pesti et al, 2005) ด้วยการลอยไข่ในน้ำเกลือ ที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน จำนวน 12 ระดับ

จาก 1.060 ถึง 1.104 โดยแต่ละระดับมีค่าห่างกัน 0.004 เพื่อประเมินคุณภาพเปลือกไข่ หาค่าฮอกยูนิต (Haugh unit) (Roush, 1981) วัดความกว้างและความสูงไข่แดงเพื่อหาดัชนีไข่แดง วัดสีไข่แดงด้วยพัดเทียบสี (Yolk color fan) ที่มีค่าคะแนน 1-15 ชั่งน้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักเปลือกไข่ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบไข่ วัดความหนาเปลือกไข่ 3 ตำแหน่ง ที่บริเวณกลางไข่ ด้านป้าน และด้านแหลมโดยใช้ไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาผิวโค้ง

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สมรรถภาพการผลิต

จากตารางที่ 1 พบว่า อัตราการไข่ของแม่ไก่ที่อายุ 32-33 สัปดาห์ในกลุ่มที่เสริมเซลล์ยีสต์มีค่าสูงที่สุด (97.53%) แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และที่อายุ 36-37 สัปดาห์ก็มีแนวโน้มที่จะมีอัตราการไข่สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($p=0.096$) ด้านน้ำหนักไข่ที่อายุ 36-37, 38-39 และ 32-39 สัปดาห์ในกลุ่มที่ได้รับเซลล์ยีสต์มีน้ำหนัก (58.50, 59.03 และ 58.39 กรัมตามลำดับ) มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมนิวคลีโอไทด์ โดยมีน้ำหนักไข่มากกว่ากลุ่มควบคุม 2.38, 2.50 และ 2.46% ที่อายุ 36-37, 38-39 และ32-39 สัปดาห์ ตามลำดับ ในกลุ่มที่ได้รับเซลล์ยีสต์และกลุ่มที่ได้รับนิวคลีโอไทด์ พบว่า ปริมาณอาหารที่กินต่อวันมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($p<0.05$) ที่อายุ 34-35 สัปดาห์ แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับยีสต์เซลล์แตก และมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุดในกลุ่มที่ได้รับเซลล์ยีสต์ที่อายุ 36-37 สัปดาห์โดยใช้อาหาร 1.90 กิโลกรัมต่อการให้ไข่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุม 5.94% แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับยีสต์เซลล์แตกและนิวคลีโอไทด์ และที่อายุ 38-39 สัปดาห์มีแนวโน้ม ($p=0.081$) ด้านประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ยีสต์ประกอบด้วยตัวเซลล์ที่มีโปรตีน ไขมัน และสารอาหารอื่น ๆ และผนังเซลล์ยีสต์ซึ่งเป็นสารกูลแคน แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์และไคติน จึงเป็นแหล่งโปรตีนและมีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิต้านทาน Ali (2004) รายงานว่า ยีสต์จากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมเกษตรจะมีโปรตีน 27-29% และ Sharif et al. (2012) พบว่า ยีสต์จากของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลจะมีโปรตีนประมาณ 30% มีกรดอะมิโนทีจำเป็น แคลเซียม ฟอสฟอรัส กลูแคนและแมนแนน เป็นต้น (Rameshwari & Karthikeyan, 2005) กลูแคน และแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ มีคุณสมบัติกระตุ้นภูมิต้านทานของสัตว์ ขัดขวางการเจริญของเชื้อโรคในระบบทางเดินอาหารโดยสามารถจับกับโปรตีนตัวรับที่ผิวผนังเซลล์เม็ดเลือดสัตว์กระตุ้นการหลั่งสารที่ใช้ป้องกันและกำจัดแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค (อุทัย คันโธ, 2559) จึงช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตและภูมิต้านทานของร่างกาย ส่งเสริมพัฒนาการของเนื้อเยื่อบุผนังท่อระบบทางเดินหายใจ และผนังท่อทางเดินอาหารมีผลให้ความสูงของวิลไลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซึมของอาหารดีขึ้น นอกจากนี้ยังส่งเสริมการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จึงทำให้สุขภาพของระบบทางเดินอาหารจึงดีขึ้น (Zhang et al., 2020; Wu et al., 2018; Ding et al., 2019 และ Park et al., 2008) กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเซลล์ยีสต์ในการทดลองจึงมีอัตราการไข่สูงและน้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น และเพิ่มในทุกช่วงอายุจนพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่อายุ 36-37 สัปดาห์ และประสิทธิภาพการใช้อาหารก็มีแนวโน้มจะดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Firman et al. (2013) พบไก่งวงที่อายุ 18 สัปดาห์ที่ได้รับอาหารเสริมเซลล์ยีสต์ (Inactive) ที่ระดับ 0.062%, 0.125% และ 0.25% มีประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ดีกว่ากลุ่มควบคุม ไม่มีความแตกต่างของการเสริมยีสต์เซลล์แตก 2% ในการทดลองกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณที่เสริมไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นภูมิต้านทานจนทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับ Bolacali & Irak (2017) พบการเสริมยีสต์เซลล์แตกในอาหารนกกระทาที่ระดับ 2% ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและปริมาณอาหารที่กินดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 อัตราการไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

สมรรถภาพการผลิตไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
อัตราการไข่ (%)	32-33	94.35^{b} ±2.10	97.53^{a} ±1.05	93.53^{b} ±3.24	94.39^{b} ±1.38	95.65^{ab} ±1.29	0.039
	34-35	91.57 ±3.62	93.00 ±1.17	94.29 ±1.68	93.16 ±2.53	92.43 ±1.20	0.435
	36-37	91.00 ±3.87	94.71 ±2.40	93.14 ±1.20	91.25 ±2.68	90.43 ±2.29	0.096
	38-39	89.14 ±4.47	93.86 ±2.06	92.14 ±1.96	90.94 ±4.86	88.86 ±5.17	0.271
	32-39	91.52 ±3.18	94.78 ±1.29	93.28 ±1.17	92.44 ±2.13	91.84 ±1.32	0.106
น้ำหนักไข่ (ก.)	32-33	56.38 ±1.10	57.78 ±0.33	56.49 ±1.05	57.20 ±1.38	56.12 ±0.43	0.072
	34-35	56.83 ±1.10	58.29 ±0.49	57.24 ±1.03	57.60 ±1.49	56.61 ±0.58	0.112
	36-37	57.14^{b} ±0.96	58.50^{a} ±0.40	57.31^{ab} ±0.86	57.84^{ab} ±1.22	56.59^{b} ±0.68	0.030
	38-39	57.59^{b} ±0.68	59.03^{a} ±0.93	57.38^{b} ±0.86	58.44^{ab} ±1.21	57.44^{b} ±1.01	0.049
	32-39	56.99^{b} ±0.92	58.39^{a} ±0.34	57.10^{b} ±0.91	57.77^{ab} ±1.29	56.69^{b} ±0.62	0.041
ปริมาณอาหารที่กิน (ก./ตัว/วัน)	32-33	103.64 ±1.32	107.12 ±2.57	105.38 ±1.85	105.35 ±1.11	104.33 ±2.01	0.071
	34-35	103.74^{ab} ±1.13	105.44^{a} ±1.64	104.35^{ab} ±1.56	104.70^{a} ±1.94	102.17^{b} ±1.82	0.053
	36-37	104.86 ±1.39	105.38 ±2.08	105.11 ±1.40	104.55 ±2.16	104.53 ±2.03	0.944

ตารางที่ 1 อัตราการไข่ น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (ต่อ)

สมรรถภาพการผลิตไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
	38-39	105.21 ±0.61	106.29 ±3.60	104.42 ±2.79	108.26 ±4.10	104.65 ±4.19	0.379
	32-39	104.36 ±0.88	106.06 ±1.86	104.81 ±1.57	105.71 ±2.17	103.92 ±2.14	0.317
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	32-33	1.61 ±0.03	1.57 ±0.05	1.64 ±0.03	1.61 ±0.04	1.60 ±0.6	0.123
	34-35	2.00 ±0.08	1.95 ±0.06	1.93 ±0.05	1.95 ±0.08	1.95 ±0.06	0.661
	36-37	2.02^{a} ±0.08	1.90^{b} ±0.06	1.97^{ab} ±0.10	1.98^{ab} ±0.06	2.04^{a} ±0.08	0.021
	38-39	2.05 ±0.10	1.91 ±0.08	1.97 ±0.07	2.04 ±0.10	2.05 ±0.07	0.081
	32-39	1.92 ±0.07	1.83 ±0.05	1.88 ±0.01	1.90 ±0.06	1.91 ±0.06	0.130

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±S.D.; ^{a,b} อักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กลุ่มทดลองที่ 1 อาหารปกติ กลุ่มทดลองที่ 2 อาหารปกติเสริมเซลล์ยีสต์ 5% กลุ่มทดลองที่ 3 อาหารปกติเสริมยีสต์เซล์แตก 2% กลุ่มทดลองที่ 4 อาหารปกติเสริมนิวคลีโอไทด์ 0.25% และ กลุ่มทดลองที่ 5 อาหารปกติเสริมเบต้ากลูแคน 0.05%

คุณภาพไข่

คุณภาพไข่และส่วนประกอบของไข่ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ค่าฮอกยูนิต และค่าความสูงไข่ขาว ซึ่ง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพไข่ในไก่ที่อายุ 34-35, 36-37, 38-39 และ 32-39 สัปดาห์ ในไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมนิวคลีโอไทด์จะมีค่าสูงที่สุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญโดยที่อายุ 32-39 สัปดาห์ มีค่าฮอกยูนิตสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ 4.15-6.26% และความสูงไข่ขาวสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ 7.07-12.58% ทั้งนี้เนื่องจาก นิวคลีโอไทด์จะเกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาบอลิซึม การส่งถ่ายพลังงาน เป็นโคเอนไซม์ การสร้างโปรตีน การเจริญและการพัฒนาของเซลล์จึงมีผลต่อการเจริญเติบโต ความสมบูรณ์ของผนังลำไส้และระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ ทัศนีย์ ตรัยรัตน์อภิวัน และคณะ (2560) พบว่าการเสริมนิวคลีโอไทด์ 1.5% ในอาหารไก่เนื้อมีแนวโน้มจะช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตและลักษณะทางจุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก การเสริมนิวคลีโอไทด์ที่ระดับ 0.1% ในอาหารไก่เนื้อทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน เนื้อไก่มีสีแดงเข้มขึ้น ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง (Chiofalo et al., 2011) ทั้งนี้เนื่องจากนิวคลีโอไทด์ส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนโดยเฉพาะคอลาเจน (Zhang et al., 2008) ดังนั้นการเสริมนิวคลีโอไทด์ในการทดลองนี้จึงช่วยในการสร้างโปรตีนไข่ขาว จึงทำให้ค่าฮอกยูนิตและค่าความสูงไข่ขาวสูงกว่า

กลุ่มอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Lilburn & Jensen (1984); Jensen et al. (1976) และ Jensen et al. (1978) ที่รายงานว่ากากพืชหมักซึ่งเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมอาหารทำให้คุณภาพไข่ขาวดีขึ้น ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของเปลือกไข่ทางอ้อม ในแม่ไก่ที่อายุ 34-35 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับยีสต์เซลล์แตก นิวคลีโอไทด์ และเบต้ากลูแคนมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่ากลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมเซลล์ยีสต์ ($p<0.05$) แต่ความหนาเปลือกไข่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเสริมยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์ รวมทั้งเบต้ากลูแคน ทำให้ผนังลำไส้เล็กแข็งแรง มีการสร้างและซ่อมแซมเยื่อบุผนังลำไส้เร็วขึ้น ทำให้การดูดซึมอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งแตกต่างกับ Hameed et al. (2019) ที่เสริมยีสต์ในอาหารแม่ไก่ที่อายุ 40-50 สัปดาห์ที่ระดับ 0.2% ทำให้น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาวและค่าฮอกยูนิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) แต่ความหนาเปลือกไข่ลดลงตามระดับยีสต์ที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ($p<0.05$) ซึ่งน้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาวและน้ำหนักเปลือกไข่ในการทดลองครั้งนี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องจากช่วงอายุของไก่ทดลองที่แตกต่างกันและระดับของยีสต์ที่เสริมต่างกัน

ตารางที่ 2 ค่าฮอกยูนิต ความสูงไข่ขาว ดัชนีไข่แด สีไข่แดง ค่าความถ่วงจำเพาะ และความหนาเปลือกไข่

คุณภาพไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
ฮอกยูนิต	32-33	82.41 ±1.85	83.40 ±3.31	81.91 ±3.35	85.20 ±2.24	80.58 ±3.39	0.175
	34-35	85.33^{a} ±4.43	83.96^{a} ±3.37	83.34^{ab} ±3.28	86.74^{a} ±3.20	79.08^{b} ±3.06	0.028
	36-37	78.55^{b} ±4.97	81.08^{b} ±1.84	83.32^{ab} ±3.76	86.95^{a} ±3.31	82.93^{ab} ±2.65	0.016
	38-39	84.29^{ab} ±2.32	82.75^{abc} ±2.27	79.38^{c} ±3.22	86.08^{a} ±2.29	82.06^{bc} ±3.06	0.010
	32-39	82.65^{b} ±2.38	82.80^{b} ±1.63	81.99^{b} ±1.59	86.24^{a} ±1.57	81.16^{b} ±2.30	0.006
ความสูงไข่ขาว (มม.)	32-33	6.75 ±0.35	6.91 ±0.50	6.67 ±0.62	7.28 ±0.41	6.55 ±0.52	0.200
	34-35	7.28^{a} ±0.69	7.13^{a} ±0.63	6.92^{ab} ±0.53	7.50^{a} ±0.53	6.24^{b} ±0.49	0.026
	36-37	6.25^{b} ±0.63	6.61^{b} ±0.24	6.92^{ab} ±0.63	7.52^{a} ±0.57	6.87^{ab} ±0.34	0.012
	38-39	7.16^{ab} ±0.40	6.93^{ab} ±0.25	6.31^{c} ±0.51	7.42^{a} ±0.44	6.76^{bc} ±0.47	0.006
	32-39	6.86^{b} ±0.366	6.90^{b} ±0.29	6.71^{b} ±0.32	7.43^{a} ±0.29	6.60^{b} ±0.32	0.006

ตารางที่ 2 ค่าฮอกยูนิต ความสูงไข่ขาว ดัชนีไข่แดง สีไข่แดง ค่าความถ่วงจำเพาะ และความหนาเปลือกไข่ (ต่อ)

คุณภาพไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
ดัชนีไข่แดง (%)	32-33	49.72 ±2.90	49.28 ±1.26	48.55 ±0.84	48.96 ±0.62	48.84 ±2.33	0.871
	34-35	48.96 ±1.56	47.85 ±1.09	47.66 ±2.11	48.20 ±1.77	47.76 ±2.42	0.800
	36-37	47.61 ±1.71	47.95 ±2.04	47.84 ±1.96	48.98 ±2.45	47.78 ±1.60	0.821
	38-39	46.72 ±2.00	46.33 ±2.14	46.39 ±2.63	45.82 ±1.78	47.16 ±2.03	0.893
	32-39	48.26 ±1.13	47.86 ±0.47	47.61 ±0.81	47.99 ±0.87	47.88 ±0.93	0.834
สีไข่แดง	32-33	11.87 ±0.38	11.73 ±0.28	11.87 ±0.18	12.00 ±0.47	12.22 ± 0.45	0.363
	34-35	12.13 ±0.38	12.13 ±0.65	12.20 ±0.30	12.13 ±0.18	12.20 ±0.51	0.997
	36-37	12.13 ±0.55	11.87 ±0.38	12.20 ±0.38	12.07 ±0.28	12.20 ±0.30	0.651
	38-39	12.33 ±0.41	12.06 ±0.68	12.53 ±0.38	12.20 ±0.51	12.33 ±0.24	0.605
	32-39	12.12 ±0.29	11.95 ±0.40	12.20 ±0.16	12.10 ±0.16	12.23 ±0.16	0.454
ความถ่วงจำเพาะ	32-33	1.087 ±0.003	1.090 ±0.004	1.088 ±0.002	1.090 ±0.003	1.087 ±0.004	0.466
	34-35	1.085[b] ±0.015	1.088[ab] ±0.002	1.090[a] ±0.003	1.089[a] ±0.004	1.089[a] ±0.002	0.037
	36-37	1.087 ±0.002	1.089 ±0.003	1.089 ±0.003	1.087 ±0.003	1.089 ±0.002	0.444
	38-39	1.087 ±0.002	1.089 ±0.003	1.089 ±0.003	1.087 ±0.003	1.089 ±0.002	0.444
	32-39	1.087 ±0.001	1.089 ±0.001	1.089 ±0.001	1.088 ±0.001	1.089 ±0.002	0.142

ตารางที่ 2 ค่าฮอกยูนิต ความสูงไข่ขาว ดัชนีไข่แดง สีไข่แดง ค่าความถ่วงจำเพาะ และความหนาเปลือกไข่ (ต่อ)

คุณภาพไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
ความหนาเปลือกไข่ (มม.)	32-33	0.390 ±0.01	0.397 ±0.02	0.391 ±0.01	0.398 ±0.02	0.396 ±0.02	0.939
	34-35	0.365 ±0.01	0.377 ±0.02	0.385 ±0.01	0.382 ±0.02	0.381 ±0.01	0.366
	36-37	0.370 ±0.01	0.378 ±0.02	0.367 ±0.01	0.371 ±0.02	0.367 ±0.01	0.482
	38-39	0.359 ±0.02	0.357 ±0.02	0.373 ±0.02	0.373 ±0.01	0.361 ±0.02	0.679
	32-39	0.371 ±0.002	0.377 ±0.015	0.379 ±0.007	0.381 ±0.002	0.376 ±0.008	0.468

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±S.D.; [a,b,c] อักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กลุ่มทดลองที่ 1 อาหารปกติ กลุ่มทดลองที่ 2 อาหารปกติเสริมเซลล์ยีสต์ 5% กลุ่มทดลองที่ 3 อาหารปกติเสริมยีสต์เซล์แตก 2% กลุ่มทดลองที่ 4 อาหารปกติเสริม นิวคลีโอไทด์ 0.25% และ กลุ่มทดลองที่ 5 อาหารปกติเสริมเบต้ากลูแคน 0.05%

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของไข่

ส่วนประกอบของไข่(%)	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
ไข่ขาว	32-33	63.83 ±5.82	65.61 ±1.67	65.85 ±1.19	66.08 ±1.41	66.72 ±0.41	0.584
	34-35	65.97 ±1.19	65.33 ±1.52	65.72 ±1.35	66.32 ±0.63	64.90 ±0.79	0.363
	36-37	65.31 ±1.25	65.88 ±0.93	66.25 ±0.83	65.69 ±1.33	66.25 ±0.64	0.534
	38-39	66.13 ±1.32	65.49 ±0.75	65.10 ±1.55	67.14 ±4.13	65.03 ±1.37	0.534
	32-39	65.31 ±1.72	65.58 ±1.07	65.48 ±0.86	66.31 ±1.15	65.73 ±0.35	0.680

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของไข่ (ต่อ)

ส่วนประกอบของไข่(%)	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
ไข่แดง	32-33	26.75 ±6.09	24.57 ±1.27	24.45 ±1.04	24.12 ±1.23	23.79 ±0.48	0.528
	34-35	24.74 ±1.15	24.86 ±1.47	24.36 ±1.24	23.91 ±0.82	25.08 ±1.01	0.547
	36-37	24.99 ±1.38	24.23 ±0.78	24.83 ±0.43	24.64 ±1.11	24.03 ±0.66	0.463
	38-39	24.24 ±1.08	24.83 ±0.65	24.81 ±1.81	22.80 ±3.76	25.22 ±1.30	0.389
	32-39	25.18 ±1.73	24.62 ±0.79	24.61 ±0.87	23.86 ±1.04	24.53 ±0.59	0.463
เปลือกไข่	32-33	9.42 ±0.30	9.83 ±0.61	9.69 ±0.28	9.80 ±0.50	9.49 ±0.44	0.507
	34-35	9.29 ±0.22	9.80 ±0.19	9.93 ±0.15	9.77 ±0.64	10.02 ±0.44	0.056
	36-37	9.70 ±0.27	9.88 ±0.49	9.92 ±0.44	9.67 ±0.42	9.72 ±0.18	0.439
	38-39	9.63 ±0.52	9.67 ±0.40	10.10 ±0.43	10.06 ±0.53	9.74 ±0.58	0.754
	32-39	9.51 ±0.23	9.80 ±0.30	9.91 ±0.19	9.82 ±0.27	9.74 ±0.31	0.208

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±S.D.; กลุ่มทดลองที่ 1 อาหารปกติ กลุ่มทดลองที่ 2 อาหารปกติเสริมเซลล์ยีสต์5% กลุ่มทดลองที่ 3 อาหารปกติเสริมยีสต์เซล์แตก 2% กลุ่มทดลองที่ 4 อาหารปกติเสริมนิวคลีโอไทด์ 0.25% และกลุ่มทดลองที่ 5 อาหารปกติเสริมเบต้ากลูแคน 0.05%

จากตารางที่ 4 พบว่า แม่ไก่ที่อายุ 32-33, 36-37, 38-39 และ 32-39 สัปดาห์ ในกลุ่มที่เสริมเซลล์ยีสต์มีจำนวนไข่ขนาดใหญ่มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมากกว่ากลุ่มควบคุม 59.85-95.93% แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมนิวคลีโอไทด์ ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ยีสต์ประกอบด้วยส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารรวมทั้งนิวคลีโอไทด์และผนังเซลล์ยีสต์ มีสารสำคัญคือกลูแคนและแมนแนนที่มีผลต่อการกระตุ้นภูมิต้านทาน ความสมบูรณ์ของผนังลำไส้ซึ่งช่วยให้การย่อยได้ของโปรตีนเพิ่มขึ้น (Hameed et al., 2019) นิวคลีโอไทด์เป็นสารภายในเซลล์ยีสต์ที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนและสารประกอบอื่นๆ ในเซลล์ จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อน้ำหนักไข่และขนาดไข่ อาหารที่มีโปรตีนสูงจะทำให้อัตราการไข่และน้ำหนักเพิ่มขึ้น

ขนาดของไข่ใหญ่ขึ้น (Sharif et al., 2012; Rameshwari & Karthikeyan, 2005; อุทัย คันโธ, 2559; Zhang et al., 2020; Wu et al., 2018; Ding et al., 2019; Park et al., 2008; Shim et al., 2013)

ตารางที่ 4 จำนวนไข่ตามขนาดไข่

ขนาดไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
ไข่ขนาดใหญ่ (%)	32-33	17.46^{b} ±10.47	34.21^{a} ±5.81	23.08^{ab} ±12.72	24.96^{ab} ±10.61	15.65^{b} ±2.33	0.036
	34-35	20.16 ±9.54	35.23 ±6.87	27.84 ±8.32	25.53 ±11.61	17.84 ±8.96	0.056
	36-37	34.63^{b} ±12.36	50.53^{a} ±7.72	36.90^{b} ±5.19	42.02^{ab} ±11.44	30.60^{b} ±6.85	0.024
	38-39	36.36^{b} ±10.66	53.63^{a} ±8.50	36.76^{b} ±4.43	44.29^{ab} ±10.47	34.67^{b} ±12.39	0.030
	32-39	27.15^{b} ±9.88	43.40^{a} ±6.31	31.14^{b} ±7.19	34.20^{ab} ±10.31	24.69^{b} ±7.06	0.018
ไข่ขนาดกลาง (%)	32-33	55.80 ±4.91	50.06 ±7.07	50.44 ±12.55	52.50 ±4.87	55.23 ±6.24	0.669
	34-35	65.03 ±10.12	55.97 ±7.80	54.99 ±10.97	60.70 ±10.85	67.17 ±12.04	0.296
	36-37	45.97 ±10.97	35.71 ±6.19	44.40 ±7.43	41.51 ±8.95	46.78 ±5.84	0.231
	38-39	43.79 ±12.27	33.98 ±4.74	37.49 ±13.77	38.57 ±5.84	46.32 ±7.26	0.278
	32-39	52.64 ±8.97	43.93 ±5.72	46.83 ±10.28	48.32 ±6.40	53.87 ±6.16	0.262
ไข่ขนาดเล็ก (%)	32-33	26.74 ±8.28	15.74 ±6.24	26.48 ±10.00	22.55 ±10.75	29.12 ±6.92	0.158
	34-35	14.81 ±5.83	8.80 ±3.96	17.17 ±8.20	13.75 ±6.19	14.98 ±4.38	0.274
	36-37	19.40 ±5.95	13.76 ±4.60	18.70 ±9.07	16.47 ±5.84	22.62 ±3.89	0.252
	38-39	19.85 ±5.84	12.39 ±5.87	25.75 ±13.87	17.15 ±7.52	19.00 ±8.75	0.246

ตารางที่ 4 จำนวนไข่ตามขนาดไข่ (ต่อ)

ขนาดไข่	อายุ (สัปดาห์)	กลุ่มทดลอง					p-value
		1	2	3	4	5	
	32-39	20.20 ±5.95	12.67 ±3.86	22.03 ±9.95	17.48 ±7.31	21.43 ±4.78	0.208

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±S.D.; [a,b] อักษรที่ต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กลุ่มทดลองที่ 1 อาหารปกติ กลุ่มทดลองที่ 2 อาหารปกติเสริมเซลล์ยีสต์ 5% กลุ่มทดลองที่ 3 อาหารปกติเสริมยีสต์เซล์แตก 2% กลุ่มทดลองที่ 4 อาหารปกติเสริมนิวคลีโอไทด์ 0.25% และ กลุ่มทดลองที่ 5 อาหารปกติเสริมเบต้ากลูแคน 0.05%

สรุป

การเสริมเซลล์ยีสต์ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 5% จะทำให้น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้นและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในขณะที่การเสริมนิวคลีโอไทด์ที่ระดับ 0.25% จะช่วยปรับปรุงคุณภาพไข่ขาว การเสริมเซล์ยีสต์และการเสริมนิวคลีโอไทด์ที่ได้จากการวิจัยนี้ทำให้ได้ไข่ขนาดใหญ่มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ควรมีข้อมูลการวิเคราะห์ต้นทุนการเลี้ยงไก่ไข่แบบปกติและแบบเสริมวัตถุอื่น ๆ ในอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยและห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การอนุเคราะห์การวิเคราะห์อาหารทดลอง ขอขอบคุณบริษัทมิตรผล สเปชี่ยลตี้ ไบโอเทค จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ยีสต์และผลิตภัณฑ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กองส่งเสริมและพัฒนาปศุสัตว์. (2563). **สถานการณ์ปศุสัตว์ปี 2563**, สืบค้นจาก http://extension.dld.go.th/th1/images/stories/63

ดนุภัสตรา ชะนะเพีย, และสุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์. (2559). การใช้ประโยชน์จากยีสต์ผงสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในสุกรขุน. **แก่นเกษตร**. 44(1), 35-42.

ทัศนีย์ ตรัยรัตน์อภิวัน, รัชกฤช เลิศภัทรโกมล, ปฏิภาณ ใจเป็ง, และกรกมล ปดิฐพร. (2560). ผลการเสริมนิวคลีโอไทด์ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และลักษณะทางจุลภาคขอลำไส้เล็กในไก่เนื้อ. **สัตวแพทย์มหานครสาร**. 12(1), 1-10.

สุวรรณ แสนทวี, จักรพงษ์ ชายคง, และศศินิชา โตชัยภูมิ. (2555). ประสิทธิภาพการเสริมสารสกัดยีสต์ร่วมกับอินนูลินในอาหารไก่ไข่. **แก่นเกษตร.** 40(ฉบับพิเศษ 2), 498-501.

อุทัย คันโธ. (2559). **อาหารสุกรและสัตว์ปีกเชิงประยุกต์**. กรุงเทพมหานคร: ยู เค ที พับลิชชิ่ง จำกัด.

Ali, S. (2004). **Lysine enrichment of distillery sludge, it biological evalution and detoxification protential against aflatoxin B1.** Ph. D. Thesis, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

AOAC. (2000). **Official method of analysis of association of official analytical chemists**. AOAC, Washington, DC.

Bolacali, M., & Irak, K. (2017). Effect of dietary yeast autolysate on performance, slaughter, and carcass characteristics, as well as blood parameter, in quail of both genders. **South African Journal of Science**. 47, 460-470.

Ding, B., Zheng, J., Wang, X., Zhang, L., Sun, D., Xing, Q., Pirone, A., & Fronte. B. (2019). Effects of dietary yeast beta-1,3-1,6-glucan on growth performance, intestinal morphology and chosen immunity parameters changes in Haidong chicks. **Asian-Australas Journal of Animal Science.** 32, 1558–1564.

Chiofalo, B., Presti., V. L., Samoini, G., D'Alessandro, E., Chiofalo, V., & Luigi, L. (2011). Nucleotides in broiler chicken diet: effect on breast muscles quality. **Czech Journal of Food Sciences**. 29, 308-317.

Ding, B., Zheng, J., Wang, X., Zhang, L., Sun, D., Xing, Q., Pirone, A., & Fronte, B. (2019). Effects of dietary yeast beta-1,3-1,6-glucan on growth performance, intestinal morphology and chosen immunity parameters changes in Haidong chicks. **Asian-Australas Journal of Animal Science.** 32, 1558–1564.

Firman, J.D., Moor, D., Broomhead, J. & Mclntyre, D. (2013). Effect of dietary inclusion of a Saccharomyces cerevisiae fermentation product on performance and gut characteristics of male turkeys to market weight. **International Journal of Poultry Science.** 12, 141-143.

Hameed, R., Tahir, M., Khan, S. H., Ahmad, T., & J. Iqbal. (2019). Effect of yeast supplementation on production parameters, egg quality characteristics and crude protein digestibility in hens. **Advance in Life Sciences**. 6, 147-151.

Hashmi, I., Pasha, T.N., Jabbar, M.A., Akarm, M., & Hashmi, A.S. (2006). Study of absorption of yeast sludge against aflatoxins in broiler chick. **Journal of Animal and Plant Science.** 16, 1-2.

Hassan, H. (2011). Antioxidant and immune stimulating activity of yeast (Saccharomyces cerevisiae) autolysates. **World Apply Science**. 15, 1110-1119.

Jensen, L. S., Chang, C. H., & Maurice, D. V. (1976). Improvement in interior egg quality and reduction in liver fat in hens fed brewers dried grains. **Poultry Science**. 55, 1841-1847.

Jensen, L. S., Chang, C. H., & Wilson, S. P. (1978). Interior egg quality: Improvement by distillers feeds and trace elements. **Poultry Science**. 57, 648-654.

Lilburn, M. S., & Jensen, L. S. (1984). Evaluation of corn fermentation solubles as a feed ingredient for laying hens. **Poultry Science**. 63, 542-547.

Park, K.W., Rhee, A. R., Lee, I. Y., Kim, M. K., & Paik, I. K. (2008). Effect of various β-1,3-glucan supplements on the performance, blood parameter, small intestinal microflora and immune response in laying hens. **Korean Journal of Poultry Science**. 35, 183-190.

Pesti, G. M., Bakalli, R. I., Driver, I. P., Ateneio, A., & Foster, E. H. (2005). **Poultry nutrition and feeding**. Althens Inc., Georgia.

Rameshwari, K. S. & Karthikeyan, S. (2005). Distillery teast sludge (DYS) as an alternative feed resource in poultry. **International Journal of Poultry Science.** 4, 787-789.

Roush, W. B. (1981). T156 calculator programm for Haugh unit calculator. **Poultry Science**. 60, 1086-1088.

Sharif, M., Shahzad, M .A., Rehman, S., Khan, S., Ali, R., Khan, M. L., & Khan, K. (2012). Nutritional evaluation of distillery sludge and it effect as a substitute of canola on performance of broiler chickaen. **Asian-Austarian Journal of Animal Science**. 25, 401-409.

Shim, M. Y., Song, E., Billard, L., Aggrey, S. E., Pesti, G. M., & Sodsee, P. (2013). Effect of balanced dietary protein levels on egg production and egg quality parameters of individual commercial layer. **Poultry Science**. 92, 2687-2696.

Wu, C., Yang, Z., Song, C., Liang, C., Li, H., Chen, W., Lin, W., & Xie Q. (2018). Effects of dietary yeast nucleotides supplementation on intestinal barrier function, intestinal microbiota, and humoral immunity in specific pathogen-free chickens. **Poultry Science**. 97, 3837–3846.

Zhang, Jia-Cai, Chen, P., Zhang, C., Mohamed Khalil, M., Zhang, Ni-Ya, De-Sheng, Q., Wang, You-Wei, & Sun, Lv-Hui. (2020). Yeast culture promotes the production of aged laying hens by improving intestinal digestive enzyme activities and the intestinal health status. **Poultry Science**. 99, 2026-2032.

Zhang, G. Q., Ma, Q. G. & Ji, C. (2008). Effect of dietary inosinic acid o carcass characteristics, meat quality and deposition of inosinic acid in broilers. **Poultry Science**. 87, 1364-1369.

การออกแบบสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล 2.4GHz สำหรับการประยุกต์ใช้การส่งกำลังงานไร้สาย

โยษิตา เจริญศิริ[1] ชุมพล ปทุมมาเกษร[2] เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์[3*]

Received : August 12, 2020
Revised : April 21, 2021
Accepted : April 23, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลสำหรับการส่งกำลังงานไร้สาย โดยใช้หลักการออกแบบของสายอากาศแบบร่องเรียวไมโครสตริปที่มีความกว้างแถบ มีการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่สมมาตรและง่ายต่อการปรับสมดุลของอิมพีแดนซ์ สายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลได้ถูกออกแบบโดยใช้โปรแกรมการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับในการสื่อสารย่าน Wi-Fi โดยสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลนี้ มีขนาด 75x75 มม. ใช้แผ่น PCB ชนิด FR4 ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริก 4.4 ความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมย่านความถี่ 2 GHz – 6 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB มีอัตราขยายระหว่าง 4.5 dBi - 9.48 dBi และมีการแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง เนื่องจากอัตราขยายที่สูงนี้จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในการส่งกำลังงานไร้สาย เมื่อนำมาต่อร่วมกับวงจรเร็กติไฟเออร์โดยทำหน้าที่เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งชุดสายอากาศ 1 ชุดที่ความถี่ 2.4 GHz จะได้ค่ากำลังงานที่ภาครับ -20dBm แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ 0.913V กระแส 20mA ทั้งนี้สามารถนำแรงดันจากชุดสายอากาศภาครับหลายชุดมาต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันและกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้

คำสำคัญ: การส่งกำลังแบบไร้สาย สายอากาศวิวอลดิ สายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล

[1] อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: yosita.cha@vru.ac.th
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: toy161@hotmail.com
[3] อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม อีเมล: shalerm123@gmail.com
** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: shalerm123@gmail.com*

DESIGN OF VIVALDI ANTIPODAL ANTENNA 2.4 GHz FOR WIRELESS POWER TRANSMISSION APPLICATION

Yosita Charoensiri[1] Chumpon Patummakason[2] Shalermchon Tangwachirapan[3*]

Abstract

This paper presents the Vivaldi Antipodal antenna 2.4GHz for wireless power transmission application based on the design of tapered slot antenna slender micro-stripe with bandwidth. The proposed antenna had the symmetric dissipated energy plane of electrical and magnetic fields, which was also easy to adjust the equilibrium of impedance. In addition, the antenna was designed using computer simulation so as to obtain the parameters which are suitable for Wi-Fi communication. The simulation results showed that the antenna had the dimension of 75x75 mm. The material was a PCB of the FR4 type with the dielectric constant of 4.4, the operating frequency band with in the range of 2 – 6 GHz, a feedback loss of less than -10 dB, and a gain of 4.5–9.48 dBi. The antenna had the directional energy dissipation and high gains which were good for wireless power transmission application, when connected with a rectifier circuit that acted as a conversion from AC power to DC power. A set of antennas at a frequency of 2.4 GHz would get a power factor of -20 dBm which can be converted converting to DC 0.913V, 20mA. The voltage from multiple receiver antenna units could be connected in series to increase the DC voltage and power.

Keywords: Wireless Power Transmission, Vivaldi antenna, Vivaldi Antipodal antenna

---

[1] Lecturer, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage, e-mail: yosita.cha@vru.ac.th

[2] Assistant Professor, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage, e-mail: toy161@hotmail.com

[3] Lecturer, Faculty of Science and Technology Nakhon Pathom Rajabhat University, e-mail: shalerm123@gmail.com

** Corresponding author, e-mail: shalerm123@gmail.com*

บทนำ

สายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะแบบชี้ทิศทาง แบนด์วิธกว้าง มีประสิทธิภาพในการแผ่รังสีดี ประกอบด้วยช่องเปิดรูปโค้งระหว่างแถบนำทาง 2 ด้าน (Alhawari et al., 2012) ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างค่าความต้านทานของสายอากาศกับพื้นที่ว่าง อีกทั้งยังมีรูปร่างขนาดเล็ก มีโดเมนความถี่และโดเมนเวลาที่ดี ถึงแม้ว่ารูปทรงเรขาคณิตของการกำหนดค่าสายอากาศนี้จะเป็นรูประนาบก็ตาม แต่ก็ยังสามารถสร้างรูปแบบการแผ่รังสี แบบสมมาตรใกล้เคียงกับพื้นผิวได้ สายอากาศชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน เช่น Radar-Imaging, Wireless Monitoring, Precision Tracking and Wi-fi Application (Moosazadeh & Kharkovsky, 2015; Bayat & Mirzakhani, 2012) เนื่องจากปัจจัยทางด้านอัตราขยายต้องสูงขึ้นเพื่อตอบสนองความสามารถในการสะท้อน ส่งผ่านหรือดูดกลืน ได้มีงานวิจัย (Siddiqui et al., 2011) เป็นการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล โดยใช้เทคนิคการเพิ่มไดอิเล็กตริกเลนส์ ด้วยวัสดุ Arlon AD255 ซึ่งวัสดุที่หาได้ยาก ออกแบบเป็นรูปวงรีในส่วนหน้าของช่องเปิดแบบร่องเรียว (Bang et al., 2018 ; Tangwachirapan et al., 2019) สามารถให้อัตราขยายมากกว่า 5 dBi จากคุณลักษณะเด่นของสายอากาศที่มีให้อัตราขยายสูงและมีช่วงแถบความถี่กว้าง ผู้วิจัยได้นำเสนอ สายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล โดยมีการปรับขนาดส่วนป้อนสัญญาณและมีสตับเป็นรูปทรงเรขาคณิตแบบโคซายด์สำหรับการแมทช์ตลอดย่านความถี่ 2-6 GHz ใช้ไดอิเล็กตริกเลนส์ซึ่งจัดหาได้ง่ายเป็นวัสดุชนิด FR4 ออกแบบเป็นรูปสามหลี่ยมในส่วนหน้าช่องเปิดของร่องเรียว และเป็นเนื้อเดียวกันกับฐานรองของสายอากาศหลัก เพื่อลดความซับซ้อนในการออกแบบและสร้าง อีกทั้งยังให้อัตราขยายที่สูงตลอดย่านความถี่ 2-6 GHz โดยมีขนาด 75x75 มม. เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานการส่งกำลังงานไร้สาย ในระบบสื่อสาร Wi-Fi ที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.7 GHz อีกด้วย

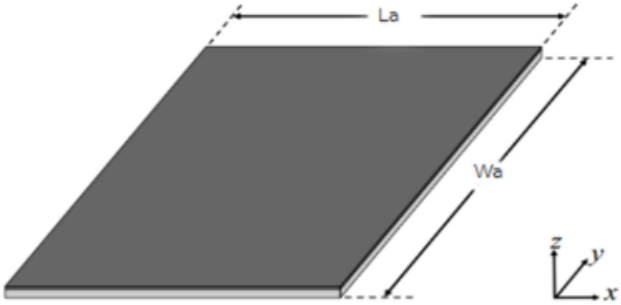
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและออกแบบสายอากาศที่มีคุณสมบัติอัตราขยายสูงแต่มีขนาดเล็กสำหรับการส่งกำลังงานไร้สายที่เป็นรูปแบบวิวอลแอนติโพดอล

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบโครงสร้างสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่มีความถี่ 2 GHz – 6 GHz จะเริ่มต้นจากพารามิเตอร์พื้นฐานคือ กำหนดให้ส่วนตัวนำที่ความหนา 0.035 mm. ทั้งสองด้านให้มีขนาดใกล้เคียงกัน จัดวางในแต่ละด้านทั้งสองด้านแบบสมมาตรบนวัสดุฐานรองแบบ FR4 ที่ความหนา 1.6 mm โดยต้องการให้สายอากาศนั้นมีการแพร่กระจายคลื่นตามที่ต้องการ จะถูกพิจารณาวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศคือ PCB ชนิด FR4 ที่มีค่าคงที่

ไดอิเล็กตริกขนาด 4.4 กำหนดให้ความถี่ต่ำ (f_t) , ความหนาของพื้นผิว (h), และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) , ความกว้าง (Wa) และความยาว (La) ของสายอากาศดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดของโครงสร้างสายอากาศ

คำนวณหาค่าความกว้าง (Wa) และความยาว (La) ของตัวสายอากาศโดย สมการที่ 1

$$La = Wa = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{1}$$

โดยที่ c คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8

f คือ ความถี่(เริ่มต้น) ที่ต้องการออกแบบมีค่าเท่ากับ 2 GHz

ε_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก

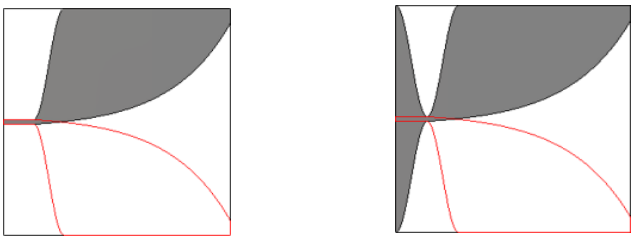
ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความกว้างและความยาวได้ดังต่อไปนี้

$$La = Wa = \frac{3\times10^8}{2.0\times10^9\times\sqrt{4.4}} = 72 \approx 75 \tag{2}$$

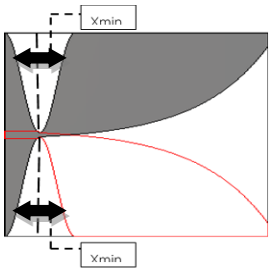
การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลป้อนด้วยสายนำสัญญาณ ระนาบร่วมตามได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมแล้ว ทำการสร้างส่วนโค้งตามสมการ (2) เพื่อออกแบบส่วนหน้าช่องเปิดร่องเรียวของสายอากาศ ขั้นต่อไปทำการปรับระนาบกราวด์ตามสมการ (3) บนโปรแกรมจำลองแบบ CST (Computer simulation software) ดังภาพที่ 2

$$y = C_1 e^{BX} + C_2 \tag{3}$$

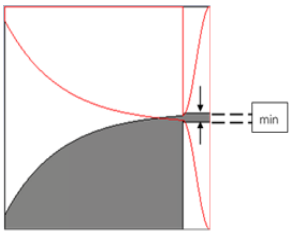
$$y_A = A_1 \cos(2\pi x/k) + A_2 \tag{4}$$



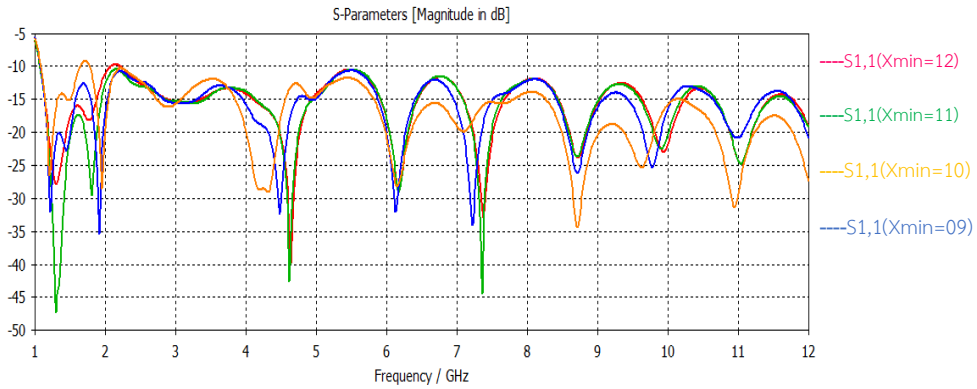
ภาพที่ 2 การสร้างสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลในช่วงเริ่มต้น



ภาพที่ 3 การปรับระนาบกราวด์สายอากาศ



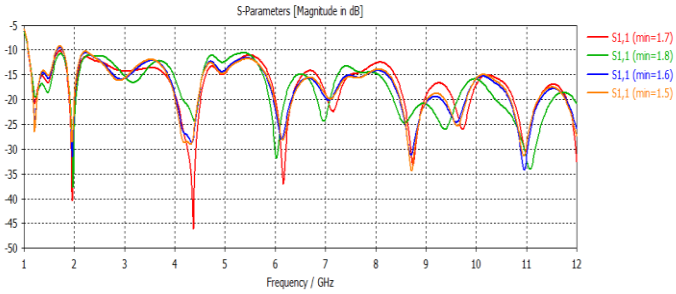
ภาพที่ 4 การปรับความกว้างสตริป



ภาพที่ 5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ เมื่อปรับระนาบกราวด์ของสายอากาศ

เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ระนาบกราวด์ของสายอากาศที่เหมาะสมและดีที่สุดแล้วและพิจารณากราฟดังภาพที่ 5 พบว่าที่ค่า Xmin = 10 เป็นค่าที่สนใจโดยให้ผลตอบสนองความถี่จากค่าสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ในช่วงความถี่สื่อสาร 2 GHz – 3 GHz และ 5 GHz – 6 GHz ซึ่งเป็นช่วง Wi-Fi ดีที่สุดสำหรับช่วงอื่นคือ 3 GHz – 5 GHz

นั้นไม่ได้ถูกใช้งานแต่ยังคงให้ผลตอบสนองตลอดย่านให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB และพบว่าค่าความสูญเสียย้อนกลับ มีแบนวิดธ์ในช่วงความถี่ที่ต้องการ 2 GHz – 6 GHz แต่ความสูญเสียย้อนกลับในช่วงความถี่ 2 GHz – 3 GHz และ 5 GHz – 6 GHz ยังไม่เพียงพอจึงทำการปรับความกว้างของส่วนสตริปในลำดับต่อไป

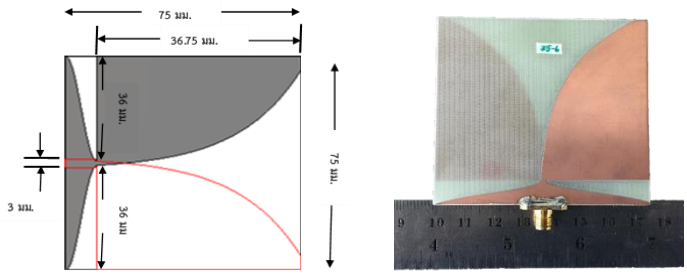


ภาพที่ 6 ค่าความสูญเสียย้อนกลับจากการปรับความกว้างสตริป

เมื่อทำการปรับความกว้างในส่วนสตริปพิจารณาจากภาพที่ 6 พบว่าที่ค่าความกว้างส่วนสตริป 1.5 mm. และ 1.6 mm. ให้ผลตอบสนองความถี่จากค่าสูญเสียย้อนกลับตลอดย่าน 2 GHz – 3 GHz และ 5 GHz – 6 GHz มีค่าต่ำที่สุด

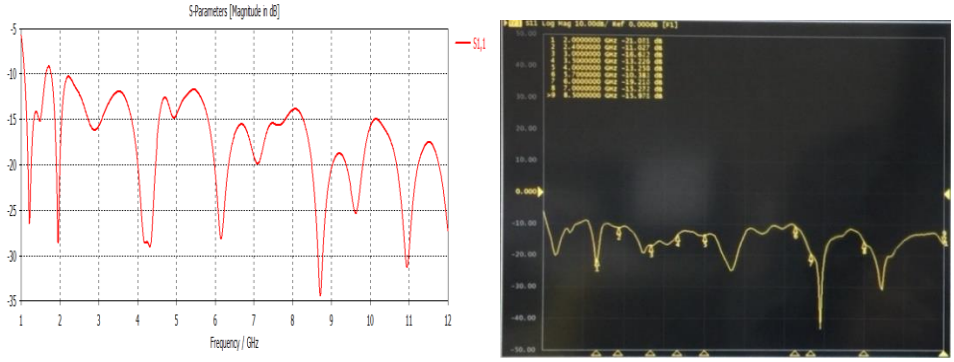
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่ได้ทำการจำลองออกแบบด้วยโปรแกรมจำลองแบบสายอากาศ CST ที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ขั้นต่อไปคือนำมาทำการสร้างสายอากาศต้นแบบสำหรับการใช้งานจริง พบว่า สายอากาศที่ถูกสร้างมาเพื่อใช้งานได้จริงต้องทำการปรับขนาดของโครงสร้างให้มีความสมดุล เนื่องจากปัจจัยของวัสดุที่ใช้ในการทำสายอากาศต้นแบบมีผลต่อค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่เหมาะสม โดยหลังจากจากปรับขนาดสายอากาศต้นแบบให้มีความเหมาะสมแล้วจะได้ขนาดของสายอากาศต้นแบบแสดงดังภาพที่ 7 และสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่สร้างขึ้นจริงโดยสร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีความหนา 1.6 มม.



ภาพที่ 7 โครงสร้างสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลจากการจำลองและสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลสร้างขึ้นจริง

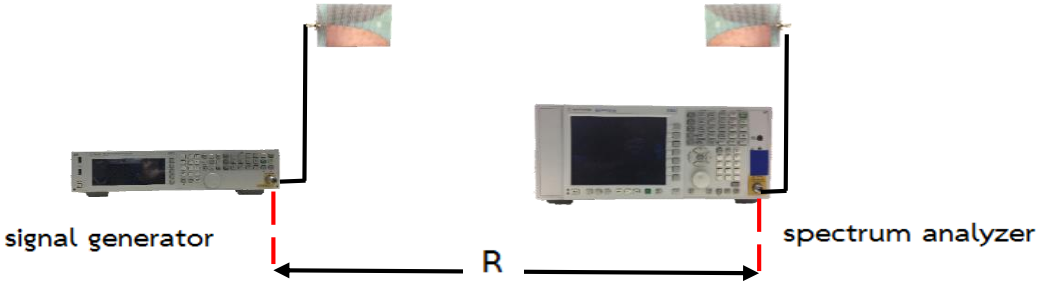
เมื่อได้ทำการออกแบบจำลองสายอากาศต้นแบบและสร้างขึ้นมาจริง ขั้นต่อมาได้ทำการวัดและทดสอบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบนด์วิดท์และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่ถูกสร้างขึ้นมา



(ก) ผลจำลองค่าความสูญเสียย้อนกลับ **(ข)** ผลการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับ

ภาพที่ 8 ผลจำลองและผลการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล

ภาพที่ 8 พบว่าผลการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่สร้างขึ้นมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับค่อนข้างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผลการจำลอง โดยที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าเท่ากับ -11.02 dB ที่ความถี่ 4 GHz มีค่าเท่ากับ -13.608 dB และที่ความถี่ 5.7 GHz มีค่าเท่ากับ -10.14 dB โดยสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่สร้างขึ้นจริงมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่ความถี่ 2.4 GHz / 5 GHz



ภาพที่ 9 การทดสอบวัดอัตราขยายของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล

การวัดอัตราขยายของสายอากาศ โดยทำการต่ออุปกรณ์ตามภาพที่ 9 อุปกรณ์ถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณ (RF Signal generator) เป็นตัวป้อนสัญญาณที่ช่วงความถี่ระหว่าง 2 – 6 GHz ส่งกำลังคลื่นออกไปที่ 0 dBm โดยผ่านสายโคแอกเชียล (Coaxial cable) ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์มไปยังสายอากาศด้านส่ง

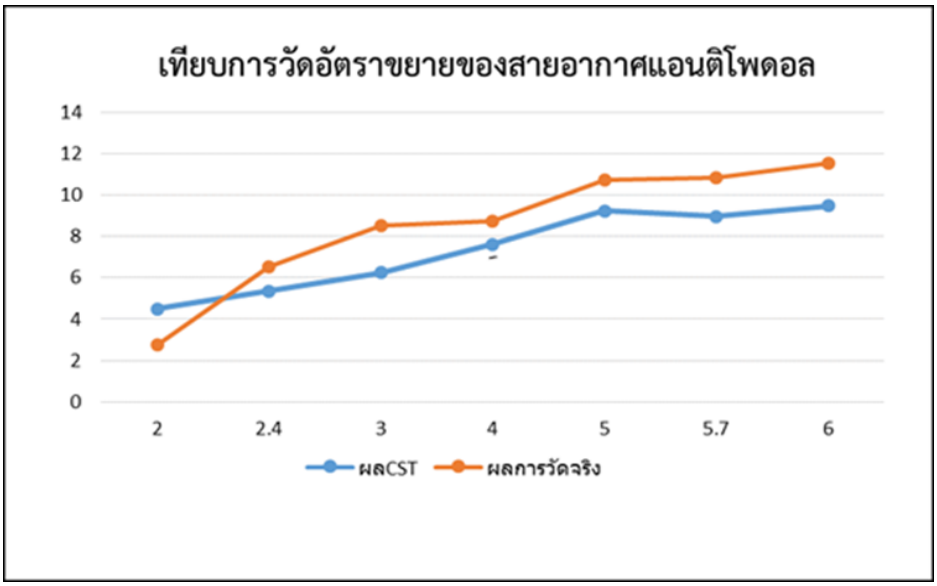
(Transmission antenna) ที่เป็นตัวส่งสัญญาณแผ่ไปยังสายอากาศด้าน รับ (Receiver antenna) กำหนดแถบความถี่ (Spectrum analyzer) ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศ เนื่องจาก สายอากาศที่สร้างขึ้นมาจริงสามารถนำมาทดสอบ และคำนวณหาอัตราขยายทั้งด้านรับและด้านส่งของสายอากาศจากสมการ

$$2G = P_r - P_t + 10\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \quad (5)$$

โดยที่ P_r คือ กำลังงานที่รับ (dBm)

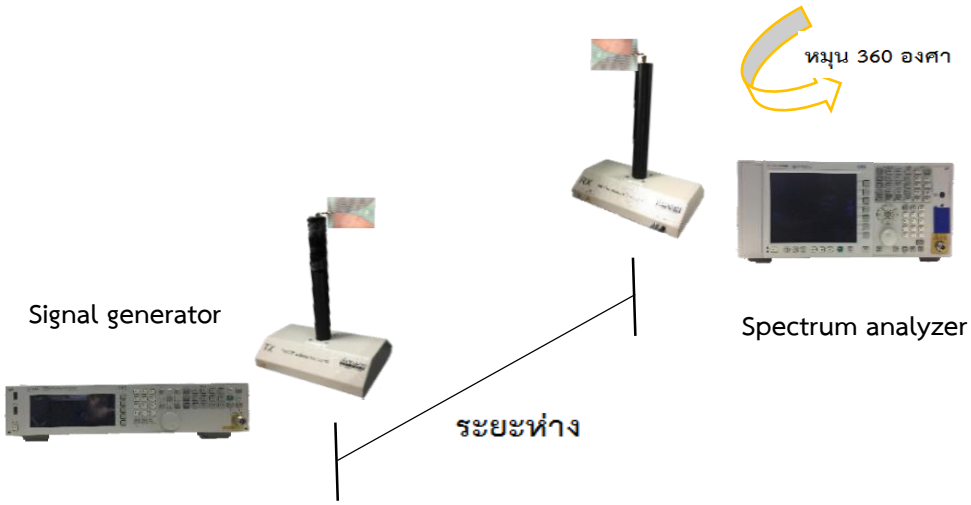
P_t คือ กำลังงานที่ส่ง (dBm)

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับ และ ตัวส่ง (m)



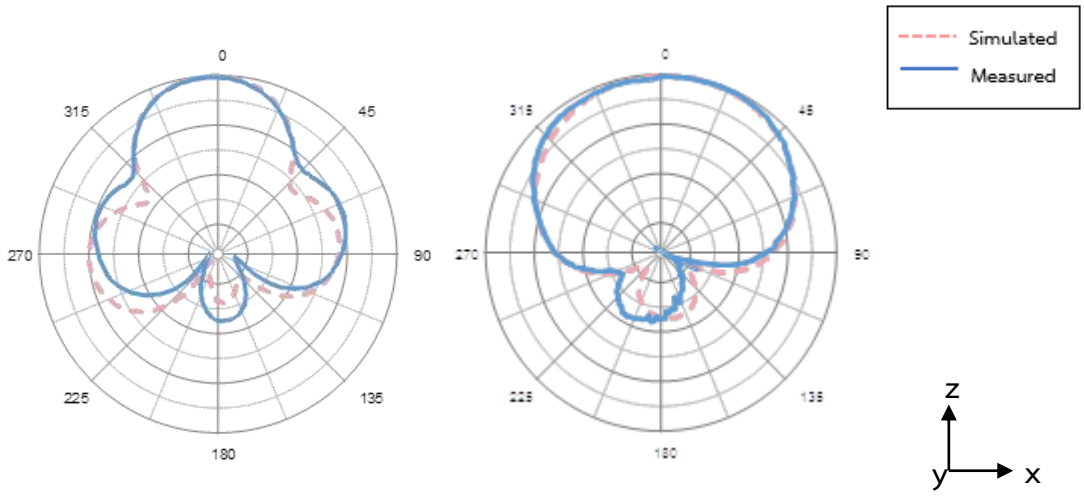
ภาพที่ 10 ค่าอัตราการขยายของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล

อัตราขยายของสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลระหว่างผลการจำลองและผลการวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่า ที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าอัตราขยาย 5.8 dBi และ 6.54 dBi ที่ความถี่ 4 GHz มีค่าอัตราขยาย 7.9 dBi และ 8.76 dBi สำหรับที่ความถี่ 5.7 GHz มีค่าอัตราขยาย 9.1 dBi และ 10.8 dBi ตามลำดับ

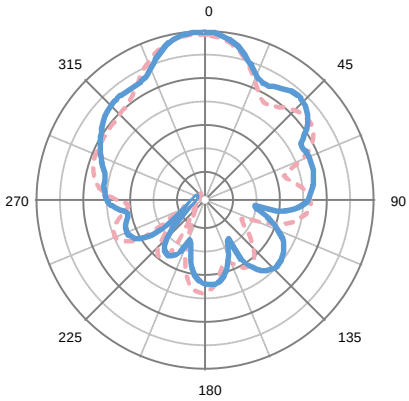


ภาพที่ 11 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศในแนวระนาบ xz

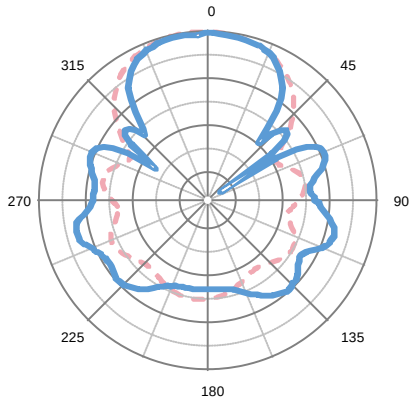
การทดสอบวัดรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศทำการต่ออุปกรณ์ตามภาพที่ 4.11 โดยต่ออุปกรณ์เข้ากับเครื่องสร้างสัญญาณ (Signal generator) เป็นตัวป้อนสัญญาณที่ความถี่ 2.4 GHz , 4 GHz และที่ความถี่ 5.7 GHz ส่งคลื่นที่ส่งออกไปมีค่าเท่ากับ 5 dBm โดยผ่านสายโคแอกเชียล ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ไปยังสายอากาศด้านส่ง (Transmission antenna) ที่เป็นตัวส่งสัญญาณการแผ่พลังงานไปยังสายอากาศด้านรับที่เป็นตัวรับสัญญาณ ซึ่งเป็นสายอากาศที่จะทำการทดสอบโดยส่งผ่านสายโคแอกเชียล เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม (Spectrum analyzer)



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าความถี่ 2.4 GHz (ข) ระนาบสนามแม่เหล็กความถี่ 2.4 GHz



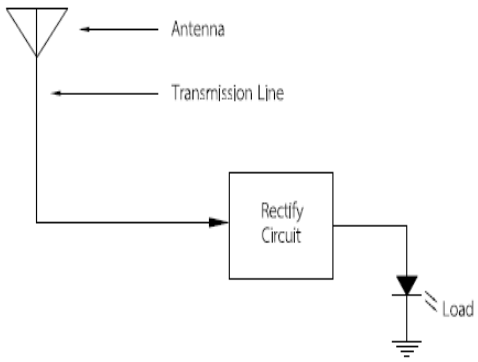
(ค) ระนาบสนามไฟฟ้าความถี่ 5.7 GHz



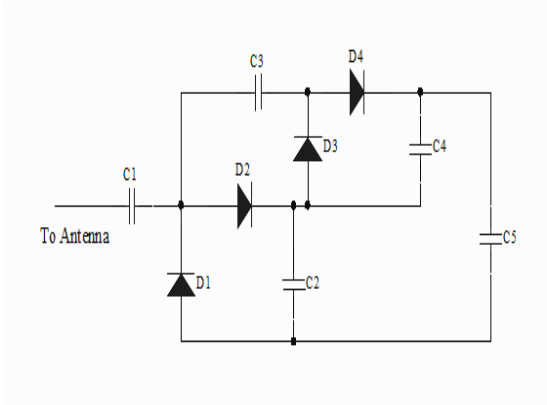
(ง) ระนาบสนามแม่เหล็กความถี่ 5.7 GHz

ภาพที่ 12 การแผ่พลังงานของสายอากาศจากผลการวัดและผลการจำลองในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ความถี่ 2.4 GHz และ ความถี่ 5.7 GHz

จากภาพที่ 12 การแผ่พลังงานจะพบว่าที่ช่วงความถี่ทดสอบความถี่ 2.4 GHz และ 5.7 GHz พบว่ามีลักษณะเจาะจงทิศทาง และมีการแผ่พลังงานที่สอดคล้องกับผลการจำลองและการวัดจริง



ภาพที่ 13 การต่อสายอากาศกับชุดเร็กติไฟเออร์ไปยัง Load LED ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Two-stage



ภาพที่ 14 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็น

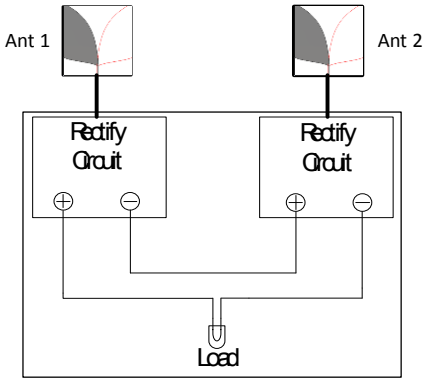
จากภาพที่ 13 แสดงรูปแบบในการต่อสายอากาศกับชุดเร็กติไฟเออร์ไปยัง Load LED ที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งในการออกแบบจะต้องทำการแมตช์ชิ่งระหว่างสายอากาศกับวงจรเร็กติไฟเออร์เพื่อเกิดการส่งผ่านที่ดี ส่วนภาพที่ 14 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Two-stage โดยที่วงจรแบบ Two-stage

ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ 5 ตัว และไดโอด 4 ตัว ต่อแบบอนุกรมจากด้านอินพุต กระแสไหลผ่าน C1 กับ D2 โดย C1 จะทำการเก็บประจุ จนได้เท่ากับแรงดันที่จ่ายเข้ามา เมื่อคลื่นในครึ่งหลังเข้ามา กระแสจะไหลผ่าน C1, D1 และ C2 โดยในจังหวะนี้ C2 จะทำการเก็บประจุไปในทิศทางเดียวกับการไหลกระแส ทำให้ประจุที่ C2 เท่ากับแรงดันอินพุตบวกกับแรงดันที่ประจุไว้ที่ C1 จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าออกมาเท่ากับสองเท่าของแรงดันอินพุตที่เข้ามา ทั้งนี้จะทำให้แรงดันที่จุดต่อระหว่าง D2 กับ C2 และ C3, D3, D4, C4 เกิดแรงดันไฟฟ้าสองเท่าเช่นเดียวกัน ซึ่งนั่นจะทำให้แรงดันระหว่างจุดต่อ D2 กับ C2 และจุดต่อ D4 กับ C4 เมื่อรวมกันแล้วจะได้แรงดันที่เอาต์พุตสี่เท่าระหว่างจุดต่อ D4 กับ C4

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดสอบวงจรเร็กติไฟเออร์ที่ภาครับแบบ Two-Stage

Frequency	Amplitude (dBm)	Voltage (V)	LED
2.4GHz	-25	0.29	ดับ
	-24	0.363	ดับ
	-23	0.485	ดับ
	-22	0.622	ดับ
	-21	0.792	ดับ
	-20	0.913	ดับ
	-19	1.11	ดับ
	-18	1.288	ดับ
	-17	1.37	ดับ
	-16	1.474	ดับ
	-15	1.532	สว่าง
	-14	1.572	สว่าง

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าแรงดันที่วงจรเร็กติไฟเออร์แบบ Two-stage ได้รับนั้น สามารถขับหลอด LED ให้สว่างได้ ตั้งแต่กำลังส่งที่ -15 dBm จะทำให้ได้รับแรงดันที่ 1.532 V ทำการต่อวัดกระแสได้ 20mA ซึ่งจะส่งผลทำให้หลอด LED เริ่มสว่างโดยสามารถเพิ่มจำนวนสายอากาศหากต้องการ Amplitude (dBm) จากสายอากกาศให้มากยิ่งขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนสายอากาศในภาครับจำเป็นจะต้องเพิ่มชุดเร็กติไฟเออร์ตามจำนวนชุดสายอากาศด้วย



ภาพที่ 15 รูปแบบการต่ออนุกรมจากชุดเร็กติไฟเออร์มายัง Load ทางวงจรภาครับ

จากภาพที่ 15 แสดงรูปแบบการต่ออนุกรมจากชุดเร็กติไฟเออร์มายัง Load โดยชุดเร็กติไฟแต่ละชุดจะถูกต่อจากสายอากาศ และเมื่อสัญญาณจากสายอากาศที่เป็น AC ผ่านชุดเร็กติไฟเออร์จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นสามารถนำไฟฟ้ากระแสตรงนี้มาต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดัน สายอากาศตัวที่ 1 สามารถรับกำลังงานในรูปแบบ dBm ได้โดยประมาณที่ -20dBm โดยเมื่อผ่านชุดแรทติไฟเออร์จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงและเทียบกับตารางที่ 3.2 ทำให้ได้แรงดันที่ 0.913 V กระแส 20mA สำหรับส่วนอากาศตัวที่ 2 รับกำลังงานในรูปแบบ dBm ได้โดยประมาณที่ -21dBm ซึ่งใกล้เคียงกับตัวที่ 1 และเมื่อผ่านชุดแรทติไฟเออร์จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงและเทียบกับตารางที่ 3.2 ทำให้ได้แรงดันที่ 0.792 V กระแส 20mA เมื่อนำแรงดันจากทั้งสองชุดมาอนุกรมกันจะได้แรงดันรวมที่ 1.705 V ทำให้ LED สว่างโดย LED สว่างนั้นจะมีกระแสไหลผ่านที่ 20mA นั่นเอง

ภาพที่ 16 หลอด LED สว่างที่นำมาต่อร่วมกับวงจรภาครับ

จากภาพที่ 16 หลอด LED สว่างเมื่อนำมาต่อร่วมกับวงจรภาครับที่มีชุดเร็กติไฟเออร์และสายอากาศจำนวน 2 ชุด

สรุป

จากการศึกษาและออกแบบสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอล ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบด้วยกัน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับส่วนโค้งในส่วนด้านหน้าได้ผลการตอบสนอง ความถี่ในย่านกว้างครอบคลุมความถี่ใช้งาน คือ 4 GHz -5 GHz แต่ค่าความสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำไม่เพียงพอ จึงได้ทำการปรับโครงสร้างในขั้นตอนที่สองคือ การปรับความกว้างฐานส่วนกราวด์รูปโคซายด์ พบว่าการตอบสนองของสายอากาศดีขึ้นมากคือ มีค่าความสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ แต่ย่านความถี่ที่ตอบสนองกลับแคบลง จึงได้ทำการปรับโครงสร้างสายอากาศในขั้นตอนที่สาม คือ ปรับความความกว้างของสตริปซึ่งทำให้สายอากาศมีค่าความสูญเสียย้อนกลับต่ำลงไปอีก และมีค่าแบนด์วิธด์อิมพีแดนซ์กว้างขึ้นคือ 2 GHz – 6 GHz จากการวัดและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานให้ค่าใกล้เคียงกับผลการจำลองทำการประยุกต์ใช้ในการส่งกำลังไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz โดยต่อสายอากาศ 1 ชุด กับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ที่ระยะห่าง 0.5 เมตร ผลที่ได้รับก็คือกำลังงานที่ได้จากสายอากาศมีค่าเท่ากับ -20dBm และเมื่อต่อผ่านวงจรแร็กติไฟเออร์แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระตรง จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คือ 0.913 V แรงดันนี้ไม่สามารถที่จะขับหลอด LED ให้สว่างได้ เมื่อนำสายอากาศมาต่อร่วมกับวงจรเร็กติไฟเออร์เป็นจำนวน 2 ชุดค่าแรงดันที่ได้คือ 0.913 V ในชุดที่ 1 และ 0.792 V ในชุดที่ 2 นำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากทั้งสองชุดที่ได้มาต่ออนุกรมได้แรงดัน 1.705 V กระแส 20mA และต่อไปยังหลอด LED ส่งผลทำให้หลอด LED สว่าง ทั้งนี้สามารถทดสอบที่ความถี่อื่น ๆ ได้ตามคุณสมบัติของสายอากาศ โดยแรงดันที่ได้จากชุดสายอากาศที่จ่ายให้กับโหลดนั้น ขึ้นอยู่จำนวนชุดของสายอากาศภาครับ หากกำลังที่รับได้มีค่าน้อยเกินไปจนไม่สามารถขับแสงสว่างได้ แก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนสายอากาศ ซึ่งการเพิ่มจำนวนสายอากาศนี้ จะทำให้แรงดันรวมที่ได้มีกำลังมากพอที่จะขับโหลดได้

ข้อเสนอแนะ

อัตราขยายของสายอากาศที่สูงจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลังงานไร้สาย ทั้งนี้สามารถทดสอบที่ความถี่อื่น ๆ ได้ตามคุณสมบัติของสายอากาศ โดยแรงดันที่ได้จากชุดสายอากาศที่จ่ายให้กับโหลดนั้น ขึ้นอยู่จำนวนชุดของสายอากาศภาครับ หากกำลังที่รับได้มีค่าน้อยเกินไปจนไม่สามารถขับแสงสว่างได้ แก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนสายอากาศ ซึ่งการเพิ่มจำนวนสายอากาศนี้ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่ากำลังงานที่ได้รับจะมีค่าไม่สูงแต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสว่างหรืองานอื่น ๆ ได้ตลอดเวลาทั้งกลางคืนและกลางคืน แทนจุดอ่อนของแผ่นโซล่าเซลล์ที่ให้กำลังงานได้ในเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ศ.ดร.ประยุทธ อัครเอกฒาลิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลอง CST และ ผศ.ดร.วันวิสา ไทยวิโรจน์ ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบสายอากาศนี้ รวมถึง ศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ ให้คำปรึกษา อีกทั้ง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้งานห้องทดสอบสายอากาศสำหรับการส่งกำลังไร้สาย

เอกสารอ้างอิง

Alhawari, A. R. H., Ismail, A., Mahdi, M. A., & Raja Abdullah, R.S.A. (2012). Antipodal Vivaldi antenna performance booster exploiting snug-in negative index metamaterial. **Progress in Electromagnetics Research**, 5(27), 265–279.

Bang, J., Lee, J., & Choi, J. (2018). Design of a Wideband Antipodal Vivaldi Antenna with an Asymmetric Parasitic Patch. **Journal of Electromagnetic Engineering and Science**, 18(1), 29-34.

Bayat, A., & Mirzakhani, R. (2012). **A Parametric Study and Design of the Balanced Antipodal Vivaldi Antenna (BAVA)**, PIERS Proceedings, (pp. 782).

Moosazadeh, M., & Kharkovsky S., (2015). **Design of Ultra-Wideband Antipodal Vivaldi Antenna for Microwave Imaging Application**, IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband, 4-7 October 2015 Montreal Canada. (pp. 130).

Siddiqui, J. Y., Antar, Y. M. M., Freundorfer, A. P., Smith, E. C., Morin, G. A., & Thayaparan, T. (2011). Design of an Ultrawideband Antipodal Tapered Slot Antenna Using Elliptical Strip Conductors. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter**, 9(10), 251-254.

Tangwachirapan, S., Thaiwirot, W., & Akkaraekthalin, P. (2019). **Design of Ultra-Wideband Antipodal Vivaldi Antenna with Square Dielectric Lens for Microwave Imaging Applications**, 7th International Electrical Engineering Congress (iEECON), Hua Hin

เปรียบเทียบการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.

ปัทมาวดี คุณวัลลี[1*] เทวี มณีรัตน์[2]

Received : October 6, 2020
Revised : March 14, 2021
Accepted : April 23, 2021

บทคัดย่อ

การใช้ประโยชน์จากมูลหนอนมอดรำข้าวสาลี (mealworm waste) ซึ่งเป็นของเสียจากการเลี้ยงหนอนมอดรำข้าวสาลี (*Tenebrio moliter* L.) เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชและปรับปรุงโครงสร้างดิน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ดังนี้ T1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) T2 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม/ไร่ และ 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ และ T3 ใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีอัตรา 60 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของพริกหยวก ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความหนาและน้ำหนักสดผลผลิต ที่ได้จากทั้ง 3 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กลับพบว่าจำนวนผลผลิตในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตพริกหยวกสูงสุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี และ ชุดควบคุม ตามลำดับ จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีสามารถนำมาใช้สำหรับการผลิตพริกหยวกได้ โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมี และยังเป็นการหมุนเวียนนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของมูลหนอนมอดรำข้าวมีความผันแปรตามอาหารที่ใช้สำหรับการเลี้ยงแมลง จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุอาหารของมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและอัตราการใช้ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิด

คำสำคัญ: การเจริญเติบโตของพืช มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี พริกหยวก

[1] อาจารย์สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อีเมล: pattamavadee.k@psu.ac.th

[2] อาจารย์สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อีเมล: tewee.m@psu.ac.th

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: pattamavadee.k@psu.ac.th*

COMPARISON BETWEEN MEALWORM (*TENEBRIO MOLITER* L.) WASTE AND CHEMICAL FERTILIZER ON THE GROWTH AND YIELD OF SELECTED-PSU GREEN PEPPER

Pattamavadee Kunwanlee[1*] Tewee Maneerat[2]

Abstract

Utilization of mealworm waste, excreted from the mealworm (*Tenebrio moliter* L.), which provided plant nutrient and improved soil. The objective of this study was to compare meal worm waste and chemical fertilizer application on the growth and yield of Selected-PSU green pepper. The experiment was conducted in Randomized Complete Block Design, each with 3 replications; T1 for non-fertilizer (control), T2 for chemical fertilizer application as 21-0-0 at 10 kg/rai and 15-15-15 at 20 kg/rai, and T3 for mealworm waste at 60 kg/rai. The results showed that plant growth and yield components such as fruit-length and width fruit thickness and fresh weight were not significantly different. However, there was a statistically significant difference ($p<0.05$) in yields. The chemical fertilizer application treatment gave the highest yield followed by mealworm waste application and control, respectively. These results indicated that the application of mealworm waste had similar effects on the growth and yield as chemical fertilizer application. Thus, the mealworm waste can be used for pepper production and is considered a sustainable agricultural method for plant production. However, the potential of mealworm waste dramatically varied according to insect diets. Therefore, the nutrient elements in the waste of mealworms and the appropriate ratio of application should be analysed for each plant production.

Keywords: Plant growth, Mealworm waste, Green pepper

[1] *Lecturer of Division of Agricultural innovation and management, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University, Email: pattamavadee.k@psu.ac.th*

[2] *Lecturer of Division of Agricultural innovation and management, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University, Email: tewee.m@psu.ac.th*

** Corresponding author, e-mail: pattamavadee.k@psu.ac.th*

บทนำ

พริก (Chili, *Capsicum* spp.) อยู่ในวงศ์ Solanaceae เป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศ พริกที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ พริกขี้หนูผลใหญ่ พริกขี้หนูผลเล็ก พริกยักษ์ และพริกหยวก สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในรูปผลสด ผลแห้ง แช่แข็ง รวมถึงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ซอสพริก พริกแห้ง พริกป่น พริกดอง และสีผสมอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านเวชภัณฑ์อีกด้วย ในปี พ.ศ. 2562 มีพื้นที่ปลูกพริกรวมทั้งประเทศ 171,253 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกพริกในภาคใต้รวม 23,539 ไร่ ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่ปลูกพริกหยวกจำนวน 377 ไร่ จำนวนเกษตรกร 274 ครัวเรือน โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกพริกหยวกคือ จังหวัดนราธิวาส และจังหวัดปัตตานี มีพื้นที่ปลูก 261 และ 116 ไร่ ตามลำดับ มีผลผลิตเฉลี่ย 720 และ 139 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ราคาขายพริกหยวกอยู่ในช่วง 26 ถึง 34 บาท/กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) เกษตรกรผู้ปลูกพริกมักประสบปัญหาต้นทุนการผลิตสูง จากการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช (รุ่งนภา โบวิเชียร, 2563) ส่งผลให้บางฤดูกาลผลผลิตพริกไม่เพียงพอต่อความต้องการในประเทศ ทำให้ต้องมีการนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน พริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. เป็นพันธุ์พริกที่ได้รับการคัดเลือกโดยวิธีการผสมเปิด เพื่อใช้เป็นพันธุ์ปลูกเพื่อการค้าในภาคใต้ตอนล่าง โดยลักษณะดีทางการเกษตร ได้แก่ เจริญเติบโตดีในพื้นที่ภาคใต้ อายุการเก็บเกี่ยวเร็ว และให้ผลผลิตสูง (ขวัญจิตร สันติประชา, 2544)

ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตพืช ซึ่งแบ่งเป็นปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารที่เพียงพอและอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมีจำนวนมากและใช้ต่อเนื่องทุกปี จะทำให้ดินเสื่อมสภาพ ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการหมักย่อยจากจุลินทรีย์ หรือมูลสัตว์ เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ มูลไก่ มูลวัว มูลค้างคาว เนื่องจากมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มผลผลิตพืชได้ ทั้งยังช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ แต่ปัญหาจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ คือ มีความจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากต่อหน่วยพื้นที่ปลูก แม้ว่าจะมีราคาต่อหน่วยต่ำกว่าปุ๋ยเคมีก็ตาม ทำให้เป็นเรื่องยากต่อการจัดหาปุ๋ยอินทรีย์ให้เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี โดยมีต้นทุนต่ำกว่าและใช้ในปริมาณน้อยจึงเป็นเรื่องท้าทายมาก

หนอนมอดรำข้าวสาลี หรือหนอนนก (mealworm, *Tenebrio moliter* L.) อยู่ในวงศ์ Tenebrionidea เป็นตัวอ่อนแมลงปีกแข็งกลุ่มเดียวกับมอด ซึ่งเป็นศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้แก่ระบบปลูกข้าวสาลีในประเทศเขตหนาว ปัจจุบันมีการใช้หนอนมอดรำข้าวสาลีมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ทั้งด้านการประมง เช่น ปลาสวยงาม ปลากินเนื้อ และการปศุสัตว์ เช่น สัตว์ปีก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากหนอนมอดรำข้าวสาลีมีโปรตีนและแคลเซียมสูง (อานนท์ เชยจำรูญ, 2547) ทำให้มีการเลี้ยงเชิงการค้ามากขึ้น ทำให้มีมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงภายในฟาร์มปริมาณมากที่กลายเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยคุณลักษณะของมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีมีลักษณะแห้ง เนื้อละเอียดคล้ายเนื้อทราย มีธาตุอาหารที่เหมาะต่อการเพาะปลูก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง เช่นเดียวกับมูลไก่ มูลสุกร (Houben et al., 2020) และมูลไส้เดือน (Ng, 2009) นอกจากนี้มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีสามารถปลดปล่อยแร่ธาตุอย่างรวดเร็วเมื่อใส่ลงในดิน ส่งผลต่อความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นด้วย (Houben et al., 2020) ทำให้มีการนำมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีมาใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตพืช จากการศึกษาของปรัชวนี พิบำรุง (2558)

ศึกษาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีหมัก พด. 60% + น้ำหมักชีวภาพผลไม้ พด.2 10% + น้ำหมักชีวภาพสมุนไพร พด.7 10% + รอคฟอสเฟต+โดโลไมท์ 10% + เพอร์ไลต์ 10% ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตสูงสุด Liu et al. (2003) รายงานว่า การผสมมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีกับดินทรายอัตรา 1:40 สำหรับการปลูกถั่วเขียว ทำให้ผลผลิตถั่วเขียวเพิ่มขึ้น 17.9% การเพาะเลี้ยงหนอนมอดรำข้าวสาลีนิยมเลี้ยงเป็นอาชีพเสริมเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร โดยเฉพาะเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสงขลามีอาชีพเพาะเลี้ยงหนอนมอดรำข้าวสาลีเป็นการค้าเพื่อจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์จำนวนหลายแห่ง จึงทำให้มีปริมาณมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเหลือทิ้งจำนวนมาก ดังนั้นในการศึกษานี้เป็นการนำมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่ในพื้นที่จังหวัดสงขลาเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีเพื่อการผลิตพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ

วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการปลูกพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. ณ แปลงทดลองพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2562–มีนาคม 2563 โดยเพาะเมล็ดพริกในถาดหลุมขนาด 104 หลุม หลุมละ 1 เมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์ ย้ายลงถุงปลูกขนาด 4×6 นิ้ว จากนั้นเมื่อต้นกล้าอายุ 50 วันหลังเพาะเมล็ด ย้ายปลูกลงในแปลงปลูก ระยะปลูก 50×50 เซนติเมตร ในแปลงทดลองขนาด 3×3 เมตร หลุมละ 1 ต้น จำนวน 36 ต้น/แปลง/ซ้ำ จำนวน 9 แปลง เว้นทางเดินระหว่างแปลง 1 เมตร มีการปลูกซ่อมต้นกล้าที่ตายหลังย้ายปลูก 7 วัน

มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีที่ใช้สำหรับการศึกษานี้ได้จากกระบวนการเลี้ยงหนอนมอดรำข้าวสาลีในห้องปฏิบัติการทางกีฏวิทยา คณะทรัพยากรธรรมชาติ สำหรับใช้เป็นอาหารของมวนเพชฌฆาต โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงแก่หนอนมอดรำข้าวสาลี ประกอบด้วย ข้าวโพดบด รำสาลี และรำละเอียด นำมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีที่ได้จากการเลี้ยงให้ห้องปฏิบัติมาวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุอาหาร ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่ามูลหนอนมอดรำข้าวสาลีมีความเป็นกรดปานกลาง (pH 5.98) ค่าธาตุอาหารหลักรวม (N P_2O_5 และ K_2O) 13.31% อินทรียวัตถุ (Organic matter; OM) 61.74% ค่าการนำไฟฟ้า (EC) 3.94 ds/m และสัดส่วน C/N เท่ากับ 9:1 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุอาหารจากมูลหนอนมอดรำข้าวสาลี

ตัวอย่าง	pH	OM	EC	สัดส่วน	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	Mn
		%	ds/m	C/N	----------%น้ำหนัก/น้ำหนัก----------					มก./กก.
มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี	5.98	61.74	3.94	9:1	3.98	6.35	2.98	1.03	1.32	217.814

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized in complete block design) จำนวน 3 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ดังนี้ T1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) T2 ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 21-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ (แบ่งใส่ 2 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 หลังย้ายกล้า) และสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กก./ไร่ (แบ่งใส่ 4 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 3 ถึง 6 หลังย้ายกล้า) (เสาวลักษณ์ ธรรมวงษ์, 2547) และ T3 ใส่ปุ๋ยมูลหนอนมอดรำข้าวสาลี อัตรา 60 กก./ไร่ (แบ่งใส่ 6 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1–6) (ข้อมูลจากการทำการทดลองเบื้องต้น) ทุกแปลงที่ทำการศึกษามีจัดการศัตรูพืชโดยชีววิธีตามปฏิทินการจัดการ ดังนี้ ฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้สัปดาห์ละ 2 ครั้ง ฉีดพ่นเชื้อราบิวเวอเรียและเชื้อราเมตาไรเซียม เพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช และฉีดพ่นเชื้อราไตรโคเดอร์มา เพื่อควบคุมโรคพืชจากเชื้อราสัปดาห์ละครั้ง โดยเว้นระยะห่างของการฉีดพ่นชนิดละ 2-3 วัน ตั้งแต่ย้ายปลูกในแปลงจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต

การบันทึกข้อมูล สุ่มต้นพริกจากแถวกลางของแปลงจำนวน 15 ต้น/ซ้ำ โดยใช้ต้นเดิมตลอดระยะเวลาการทำวิจัย บันทึกการเจริญเติบโตของพริกหยวกที่อายุ 30 วัน 45 วัน และ 60 วันหลังย้ายกล้า โดยวัดความสูงของต้น (เซนติเมตร) นับจำนวนกิ่งต่อต้น วันดอกแรกบาน และวันดอกบาน 50% และเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกหยวกทีอายุ 25 วันลังดอกบาน ข้อสังเกตุผลพริกหยวกในระยะนี้จะมีผลสีเขียวเหลือง (Yellow-green 145 group C) (เสาวลักษณ์ ธรรมวงษ์, 2547) บันทึกข้อมูลด้านองค์ประกอบผลผลิตของพริกหยวก ดังนี้ จำนวนผลผลิตต่อต้น น้ำหนักสดผลผลิต (กรัม/เม็ด) โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง วัดความกว้างและความยาวผล และความหนาเนื้อ โดยใช้ดิจิตอลเวอร์เนียคาลิเปอร์ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีการ Duncan’s multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 95%
(หมายเหตุ ลักษณะนามของพริก คือ เม็ด)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี ปุ๋ยเคมีและไม่ใส่ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. ได้แก่ ความสูงต้น และจำนวนกิ่งหลังการย้ายปลูก 30 45 และ 60 วัน พบว่า การเจริญเติบโตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.ที่อายุ 30 45 และ 60 วันหลังย้ายปลูก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี ปุ๋ยเคมี และไม่ใส่ปุ๋ยส่งผลต่อเวลาออกดอกของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. ตั้งแต่ย้ายปลูกจนกระทั่งเริ่มออกดอก พบว่า การออกดอกของแต่ละกรรมวิธี ได้แก่ การไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวมีระยะดอกแรกบานแตกต่างกัน โดย การใส่ปุ๋ยเคมี

(T2) และ ใส่มูลหนอนมอดรำข้าว (T3) มีระยะดอกแรกบานที่อายุ 28 วันหลังย้ายปลูก และทยอยออกดอกกระทั่งดอกบาน 50% ที่อายุ 40 และ 44 วันหลังย้ายปลูก ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีระยะดอกแรกบานที่อายุ 34 วันหลังย้ายปลูก และทยอยออกดอกกระทั่งดอกบาน 50% ที่อายุ 50 วันหลังย้ายปลูก (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของพริกหยวก พันธุ์คัด-ม.อ. ด้านความสูงต้น จำนวนกิ่ง/ต้น ที่อายุ 30 45 และ 60 วันหลังย้ายปลูก (day after transplantation; DAT) วันดอกแรกบาน และวันดอกบาน 50%

กรรมวิธี	ความสูงต้น (ซม.)			จำนวนกิ่ง (กิ่ง/ต้น)			ดอกแรกบาน	ดอกบาน 50%
	30 DAT	45 DAT	60 DAT	30 DAT	45 DAT	60 DAT	DAT	DAT
T1	12.87±0.83	23.93±3.40	27.95±3.83	1.66±0.11	6.50±1.58	9.16±2.61	34	50
T2	15.04±1.78	24.71±2.44	31.29±3.51	1.45±0.37	6.79±0.56	10.73±0.86	28	40
T3	14.60±2.62	22.86±1.69	30.93±1.53	1.21±0.57	5.50±1.11	8.91±2.00	28	44
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
C.V.(%)	1.50	1.55	1.09	3.31	1.64	1.63	-	-

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ, n=45

T1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) T2 ใส่ปุ๋ยเคมี และT3 ใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี

การใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี ปุ๋ยเคมี และไม่ใส่ปุ๋ยต่อผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.ที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 25 วันหลังดอกบาน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี (T2) ส่งผลให้ผลผลิตต่อต้น และผลผลิตต่อไร่สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*$p<0.05$)* (21.73 เม็ด/ต้น และ 1,711.60 กก./ไร่ ตามลำดับ) รองลงมา คือ การใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี (T3) (13.25 เม็ด/ต้น และ 1,214.15 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ) (ตารางที่ 3) แต่ผลผลิตพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.ในแต่ละกรรมวิธีที่มีการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี ปุ๋ยเคมีและไม่ใส่ปุ๋ยไม่มีความแตกต่างกันขององค์ประกอบผลผลิต (ns) ได้แก่ น้ำหนักสด ความยาว ความกว้างผล ความหนาเนื้อ อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้มีข้อสังเกตว่าการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี (T3) แนวโน้มให้น้ำหนัก ความกว้างและความยาวผลผลิตมีดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ (ตารางที่ 3)

กตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.

กรรมวิธี	ผลผลิต		น้ำหนักสด	ความยาว	ความกว้าง	ความหนาเนื้อ
	(เม็ด/ต้น)	(กก./ไร่)	(กรัม)	----------(ซม.)----------		(มม.)
T1	11.67±1.33c[1/]	936.33±23.82c	14.75±1.60	11.06±1.02	2.27±0.08	2.04±0.11
T2	21.73±1.22a	1,711.60±44.12a	14.77±0.54	11.00±0.33	2.33±0.23	1.97±0.06
T3	13.25±0.90b	1,214.15±51.66b	17.83±2.37	11.94±1.08	2.48±0.16	1.97±0.12
F-test	*	*	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	3.67	3.94	10.92	9.46	5.98	6.05

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ, n=45

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, n=45

[1/] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติจากการเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

T1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) T2 ใส่ปุ๋ยเคมี และT3 ใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลี

อภิปรายผลการวิจัย

มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงหนอนมอดรำข้าวสาลี ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ปลดปล่อยธาตุอาหารแก่พืชได้ โดยมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในจังหวัดสงขลามีความเป็นกรดปานกลาง (pH 5.98) มีค่าธาตุอาหารหลักรวมสูงกว่ามูลหนอนมอดรำข้าวสาลีจากรายงานของ ปรัชวนี พิบำรุง และชมพร สุวินทรากร (2558) ที่ใช้มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและสูงกว่าธาตุอาหารหลักรวมของปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยคอกชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพมูลสุกรปั้นเม็ด 3.40% มูลสุกรหมักอัดเม็ด 3.20% (รัตนะ สวามีชัย และคณะ, 2555) ปุ๋ยมูลโค 4.14 และปุ๋ยมูลไส้เดือน 1.6% (ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย และณัฏฐิรา แกล้วกล้าหาญ, 2559) นอกจากนี้อินทรียวัตถุในมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีสูงใกล้เคียงกับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตรไนโตรเจนของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้จากกระบวนการทำปุ๋ยหมัก (พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ, 2559) ทั้งนี้สัดส่วน C/N ของมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีต่ำ ซึ่งจะทำให้การสลายตัวของสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเป็นไปได้ดี ทำให้เกิดกระบวนการปลดปล่อยไนโตรเจนได้ดี มีผลในการช่วยบำรุงดิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปรัชวนี พิบำรุง และชมพร สุวินทรากร (2558) อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารและสัดส่วน C/N ของมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีอาจขึ้นอยู่กับอาหารและสภาพแวดล้อมในการเลี้ยง หากมีมีจัดการการเลี้ยงที่ดี สามารถช่วยให้ธาตุอาหารรวมสูงและเป็นประโยชน์ต่อการปลูกพืช

ผลการศึกษาเปรียบเทียบมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.แสดงให้เห็นว่าการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมี โดยปุ๋ยเคมีมีธาตุอาหารหลักและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว พืชสามารถนำธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ,

2559; Naeem et al., 2006) จากการศึกษาการเปรียบเทียบการใส่อินทรีย์หรือปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยคอก ธีระรัตน์ ชินเสน และคณะ (2559) รายงานว่าการให้ปุ๋ยเคมีทำให้ขึ้นฉ่ายมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุดเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยคอก และ Wisdom et al. (2012) รายงานว่า ปุ๋ยเคมีส่งผลให้การเจริญเติบโตทางลำต้นข้าวโพด ได้แก่ ความหนาลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักแห้งต้นและรากสูงกว่าการใส่ปุ๋ยคอกมูลโคและไม่ใส่ปุ๋ย โดยปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งในส่วนที่อยู่เหนือดินได้มาก โดยเฉพาะพืชที่มีอายุ 60 วันหลังย้ายปลูก (Liu et al., 2011) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยมูลสัตว์มีการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ เนื่องจากธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ ทำให้พืชไม่สามารถดูดสารอาหารไปใช้ได้ทันที ต้องผ่านกระบวนการหมักย่อยจากจุลินทรีย์ให้อยู่ในรูปอนินทรียสารพืชจึงจะสามารถดูดไปใช้ได้ (Choi et al., 2003) ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นช้าในระยะแรก (Liu et al., 2011) อย่างไรก็ตามการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหยวกใกล้เคียงกับองค์ประกอบผลผลิตพริกหยวก ได้แก่น้ำหนักสด ความกว้างและความยาวผล สูงกว่าปุ๋ยเคมี สอดคล้องกับงานทดลองของปรัชวนี พิบำรุง และชมพร สุวินทรากร (2558) ซึ่งพบว่า การใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเพียงอย่างเดียวทำให้ผลผลิต น้ำหนักสด และความยาวผลมะเขือยาวเพิ่มขึ้นได้

สรุป

ผลเปรียบเทียบการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. การใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีสามารถช่วยให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมี จึงถือได้ว่ามูลหนอนมอดรำข้าวสาลีเป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีศักยภาพเทียบเท่าปุ๋ยเคมี และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) โดยลดการเกิดของเสียและผลกระทบเชิงลบต่อสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เลี้ยงหนอนมอดรำข้าวสาลี ปัจจัยสภาพแวดล้อม และสภาพพื้นที่ของฟาร์มเพาะเลี้ยงด้วย ดังนั้นก่อนนำมูลหนอนมอดรำข้าวสาลีไปใช้เพาะปลูกพืชแต่ละชนิดควรวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหาร และศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมร่วมด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2563). **ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร online**. สืบค้นจาก http://production.doae.go.th

ขวัญจิตร สันติประชา. (2544). **การปลูกพืชผัก**. โครงการฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีวิชาชีพการเกษตรแก่ผู้นำชุมชนและครูเกษตรในภาคใต้ 13–18 สิงหาคม 2544. สงขลา : ภาควิชาพัฒนาการเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย, และณัฏฐิรา แกล้วกล้าหาญ. (2559). การศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพปุ๋ยหมัก โดยไส้เดือนดินระหว่างการเก็บรักษา. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**, 3(2), 55–61.

ธีระรัตน์ ชินแสน, วชิระ จันคง, อภิชาต งอกดี, ธนศักดิ์ พิมโยธา, และอนงค์นาฏ คำทะเนตร. (2559). ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของขึ้นฉ่าย. **แก่นเกษตร**, 44, 587–560.

ปรัชวนี พิบำรุง. (2558). การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลหนอนนกเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(2), 268–275.

ปรัชวนี พิบำรุง, และชมพร สุวินทรากร. (2558). ผลการใช้มูลหนอนนกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือยาวในระบบเกษตรอินทรีย์. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 46(3)(พิเศษ), 313–316.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, สมชาย ชคตระการ, วรภัทร ลัคนทินวงศ์, ชวินทร์ ปลื้มเจริญ, ภิรญา ชมพูผิว, และอรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์. (2559). การเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อคุณภาพข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 24(5)(พิเศษ), 754–765.

รัตนะ สวามีชัย, ประวัติ นกอิ่ม, และเรือนขวัญ อินทนนท์. (2555). การจัดการปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวในจังหวัดพิษณุโลก. **วาสารวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชน,** 5(1), 1–14.

รุ่งนภา โบวิเชียร. (2563). **พริก**. สืบค้นจาก http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2562/45-46.pdf

เสาวลักษณ์ ธรรมวงษ์. (2547). **ผลของอายุการเก็บเกี่ยวที่มีต่อการพัฒนาและการสุกแก่ของเมล็ดพันธุ์พริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ.** ใน สัมมนาพืชศาสตร์ บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อานนท์ เชยจำรูญ. (2547). **ธุรกิจอาหารปลาสวยงาม**. พงษ์สาส์น, กรุงเทพฯ.

Choi, W.-J., Ro, H.-M., Hobbie, E. A., & Lee, S.-M. (2003). Patterns of natural 15N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. **Soil Biology and Biochemistry**, 35(11), 1493–1500.

Houben, D., Daoulas, G., Faucon, M.-P. F., & Dulaurent, A.-M. D. (2020). Potential use of mealworm frass as a fertilizer: Impact on crop growth and soil properties. **Scientific Reports**, 10, 4659 DOI: 10.1038/s41598-020-61765-x

Liu, H. R., Yang, Z. F., Tan, D. F., & Wu, Z. S. (2003). Study on the fertilizer efficiency of the frass of Tenebrio molitor L. **Journal of Quanzhou Normal College (natural Science)**, 21, 68–70.

Liu, X., Ren, G., & Shi, Y. (2011). The effect of organic manure and chemical fertilizer on growth and development of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Energy Procedia**, 5, 1200–1204.

Naeem, M., Iqbal, J., & Bakhsh, M. A. A. (2006). Comparative study of inorganic fertilizers and organic manures on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiat* L.). **Journal of Agriculture & Social Sciences**, 2(4), 227–229.

Ng, J. (2009). **Effects of *Tenebrio molitor* Linnaeus on degradation and conversion of food waste into organic fertilizer**. B.E. Final year project. Nanyang University of Technology. Retrieved from https://hdl.handle.net/10356/16325.

Wisdom, S. G. O., Ndana, R. W., & Abdulrahim, Y. (2012). The comparative study of the effect of organic manure cow dung and inorganic fertilizer N.P.K on the growth rate of maize (*Zea mays* L.). **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, 2(12), 516–519.

การวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19 ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

กนกมน รุจิรกุล[1*] ไกรศรี เต้นปักษี[2] รัตนา รุจิรกุล[3]

Received : August 3, 2020
Revised : March 13, 2021
Accepted : April 23, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่และวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจและสาขาวิชาการบัญชี คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ของนักศึกษาในขณะที่สอบออนไลน์ จำนวน 170 คน ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสานวิธีคือนำข้อมูลที่อยู่ของนักศึกษาซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพจัดกระทำให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ วิเคราะห์สถิติเชิงบรรยายด้วยโปรแกรมทางสถิติ ผลการวิจัยพบว่า 1) การพัฒนาวิธีการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่จากตำแหน่งในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาจากข้อมูล Google forms ซึ่งกรอกลงใน Google forms แล้ววิเคราะห์ข้อมูลด้วย Google sheets เพื่อทำแผนที่บน Google maps มีตำแหน่งพิกัดที่คลาดเคลื่อนอยู่ร้อยละ 5.8 ถูกต้องร้อยละ 94.2 แสดงว่าสามารถระบุตำแหน่งได้ดี 2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ดัชนีบ้านใกล้ด้วยโปรแกรม QGIS แสดงว่าเป็นรูปแบบการกระจายแบบกลุ่ม (R_n = 0.55) และการแสดงผลบนแผนที่พบว่าตำแหน่งที่นักศึกษาทำการสอบกระจุกตัวหนาแน่นมากในบริเวณใกล้มหาวิทยาลัย คือพื้นที่ อำเภอเมืองนครราชสีมา 3) ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติพบว่าระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10,322.9 เมตร (S.D. = 30,269.6) คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 0.00 เมตร คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่ยาวที่สุดเท่ากับ 236,541.5 เมตร เมื่อแบ่งช่วงระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคมออกเป็นช่วงละ 500 เมตร พบว่าร้อยละ 50.0 อยู่ในกลุ่มที่ระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคมมากกว่า 2,500 เมตร รองลงมาคืออยู่ในระยะไม่เกิน 500 เมตร (ร้อยละ 16.5)

คำสำคัญ: ระยะห่างทางสังคม วิกฤติโควิด สอบออนไลน์

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อีเมล: kanokmon.r@nrru.ac.th

[2] นักวิชาการโสตทัศนศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อีเมล: krisri.t@nrru.ac.th

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์พิเศษ สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อีเมล: rattana.r@nrru.ac.th

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: kanokmon.r@nrru.ac.th*

ANALYSIS OF SOCIAL DISTANCES OF STUDENTS AT FACULTY OF MANAGEMENT SCIENCES, NAKHON RATCHASIMA RAJABHAT UNIVERSITY STUDENT IN ONLINE EXAMINATION DURING THE COVID-19 CRISIS WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Kanokmon Rujirakul[1*] Kraisri Tenpaksri[2] Ratana Rujirakul[3]

Abstract

This research aims to study the spatial distribution and analyze of social distancing in online examinations of the students majoring in Business Computer and Accounting, Faculty of Management Science, Nakhon Ratchasima Rajabhat University during the Covid-19 crisis. The information about addresses of 170 students was analyzed. With the mixed method research, qualitative information about the students' addresses was transformed into quantitative data so that the spatial data were analyzed with the GIS program and the descriptive statistics were analyzed with a statistical program. The results of the study revealed that 1) the methods for creating spatial databases from students' addresses, filled in Google forms and analyzed in Google Sheets with the location deviation of 5.8 %, to map on Google maps, were able to correctly locate the location at the rate of 94.2 %; 2) the data analyzed using the Nearest Neighbor Index, with the QGIS program, showed that it was clustered in distribution pattern (R_n = 0.55), and the map showed that the place where the students took the exam was very dense near the university area; 3) the pair with the shortest and longest social distance was 0.00 and 236,541.5 meters, respectively. When grouping the shortest social distances into ranges (500 meters per range), it showed that 50.0% of them were in the at the shortest social distance of more than 2,500 meters, followed by that within 500 meters (16.5 %).

Keywords: Social distancing, COVID-19 Crisis, Online Examinations

---

[1] *Assistant Professor, Department of Business Computer, Faculty of Management Science, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Mueang, Nakhon Ratchasima, e-mail: kanokmon.r@nrru.ac.th*

[2] *Audio-Visual Technical Officer, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Mueang, Nakhon Ratchasima, e-mail: krisri.t@nrru.ac.th*

[3] *Assistant Professor, Special Lecturer, Institute of Medicine, Suranaree University of Technology, e-mail: rattana.r@nrru.ac.th*

** Corresponding author, e-mail: kanokmon.r@nrru.ac.th*

บทนำ

เนื่องจากมีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ที่เป็นการระบาดใหญ่ (Pandemic) ไปทั่วโลก โดยเริ่มจากประเทศจีน เมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2562 ต่อมาได้พบผู้ป่วยยืนยันในหลายประเทศทั่วโลก วันที่ 11 มีนาคม 2563 องค์การอนามัยโลกประกาศโรค COVID-19 ระบาดใหญ่ (Pandemic) มีจำนวนผู้ป่วย และผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก อย่างรวดเร็ว อัตราการเสียชีวิตจากโรคประมาณร้อยละ 4.2 (กรมควบคุมโรค, 2563) ข้อมูล ณ วันที่ 22 มีนาคม 2563 พบผู้ป่วยยืนยันสะสมในประเทศไทยจำนวน 599 ราย มีผู้เสียชีวิต 1 ราย และอาการรุนแรง 7 ราย ประเทศไทยได้ดำเนินการเฝ้าระวัง คัดกรองและป้องกันควบคุมโรค โดยคณะกรรมการโรคติดต่อแห่งชาติ กรมควบคุมโรคได้มีหนังสือด่วนที่สุดที่ สธ. 0410.7ว/ ลงวันที่ 19 มีนาคม 2563 แจ้งไปยังผู้ว่าราชการจังหวัด โดยมีข้อ 2.4 (หน้า 2) ให้งดการเรียนการสอนของสถานศึกษาหรือปรับวิธีการเรียนการสอนเป็นแบบออนไลน์ (คณะกรรมการโรคติดต่อแห่งชาติตามพระราชบัญญัติโรคติดต่อ พ.ศ. 2558 กรมควบคุมโรค, 2563) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาจึงมีนโยบายในการป้องกันและควบคุมการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ตามประกาศกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) เรื่อง มาตรการและการเฝ้าระวังการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ โควิด-19 ฉบับที่ 3 ข้อ 3 โดยมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการสอบและการประเมินผลรายวิชาที่จัดสอบในชั้นเรียนเป็นวิธีการอื่น เช่น การสอบออนไลน์ การมอบหมายงาน การนัดหมายตรวจผลงานผ่านทางระบบออนไลน์ หรือรูปแบบอื่น ๆ และได้ออกประกาศการสอนระดับปริญญาตรี ภาค กศ.ปช., ระดับบัณฑิตศึกษา ภาคการศึกษาที่ 2/2562 และระดับปริญญาตรี ภาคปกติ ภาคการศึกษาที่ 3/2562 ให้ปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนจากแบบปกติ (ชั้นเรียน) เป็นแบบออนไลน์ทุกหลักสูตร ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2563 จนจบภาคการศึกษา (ปรีชา บินมาโนช, 2563) เนื่องจากมีคำสั่งปิดอาคารสถานที่ที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัย แต่ไม่ได้เลื่อนกำหนดการสอบ ทำให้ต้องจัดการสอบออนไลน์เพื่อให้เกิดระยะห่างทางสังคม (Social distancing) ของนักศึกษา การวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19 ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยการนำเข้าข้อมูลที่อยู่ของนักศึกษาขณะที่ทำการสอบออนไลน์ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพมาจัดกระทำเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ จะทำให้ได้แผนที่และข้อมูลเชิงปริมาณสำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ผลการวิจัยจะทำให้ทราบลักษณะของระยะห่างทางสังคมโดยระยะทางจากข้อมูลเชิงพื้นที่ของตำแหน่งที่นักศึกษาอยู่ในขณะที่ทำการสอบออนไลน์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดการเรียนการสอนและการสอบให้เหมาะสมมีประสิทธิผลมากขึ้นในโอกาสต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่จากข้อมูลเชิงคุณภาพที่อยู่ใน Google forms ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สอบออนไลน์ในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19

2. เพื่อศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สอบออนไลน์ในช่วงวิกฤติโควิดด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

3. เพื่อวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

วิธีดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีการวิจัยเกี่ยวกับตัวอย่าง อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นรูปแบบของการวิจัยผสานวิธีที่ถูกนำมาใช้มากขึ้นในงานวิจัยสุขภาพ (ศิริพร จิรวัฒน์กุล, 2558) ดังนี้

1. ตัวอย่างในการศึกษา คือ ข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ของนักศึกษา คณะวิทยาการจัดการ สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ และสาขาวิชาการบัญชี ที่มีกำหนดการสอบปลายภาคระหว่างวันที่ 18-31 มีนาคม 2563 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มหาวิทยาลัยประกาศว่าอยู่ในช่วงวิกฤติโควิดให้จัดสอบแบบออนไลน์ เป็นการเลือกตัวอย่างในการศึกษาแบบเจาะจงจากข้อมูลของนักศึกษาทุกคนที่เข้าสอบในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการกรอกลงใน Google forms การระบุรายละเอียดของตำแหน่งที่อยู่จึงแตกต่างกัน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการติดตั้งโปรแกรม QGIS ซึ่งเป็นโปรแกรมฟรีแวร์สำหรับจัดเก็บ จัดการ วิเคราะห์และแสดงผลของข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

3. เครื่องมือที่ใช้ในเก็บรวบรวม คือ แบบบันทึกข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ของนักศึกษาที่เข้าสอบประกอบด้วย id ตำแหน่งที่อยู่ขณะสอบ ตามประกาศของมหาวิทยาลัยที่กำหนดให้มีการจัดสอบออนไลน์เพื่อหลีกเลี่ยงการติดเชื้อและแพร่เชื้อโควิด แทนการจัดสอบที่นักศึกษาต้องมานั่งรวมตัวกันและกำหนดให้มีการเก็บข้อมูลตำแหน่งของนักศึกษาขณะที่ทำการสอบ โดยให้นักศึกษาระบุบ้านเลขที่/ชื่ออาคาร ถนน ตำบล อำเภอ และจังหวัดลงใน Google forms จึงเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพประเภทข้อความ

4. การจัดกระทำกับข้อมูล จากข้อมูลที่นักศึกษากรอกใน Google forms จะมีการแสดงผลอยู่ในรูปแบบของตาราง Spreadsheet เรียกว่า Google sheets ผู้วิจัยได้ตัดข้อมูลส่วนบุคคลออกเป็นการปกป้องความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัครในการวิจัยตามข้อกำหนดของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จึงมีเฉพาะบ้านเลขที่/ชื่ออาคาร ถนน ตำบล อำเภอ และจังหวัดส่วนของนักศึกษา ทำการสร้าง id ของข้อมูลแต่ละบุคคลขึ้นมาเป็นรายการข้อมูล

5. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ดังนี้

5.1 การพัฒนาวิธีการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่จากข้อมูลเชิงคุณภาพที่อยู่ใน Google forms ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สอบออนไลน์ในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19

5.1.1 เปิดตาราง Google sheet เลือกคำสั่งย่อยของเมนู Add-Ons ตามลำดับดังนี้ Add-Ons → Geocode by Awesome Table → Start Geocoding จะได้ผลลัพธ์ใน Google sheets เป็นค่า Latitude และ Longitude ที่ Add-On Geocode by Awesome Table ใน Google sheets คำนวณจากที่อยู่ที่นักศึกษาระบุไว้ใน Google forms ขณะที่ทำการสอบ โดย Add-On Geocode with Awesome Table (Awesome Table, 2021) ใช้ Google Maps API ในส่วนของระบบจดจำที่อยู่ซึ่งมีระบบการจัดการข้อผิดพลาดในตัวในการดึงค่า longitude และ latitude จากที่อยู่ที่ระบุมา ในกรณีที่ไม่รู้จักที่อยู่ Google Maps API จะทำการค้นหาแบบกว้างขึ้นเพื่อหาพิกัดที่เหมาะสมในแต่ละที่อยู่ที่นักศึกษากรอกไว้ใน Google forms

5.1.2 เมื่อได้คอลัมน์ค่า Latitude และ Longitude ใน Google sheets ให้กดปุ่มคำสั่ง Create Map → Open map ดังภาพที่ 1

5.2 วิเคราะห์การกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สอบออนไลน์ในช่วงวิกฤติโควิดด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ Google sheets และ QGIS เพื่อให้แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปแบบของแผนที่ที่มีจุดตำแหน่งที่นักศึกษาทำการสอบ

5.2.1 ใช้เครื่องมือ Field calculator ใน QGIS แปลงระบบพิกัด ด้วยฟังก์ชัน Transform ซึ่งจะทำการคำนวณพิกัดจากข้อมูลต้นฉบับที่เป็น พิกัดแบบภูมิศาสตร์ (EPSG:4326) (Latitude-Longitude) เป็น EPSG:32647(UTM) โดยใช้ Field calculator ด้วย Transform ที่อยู่ในกลุ่มฟังก์ชันของ Geometry (ชิงชัย หุมห้อง, 2562)

สูตรการคำนวณพิกัดละติจูด (Latitude) คือ y (Transform ($geometry, 'EPSG:4326', 'EPSG:32647'))

สูตรการคำนวณพิกัดลองจิจูด (Longitude) คือ x (Transform ($geometry, 'EPSG:4326', 'EPSG:32647'))

5.2.2 สร้างแผนที่แสดงการกระจายตำแหน่งที่สอบออนไลน์ของนักศึกษาโดยใช้โปรแกรม QGIS ได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 2

5.2.3 วิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาด้วยดัชนีบ้านใกล้ โดยใช้เทคนิค Nearest neighbour analysis ซึ่งคิดค้นขึ้นโดย Clarke and Evan (Meyer & Haggett, 1979)

สูตรการคำนวณ $R_n = r_A/r_E$

ในการคำนวณหาค่า R_n (ดัชนีระยะห่างของบ้านที่ใกล้กันมากที่สุด)จากค่าเฉลี่ยที่สังเกตได้จริงของระยะของจุดที่อยู่ใกล้กันที่สุด (A) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะทางที่ได้จากทฤษฎี (E) ซึ่งสมมุติว่ากระจายกันอยู่ จำแนกเป็น 3 รูปแบบ คือ การกระจายแบบกลุ่ม ($R_n < 1$) แบบกระจัดกระจาย ($R_n = 1$) และแบบสุ่ม ($R_n > 1$) ได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 3

5.3 วิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในช่วงภาวะวิกฤติโควิดโดยใช้โปรแกรม QGIS และโปรแกรมทางสถิติ

5.3.1 ใช้เครื่องมือ Hub Distance จาก MMQGIS plugin ใน QGIS 3.0.0 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะช่วยหา “ระยะทางที่ใกล้ที่สุด” จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ในจำนวนหลายจุด ในที่นี้เป็นการสั่งให้หาระยะทางที่สั้นที่สุดจากพิกัดของนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจที่มี id = c1 ไปยังพิกัดของนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ id c2, c3, c4, ..., c65 จะได้ระยะทางระหว่าง พิกัดของนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ id = 1 ไปยังพิกัดของนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ id c2, c3, c4, ..., c65

5.3.2 ใช้คำสั่ง Min ใน Microsoft Excel หาระยะทางที่สั้นที่สุดพบว่าเป็นพิกัดของนักศึกษา id = c28 ทำเช่นนี้จนครบทั้ง 65 คน หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมของนักศึกษาสาขาการบัญชีด้วยวิธีเดียวกัน จะได้ข้อมูลระยะทางที่สั้นที่สุดของนักศึกษา 170 คน จำแนกตามสาขาวิชา เพื่อนำไปหาผลต่างใน Microsoft Excel ต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตัวอย่างจำนวน 170 คน เป็น เพศชาย ร้อยละ 21.8 และเพศหญิง ร้อยละ 78.2 ศึกษาอยู่ในสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจและสาขาวิชาการบัญชีจำนวน 65 คน และ 105 คน ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มเป้าหมาย จำแนกตามเพศและสาขาวิชา

เพศ	คอมพิวเตอร์ธุรกิจ		การบัญชี		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ชาย	19	29.2	18	17.1	37	21.8
หญิง	46	70.8	87	82.9	133	78.2
รวม	**65**	**100.0**	**105**	**100.0**	**170**	**100.0**

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์สามารถนำมาอภิปรายได้ ดังนี้

1. การพัฒนาวิธีการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่จากข้อมูลที่อยู่ใน Google forms ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สอบออนไลน์ในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19

เมื่อนำค่า Latitude และ Longitude ที่อยู่ของนักศึกษาซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการใช้คำสั่ง Add-On Awesome Table ใน Google sheets มากำหนดค่า id เป็นรายคนเริ่มจากคนที่ 1 ไปจนถึงคนสุดท้ายของสาขาวิชานำหน้าตัวเลขด้วยตัวอักษร ได้แก่ c = สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ และนำหน้าตัวเลขด้วย ac = สาขาการบัญชี ผลการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นพบว่าค่า Latitude และ Longitude จากที่อยู่ที่คำนวณได้น่าจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในบางรายการ จึงทำการปรับปรุงแก้ไขตามขั้นตอนดังนี้

1.1 ตรวจสอบค่า Latitude และ Longitude จากชื่อหมู่บ้านและชื่อตำบลที่นักศึกษาระบุมากับข้อมูลในเว็บไซต์ของตำบลนั้น ๆ

1.2 สำหรับจังหวัดนครราชสีมาได้นำไฟล์แผนที่ขอบเขตหมู่บ้านมาซ้อนทับ (Overlay) บน Google maps เพื่อพิจารณาประกอบการวางตำแหน่งพิกัดไว้ในขอบเขตชุมชนของหมู่บ้านที่นักศึกษาระบุ

1.3 ในหมู่บ้านที่มีนักศึกษามากกว่า 1 คน และนักศึกษาระบุเลขที่บ้านต่างกันจะวางจุดกระจายในชุมชนไม่ให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

เนื่องจากค่าพิกัดได้จาก Add-On Awesome Table เป็นค่าองศาหลังจากปรับแก้ค่าพิกัดเสร็จแล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนด้วยสูตร Euclidean Distance ในสมการ (1)

$$d(p,q) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2} \tag{1}$$

เมื่อ p คือ พิกัดที่ปรับแก้ไขแล้ว และ q คือ พิกัดที่ได้จาก Add-On Awesome Table

ผลจากการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่ปรับแก้ไขแล้วและพิกัดที่ได้จาก Add-On Awesome Table ด้วยการคำนวณค่าจากสูตร Euclidean Distance พบว่ามีรายการที่คลาดเคลื่อนอยู่ 10 รายการ คิดเป็นร้อยละ 5.8 โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.0048 – 3.0994 ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า Euclidean Distance ของพิกัดที่ปรับแก้ไขแล้วและพิกัดที่ได้จาก Add-On Awesome Table

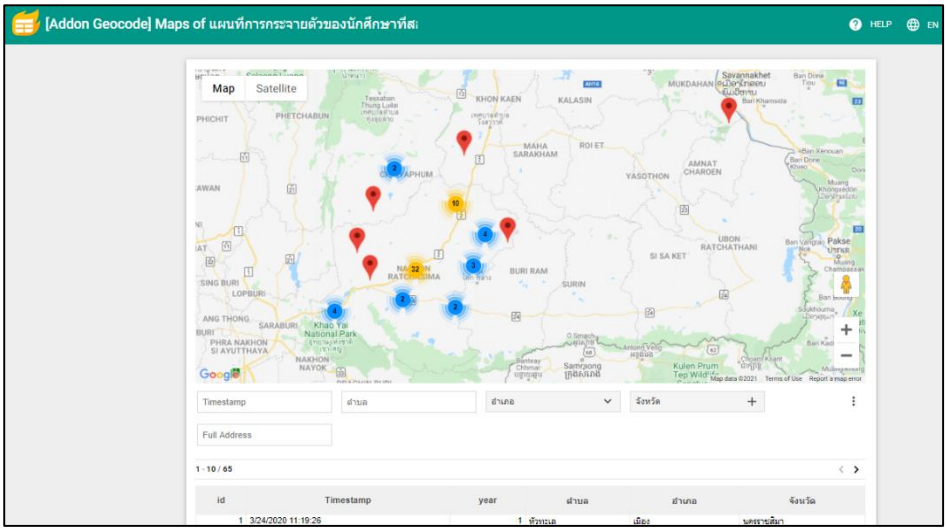
ที่	พิกัดที่ปรับแก้แล้ว (p)		พิกัดจาก Add-On Awesome Table (q)		Euclidean
	Latitude	Longitude	GeocodeLat	GeocodeLong	Distance
1	14.716004	101.43705	17.5005158	102.7982152	3.0994
2	14.353931	102.431146	14.145905	100.6106197	1.8324
3	14.918971	102.109279	14.145905	100.6106197	1.6863
4	14.718983	102.152643	14.145905	100.6106197	1.6451
5	14.6960384	102.5240666	16.0824554	102.8885355	1.4335
6	15.691129	101.8578878	14.8539128	102.7397311	1.2160
7	16.0824554	102.8885355	15.691129	101.8578878	1.1024
8	15.3487744	103.2317225	14.6960384	102.5240666	0.9627
9	14.8539128	102.7397311	15.3487744	103.2317225	0.6978
10	15.306574	102.0583530	15.3082938	102.0628691	0.0048

ในภาพรวมร้อยละ 93.0 ของนักศึกษาสอบออนไลน์อยู่ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา โดยร้อยละของนักศึกษาสาขาการบัญชีที่สอบออนไลน์อยู่ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาสูงกว่าร้อยละของนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจเล็กน้อย (ร้อยละ 93.3 และ ร้อยละ 92.3) ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 และภาพที่ 1

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของนักศึกษาจำแนกตามวิชาที่สอบออนไลน์และพื้นที่จังหวัด

จังหวัด	คอมพิวเตอร์ธุรกิจ		การบัญชี		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
นครราชสีมา	60	92.3	98	93.3	158	93.0
ชัยภูมิ	2	3.2	2	1.9	4	2.3
บุรีรัมย์	1	1.5	3	2.8	4	2.3
ขอนแก่น	1	1.5	0	0	1	0.6
มหาสารคาม	0	0	1	1	1	0.6
มุกดาหาร	1	1.5	0	0	1	0.6
สุรินทร์	0	0	1	1	1	0.6
รวม	**65**	**100.0**	**105**	**100.0**	**170**	**100.0**

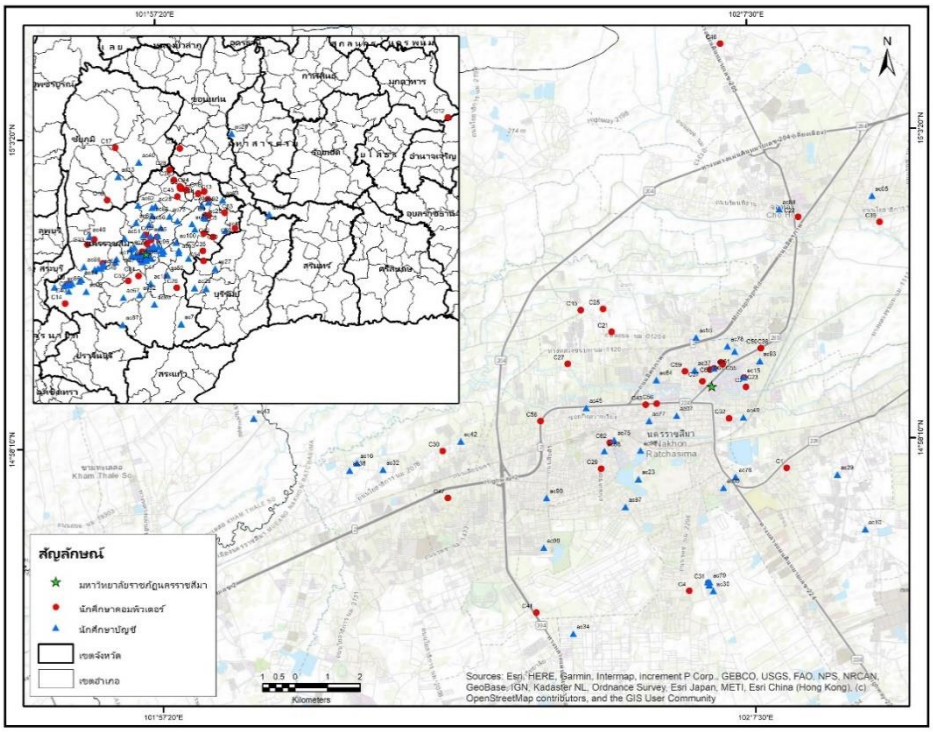
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Google sheets จะได้แผนที่บน Google maps ดังภาพที่ 1 ตำแหน่งที่มีนักศึกษามากกว่า 1 คน ถ้า Zoom in จะเห็นการกระจายตำแหน่งตามพิกัดที่อยู่ของนักศึกษาที่ทำข้อสอบ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจลักษณะและรูปแบบการกระจายได้ชัดเจนมากกว่าข้อมูลในตารางที่ 3



ภาพที่ 1 ผลลัพธ์การใช้คำสั่งใน Google sheets สร้างแผนที่การกระจายตำแหน่งที่สอบออนไลน์ของนักศึกษา

ถึงแม้ว่าแผนที่ในภาพที่ 1 จะสามารถแสดงการกระจายตำแหน่งที่สอบของนักศึกษาได้ตามนโยบายการควบคุมโควิด-19 และสะดวกในการสร้างแผนที่ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ทั่วไปในสำนักงาน แต่ยังมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่มากกว่าการใช้ QGIS ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายด้านลิขสิทธิ์ในการใช้งาน ในการทำแผนที่ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 เป็นแผนที่แสดง id ของนักศึกษาที่กำหนดขึ้นใช้ในการวิจัยเป็นการปกป้องความเป็นส่วนตัวของอาสาสมัครในการวิจัยตามที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมาได้ดำเนินการให้การรับรองการยกเว้นพิจารณาจริยธรรมโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นมาตรฐานสากล โดยได้รับเอกสารรับรองโครงการวิจัยแบบเร็ว KHE 2020-010 เมื่อวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2563 ทั้งนี้จะไม่ส่งผลต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูล แต่เป็นการทำให้ทราบตำแหน่งที่เป็นค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของนักศึกษาในขณะที่สอบออนไลน์ และมีข้อมูลเชิงพื้นที่ที่จะนำไปวิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาด้วยดัชนีบ้านใกล้และวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 2 แผนที่แสดง id การกระจายตำแหน่งที่สอบออนไลน์ของนักศึกษาโดยใช้ QGIS

2. การกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สอบออนไลน์ในช่วงวิกฤติโควิด

2.1 การวัดรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาด้วยดัชนีบ้านใกล้

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าตำแหน่งที่นักศึกษาทำข้อสอบออนไลน์มีทั้งที่กระจุกและกระจายตัว เมื่อต้องการทราบรูปแบบการกระจาย จึงได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ดัชนีบ้านใกล้ด้วยคำสั่ง Average nearest neighbor ใน QGIS ได้ค่า R_n (Nearest neighbor index) = 0.55 ซึ่งไม่เกิน 0.80 (McGrew, Jr. & Monroe, 2000) แสดงว่าเป็นรูปแบบการกระจายแบบกลุ่ม (Cluster pattern) ดังแสดงผลไว้ใน ภาพที่ 3

Observed mean distance: 0.05627798297075525

Expected mean distance: 0.1017066088717975

Nearest neighbour index: 0.5533365392380192

Number of points: 170

Z-Score: -11.141297473659488

ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีบ้านใกล้ด้วยโปรแกรม QGIS

2.2 การวัดรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาด้วยค่าสถิติแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

เมื่อวัดการกระจายด้วยสถิติแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางดังตารางที่ 4 พบว่า ค่าสถิติระยะห่างจากสถานศึกษาของนักศึกษาสาขาวิชาการบัญชีมีค่าใกล้เคียงกับค่าสถิติในภาพรวม แต่นักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจมีระยะห่างจากสถานศึกษาที่น้อยที่สุดและมากที่สุด คือ 0.3 และ 325.7 กิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าสถิติแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของระยะห่างจากสถานศึกษาของนักศึกษาจำแนกตามสาขาวิชา

ค่าสถิติแนวโน้ม	**ระยะห่างจากสถานศึกษา (กิโลเมตร)**		
เข้าสู่ส่วนกลาง	**คอมพิวเตอร์ธุรกิจ (N = 65)**	**การบัญชี (N = 105)**	**รวม (N = 170)**
Mean	42.9	35.3	38.2
Median	23.2	29.7	29.5
Mode	1.9	0.6	0.56
Std. Deviation	50.8	32.2	40.3
Minimum	0.3	0.6	0.3
Mean	42.9	35.3	38.2

3. การวิเคราะห์ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด-19

3.1 การวัดรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของนักศึกษาด้วยค่าสถิติ

นักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจมีค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางสังคม = 10,322.9 เมตร (S.D. = 30,269.6) คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด คือ id c38 และ id c50 (0.00 เมตร) คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่ยาวที่สุดคือ id c12 และ id c47 (236,541.5 เมตร) ส่วนนักศึกษาสาขาวิชาการบัญชี มีค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางสังคม = 6,519.2 เมตร (S.D. = 9,853.5) คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด คือ id ac49 และ id ac79 (60.9 เมตร) คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่ยาวที่สุดคือ id ac26 และ id ac62 (67,639.6 เมตร) ในภาพรวมค่าเฉลี่ยของระยะห่างทางสังคม = 7,973.6 เมตร (S.D. = 20,252.6) โดยคู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดและยาวที่สุดเป็นนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสถิติแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคม

ค่าสถิติแนวโน้ม	ระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคม (เมตร)		
เข้าสู่ส่วนกลาง	คอมพิวเตอร์ธุรกิจ (N = 65)	การบัญชี (N = 105)	รวม (N = 170)
Mean	10,322.9	6,519.2	7,973.6
Median	2,403.5	2,552.2	2,484.1
Mode	0.0	60.9	0.0
Std. Deviation	30,269.6	9,853.5	20,252.6
Minimum	0.0	60.9	0.0
Mean	23,6541.5	67,639.6	236,541.5

นอกจากนี้ในตารางที่ 5 ยังพบว่ามีค่า Minimum = 0 และค่า Mode = 0 แสดงว่ามีคู่ที่อยู่ในพิกัดเดียวกัน เมื่อตรวจสอบข้อมูลที่อยู่ใน Google sheets พบว่าเป็นนักศึกษาทำข้อสอบอยู่ในหอพักเดียวกัน

จากข้อมูลใน Google forms มีนักศึกษาที่ระบุสถานที่สอบเป็นหอพักโดยมีตำแหน่งของหอพักที่มีระยะห่างจากมหาวิทยาลัยมากที่สุด 2,500 เมตร ซึ่งเมื่อแบ่งช่วงระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคมออกเป็นระยะห่างช่วงละ 500 เมตรจะพบว่ามีนักศึกษาหนาแน่นมากที่สุดในระยะไม่เกิน 500 เมตร และร้อยละ 50 อยู่ในกลุ่มที่ระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคมมากกว่า 2,500 เมตร ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนและร้อยละของนักศึกษา จำแนกตามช่วงของระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคม

ระยะทางที่สั้นที่สุด	คอมพิวเตอร์ธุรกิจ		การบัญชี		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
0-500 เมตร	11	16.9	17	16.2	28	16.5
501-1,000 เมตร	10	15.4	12	11.4	22	12.9
1,001-1,500 เมตร	7	10.8	5	4.8	12	7.1
1,501-2,000 เมตร	3	4.6	7	6.7	10	5.9
2,001-2,500 เมตร	3	4.6	10	9.5	13	7.6
มากกว่า 2,500 เมตร	31	47.7	54	51.4	85	50.0
รวม	65	100.0	105	100.0	170	100.0

* สาขาวิชาไม่มีผลต่อระยะทางที่สั้นที่สุดของนักศึกษา (Fisher's Exact Test Value = 4.112, P = .543)

สรุป

1. การพัฒนาวิธีการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่จากตำแหน่งในการสอบออนไลน์ของนักศึกษา โดยให้กรอกข้อมูลใน Google forms เพื่อทำแผนที่บน Google maps มีตำแหน่งพิกัดที่คลาดเคลื่อนอยู่ร้อยละ 5.8 แสดงว่ามีค่าถูกต้องที่ดีคือร้อยละ 94.2

2. นักศึกษาที่สอบออนไลน์ในช่วงวิกฤติโควิดมีตำแหน่งที่ทำการสอบกระจุกตัวหนาแน่นมากในบริเวณใกล้มหาวิทยาลัย โดยมีค่าดัชนีบ้านใกล้ที่แสดงว่าเป็นรูปแบบการกระจายแบบกลุ่ม (R_n = 0.55)

3. ระยะห่างทางสังคมในการสอบออนไลน์ของนักศึกษาในช่วงภาวะวิกฤติโควิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10,322.9 เมตร (S.D. = 30,269.6) คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดเท่ากับ 0.00 เมตร คู่ที่มีระยะห่างทางสังคมเป็นระยะทางที่ยาวที่สุดเท่ากับ 236,541.5 เมตร

ข้อเสนอแนะ

1. ผลการทดลองสร้างแผนที่ด้วยข้อมูลที่อยู่ใน Google forms ด้วย Add-On Awesome Table ใน Google sheets นั้น ทำได้ดี แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดร้อยละ 5.8 ในการวิจัยครั้งต่อไปอาจใช้ Application อื่นช่วยในการเก็บค่าพิกัดที่สอบออนไลน์ของนักศึกษา

2. เนื่องจาก Google sheets ยังไม่มีส่วนรองรับในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพียงพอ จึงควรใช้โปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาร่วมวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งจะทำให้มีผลการวิจัยที่นำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจเพื่อวางแผนรับมือสถานการณ์วิกฤติจากโควิด-19 ต่อไปได้ดียิ่งขึ้น

3. การที่พบว่านักศึกษามีการกระจายแบบกลุ่มและมีคู่ที่ระยะห่างทางสังคม = 0 เป็นข้อค้นพบที่ควรนำไปสู่การควบคุมคุณภาพในการสอบออนไลน์ครั้งต่อไป

4. การที่พบว่านักศึกษาร้อยละ 50.0 อยู่ในกลุ่มที่ระยะทางที่สั้นที่สุดของระยะห่างทางสังคมมากกว่า 2,500 เมตร รองลงมาคืออยู่ในระยะไม่เกิน 500 เมตร (ร้อยละ 16.5) เป็นข้อควรพิจารณาของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการวางแผนพัฒนาการสอบออนไลน์ของนักศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

5. ควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาแนวทางกระบวนการสอบออนไลน์ของนักศึกษาให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้นในอนาคต เช่น การจัดสอบผ่านระบบ e-testing (มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 2562), การจัดสอบผ่านระบบออนไลน์ด้วย Google forms/Microsoft forms

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลใน Google forms ของนักศึกษาสาขาวิชาการบัญชีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวียา ปรารถนาดี ชาติวิวัฒนาการ เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรค. (2563). **สถานการณ์ภาพรวมทั่วโลก**. สืบค้นจาก https://ddc.moph.go.th/viral pneumonia/ind_world.php

คณะกรรมการโรคติดต่อแห่งชาติ ตามพระราชบัญญัติโรคติดต่อ พ.ศ. 2558 กรมควบคุมโรค. (2563). ที่ สธ. 0410.7/ว. หนังสือราชการเรื่องมาตรการและแนวทางการดำเนินการเพื่อการเฝ้าระวัง ป้องกันและควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด 19 (Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)). 19 มีนาคม 2563.

ชิงชัย หุมห้อง. (2562). **การใช้เครื่องมือ Field Calculator ในการแปลงระบบพิกัด โดยใช้ QGIS 3**. สืบค้นจาก https://medium.com/mapedia/การใช้เครื่องมือ-field-calculator-ในการแปลงระบบพิกัด-โดยใช้-qgis-3-3f42599e0c56

ปรีชา บินมาโนช. (2563). **ราชภัฏโคราช ลุย! เปิดสอนออนไลน์ ฝ่าวิกฤติ COVID-19**. สืบค้นจาก http://www.todayhighlightnews.com/2020/03/covid-19_89.html

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. (2562). **ระบบฐานข้อมูลคะแนนสอบ NRRU E-Testing 2019 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.** สืบค้นจาก https://etest.nrru.ac.th/eteacher/

ศิริพร จิรวัฒน์กุล. (2558). การวิจัยผสานวิธี: ผสานอย่างไรให้ถูกต้องในงานวิจัยสุขภาพ. **วารสารสภาการพยาบาล**, 30(4), 5-18.

Awesome Table. (2021). **AwesomeTable Support**. Retrieved from https://support.awesome-table.com/hc/en-us/articles/360000112449--Part-2-Geocode-addresses

McGrew Jr., J. C., & Monroe, C. B. (2000). **An Introduction to Statistical Problem Solving in Geography**. (2nd ed.). United States of America: Waveland Press, Inc.

Meyer, I. & Haggett, R. J. (1979). **Settlements geography : Theory in practice**. New York: Harper and Row.

การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษา

รัตยากร ไทยพันธ์[1*] วลัยภรณ์ ศรเกลี้ยง[2] ชวัลรัตน์ ศรีนวลปาน[3]
วีระยุทธ สุดสมบูรณ์[4] ฉัตรชัย แก้วดี[5] ธิดารัตน์ ทองเทียบ[6]

Received : October 21, 2020
Revised : April 8, 2021
Accepted : April 23, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษา และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษา การพัฒนาระบบใช้ภาษา PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL และส่วนติดต่อผู้ใช้งานใช้ภาษา HTML, CSS, Bootstrap และ jQuery Mobile เพื่อรองรับการทำงานโมบายแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชัน เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ ระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษา แบบประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และแบบสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก เจ้าหน้าที่หอพัก แม่บ้านประจำหอพัก และช่างซ่อมบำรุงของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จำนวน 130 คน ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง

ผลการวิจัยมีดังนี้ 1) ระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชันลดขั้นตอนในการประสานงาน ลดการสัมผัสใกล้ชิดของผู้ใช้งานและมีระบบจัดการทะเบียนพัสดุหอพักในการเบิก รับ และจ่ายพัสดุ 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.39, S.D. = 0.52) และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.41, S.D. = 0.68)

คำสำคัญ: แจ้งซ่อม โมบายแอปพลิเคชัน หอพักนักศึกษา

---

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อีเมล: rattayagon_tha@nstru.ac.th*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อีเมล: walaiporn_sor@nstru.ac.th*

[3] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อีเมล: chawanrat_sri@nstru.ac.th*

[4] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อีเมล: weerayute_sud@nstru.ac.th*

[5] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อีเมล: aj.chatchai@gmail.com*

[6] *นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อีเมล: tidarat.tongtiap.am@gmail.com*

* *ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: rattayagon_tha@nstru.ac.th*

DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATION FOR REPAIR REQUESTS IN STUDENT DORMITORY

Rattayagon Thaiphan[1*] Walaiporn Sornkliang[2] Chawanrat Srinounpan[3]
Weerayute Sudsomboon[4] Chatchai Kaewdee[5] Tidarat Tongtiap[6]

Abstract

The objectives of this research were 1) to design and develop a repair notification system for student dormitories as a mobile application and 2) to evaluate the efficiency of the repair notification system. The development of the system used PHP in conjunction with the MySQL database, and the user interface utilized HTML, CSS, Bootstrap, and jQuery Mobile to support both mobile and web applications. The research tools consisted of the repair notification system for student dormitories, performance evaluation form filled by five experts, and the satisfaction questionnaire of the sample chosen from dormitory teachers, dormitory students, dormitory staff, dormitory housekeepers, and maintenance technicians of Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. The samples were selected purposively result in a total of 130 people.

The research results are as follows: 1) the repair notification system in student dormitory via a mobile application could reduce the process of coordination and close contact of users. The dormitory had a system for managing parcels and dormitories for receiving and dispatching parcels 2) the evaluation of the system performance from the experts in all aspects was at a high level ($\overline{X}$ = 4.39, S.D. = 0.52), and 3) the overall user satisfaction assessment were at a high level ($\overline{X}$ = 4.41, S.D. = 0.68).

Keywords: Repair request, Mobile application, Student dormitory

[1] Assistant Professor, Program in Computer Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, e-mail: rattayagon_tha@nstru.ac.th
[2] Assistant Professor, Program in Computer Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, e-mail: walaiporn_sor@nstru.ac.th
[3] Assistant Professor, Ph.D., Program in Computer Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, e-mail: chawanrat_sri@nstru.ac.th.
[4] Assistant Professor, Ph.D., Program in Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, e-mail: weerayute_sud@nstru.ac.th
[5] Assistant Professor, Ph.D., Program in Computer Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, e-mail: aj.chatchai@gmail.com
[6] Bachelor's Degree, Program in Computer Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, e-mail: tidarat.tongtiap.am@gmail.com
** Corresponding author, e-mail: rattayagon_tha@nstru.ac.th*

บทนำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เป็นสถาบันการศึกษาที่มีการพัฒนาให้มีความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการรองรับการพัฒนาทางด้านระบบการศึกษาของประเทศ จึงได้มีการบรรจุหลักสูตรและมีสาขาวิชาใหม่อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ผู้สนใจศึกษาได้เลือกเข้าศึกษาได้อย่างหลากหลายตามความสนใจและความถนัดของตน โดยในแต่ละปีการศึกษามีนักศึกษาใหม่เข้ามาเรียนจำนวนมากทั้งที่มาจากจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งมีนักศึกษาจำนวนมากที่พักอาศัยอยู่ในหอพักนักศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดเตรียมหอพักไว้บริการให้ทั้งนักศึกษาชายและนักศึกษาหญิงเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยให้แก่นักศึกษาในเรื่องของการเดินทาง

หอพักนักศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชมีจำนวนหอพัก 9 หลัง โดยแบ่งเป็นหอพักชาย 3 หลัง หอพักหญิง 6 หลัง รองรับนักศึกษาในแต่ละปีการศึกษาจำนวน 2,500 คน (งานหอพักนักศึกษา, 2563) เมื่อมีการเข้าพักอาศัยในหอพักแล้วอุปกรณ์ของใช้ในห้องพักเมื่อใช้ไประยะหนึ่ง อาจมีการชำรุดของพัสดุในห้องพัก ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยจึงมีการบริหารจัดการในส่วนของบริการรับแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในห้องพักเพื่อทำการซ่อมแซมปรับปรุงห้องพักให้แก่นักศึกษาที่พักอาศัย ซึ่งการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ในห้องพักยังเป็นการใช้รูปแบบของการเขียนจดบันทึกในแบบฟอร์มที่เป็นแบบคำร้องต่าง ๆ ตามกรณี โดยให้แม่บ้านที่รับผิดชอบประจำหอพักทำการรับแจ้งซ่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่นักศึกษาได้แจ้งไว้ จากนั้นแม่บ้านได้รวบรวมแบบฟอร์มคำร้องดังกล่าวส่งให้กับเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบอีกครั้ง เพื่อที่จะเก็บข้อมูลการรับแจ้งดังกล่าวไว้เป็นหลักฐาน และติดต่อกับช่างซ่อมให้มาดำเนินการซ่อมแซมปรับปรุงต่าง ๆ ซึ่งส่วนการแจ้งซ่อมดังกล่าวจะใช้เวลาในการซ่อมบำรุงให้แล้วเสร็จพร้อมใช้งาน อาจส่งผลให้นักศึกษาหอพักไม่ได้รับความสะดวกหรือความปลอดภัยในการพักอาศัยได้ เมื่อมีการแจ้งซ่อมพัสดุสะสมเพิ่มมากขึ้น พบว่างานบริการนี้สิ้นเปลืองเวลาในการประสานงาน ข้อมูลอาจเกิดการสูญหายเพราะใช้แบบฟอร์มในการแจ้งซ่อมและมีข้อผิดพลาดของข้อมูลได้ง่ายเนื่องจากยังมีการจดบันทึกด้วยลายมือ อีกทั้งทะเบียนพัสดุไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งานของช่างซ่อมบำรุง หรือเจ้าหน้าที่ไม่สามารถจัดงบประมาณในการจัดซื้อพัสดุหอพักให้ตรงกับความต้องการใช้งานเพราะยังขาดรายงานการจัดซื้อพัสดุของหอพัก

ปัจจุบันการใช้งานแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนได้รับความนิยมและแพร่หลายมากขึ้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลาย ได้แก่ งานวิจัยของสุทธิพงศ์ สุวรรณเดชา (2560) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือสนับสนุนการปฏิบัติงานของช่างไฟฟ้า การประปาส่วนภูมิภาค เขต 5 พบว่าความพึงพอใจด้านคุณภาพการบริการ คือความเร็วในการประมวลผลของแอปพลิเคชัน การติดตั้งแอปพลิเคชัน สามารถทำได้ง่าย ผู้ใช้งานสามารถโหลดแอปพลิเคชันเพลสโตส์และการติดตั้งใช้เวลาน้อย และเมนูการใช้งานของแอปพลิเคชันเข้าใจง่าย งานวิจัยของเชี่ยวชาญ ยางศิลา (2561) ได้พัฒนาระบบแจ้งเตือนผ่านโมบายแอปพลิเคชันเมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ผ่านจุดตรวจโดยใช้อาร์เอฟไอดี ระบบสามารถแจ้งเตือนเจ้าของรถยนต์ผ่านแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน หลักการทำงานของระบบคือเมื่อรถยนต์ที่ติดตั้งอาร์เอฟไอดีแท็กวิ่งเข้ามาในระยะทำการอ่านของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนทุก ๆ 5 วินาทีจนกว่ารถยนต์จะวิ่งเลยระยะทำการอ่าน งานวิจัยของมงคล รอดจันทร์ และคณะ (2561) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ร่วมกับคิวอาร์โค๊ดบันทึกการเข้าเรียนของนักศึกษาวิชาทหาร นำเอาเทคโนโลยีคิวอาร์โค๊ดมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับบัตรนักศึกษาวิชาทหาร โดยใช้สมาร์ทโฟนบนพื้นฐานระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์อ่านคิวอาร์โค๊ดเพื่อตรวจสอบการเข้าเรียนของนักศึกษาวิชาทหารช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการด้านการบันทึกข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น และง่ายต่อการใช้งานและทำให้รวดเร็ว มีความผิดพลาดได้น้อยลง และงานวิจัยของวีระพน ภานุรักษ์ และเดือนเพ็ญ ภานุรักษ์ (2563) ได้พัฒนาระบบ RMU-M-Commerce ผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจ

ประชาสัมพันธ์สินค้าในชุมชนและเพิ่มช่องทางการซื้อขายสินค้าให้กับชุมชน ผ่านทางอุปกรณ์เคลื่อนที่ให้สามารถขายสินค้าได้มากขึ้น อีกทั้งเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ด้วยการทำเทคโนโลยีโมบายแอปพลิชันและเว็บแอปพลิเคชันมาควบคุมดูแลระบบและให้บริการแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งระบบดังกล่าวจะช่วยลดเวลาในการใช้บริการในแต่ละขั้นตอน ทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกในการบันทึกข้อมูล ลดการสูญหายของข้อมูล ลดความผิดพลาดของข้อมูล และง่ายต่อการใช้งาน เพื่อรองรับกับการขยายตัวของเทคโนโลยีดิจิทัลในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ได้แก่ ระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้ระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก เจ้าหน้าที่หอพัก แม่บ้านประจำหอพัก และช่างซ่อมบำรุงหอพัก มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

2.2 กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก เจ้าหน้าที่หอพัก แม่บ้านประจำหอพัก และช่างซ่อมบำรุงหอพัก การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 130 คน ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling)

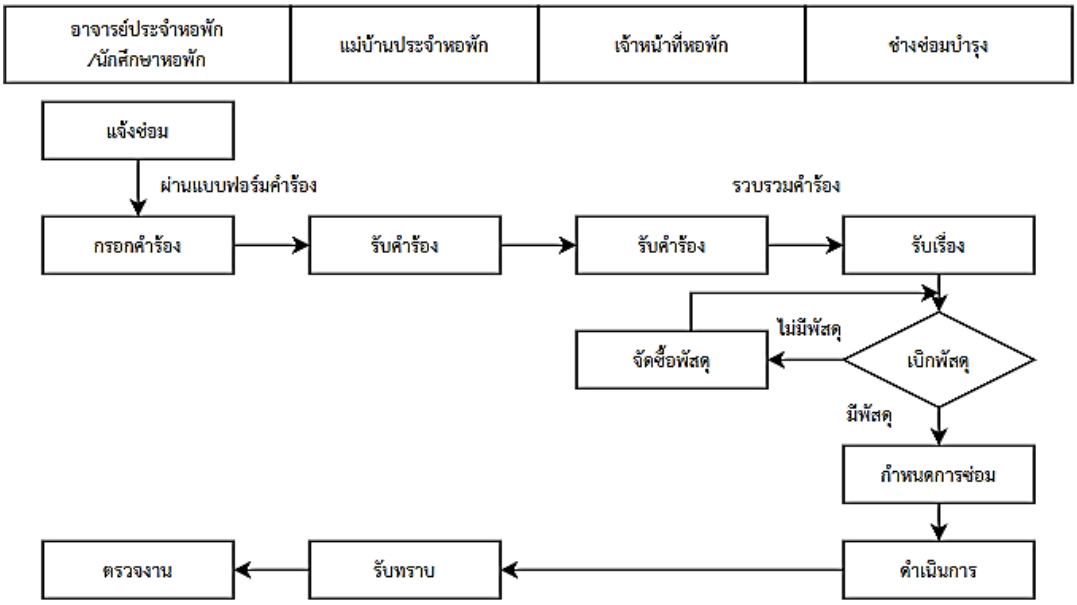
3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้ดำเนินการในลักษณะของการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 การวิเคราะห์

ศึกษากระบวนการทำงานปัจจุบันการบริหารจัดการในส่วนบริการรับแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในห้องพักของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งยังเป็นการใช้รูปแบบของการเขียนจดบันทึกในเอกสารที่เป็นแบบฟอร์มคำร้องต่างๆ ตามกรณี โดยแม่บ้านที่รับผิดชอบประจำหอพักทำการรับแจ้งซ่อมพัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ

ตามที่นักศึกษาได้แจ้งไว้แล้วได้บันทึกข้อมูลดังกล่าวลงไว้ในแบบฟอร์มจากนั้นแม่บ้านได้รวบรวมแบบฟอร์มคำร้องดังกล่าวส่งให้กับเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบอีกครั้ง เพื่อที่จะเก็บข้อมูลการรับแจ้งดังกล่าวไว้เป็นหลักฐาน และติดต่อกับช่างซ่อมบำรุงให้มาดำเนินการซ่อมแซมปรับปรุงต่าง ๆ ดังภาพที่ 1 แสดงกระบวนการทำงานปัจจุบัน

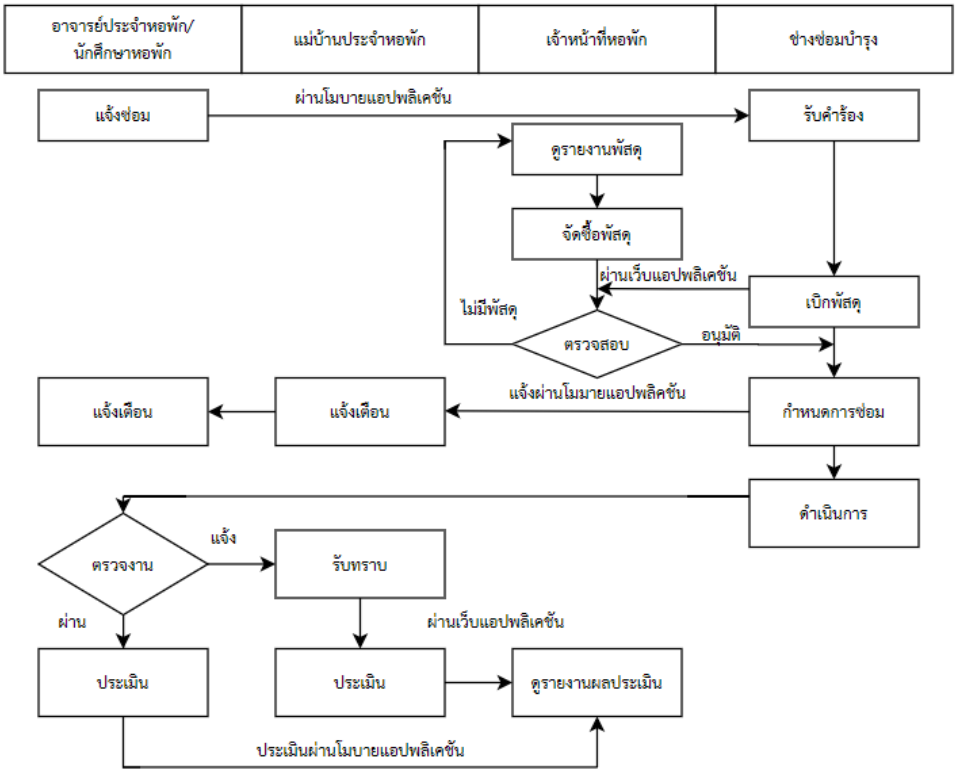


ภาพที่ 1 กระบวนการทำงานปัจจุบัน

ขั้นตอนการทำงานดังกล่าวพบว่ามีความซ้ำซ้อนของการรับคำร้องและการติดต่อประสานงานระหว่างเจ้าหน้าที่หอพัก แม่บ้านประจำหอพัก และช่างซ่อมบำรุงหอพัก และข้อมูลเกิดการสูญหายเพราะยังมีการบันทึกไว้ในแบบฟอร์มคำร้อง และมีข้อผิดพลาดของข้อมูลได้ง่ายเพราะยังมีการจดบันทึกด้วยลายมือ อีกทั้งพัสดุอุปกรณ์ในคลังเก็บพัสดุไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งานของช่างซ่อมบำรุง เจ้าหน้าที่ไม่สามารถจัดสรรงบประมาณในการจัดซื้อพัสดุของหอพักให้ตรงกับความต้องการใช้งาน

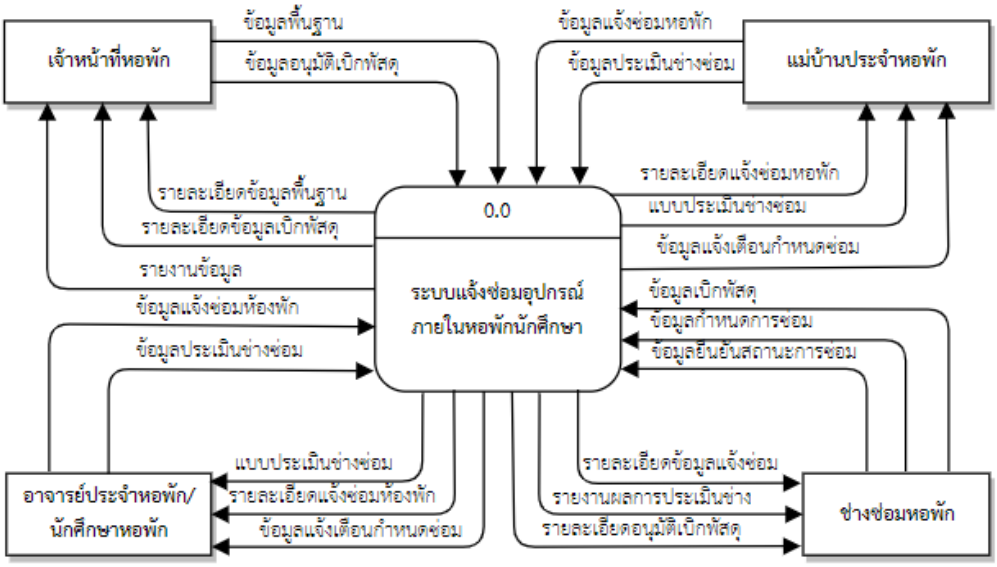
3.2 การออกแบบ

ความสำคัญและปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานปัจจุบันจึงได้ออกแบบระบบการแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยการนำเทคโนโลยีโมบายแอปพลิเคชันและเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชันมาช่วยให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพ ลดความซ้ำซ้อนการปฏิบัติงาน และลดเวลาในการให้บริการในแต่ละขั้นตอน โดยกระบวนการทำงานรูปแบบใหม่แสดงดังภาพที่ 2



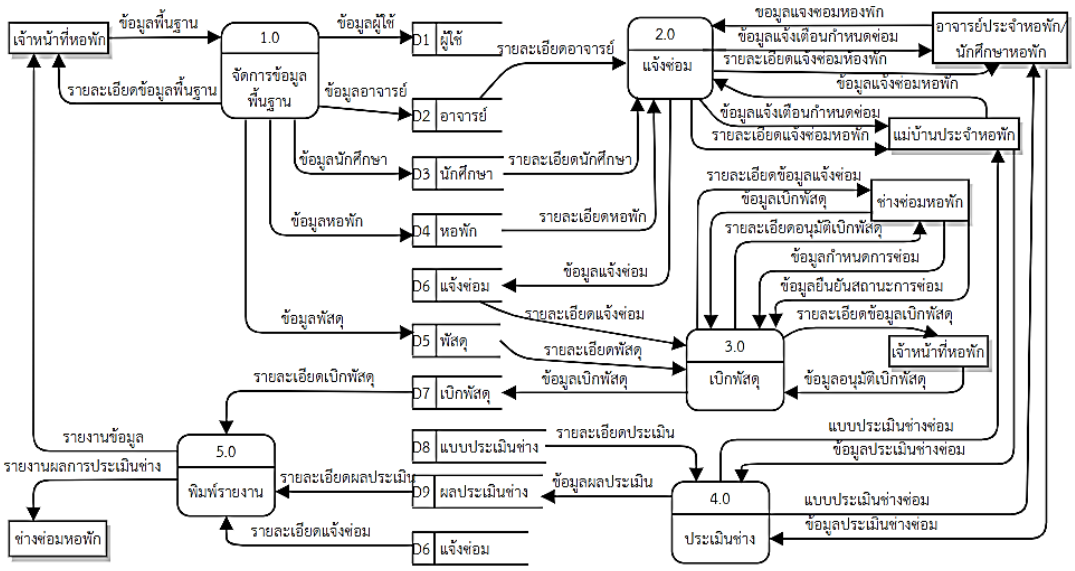
ภาพที่ 2 กระบวนการทำงานระบบใหม่

ระบบงานใหม่ที่ออกแบบมีผู้ที่เกี่ยวข้อง 4 ส่วน ได้แก่ 1) เจ้าหน้าที่หอพัก สามารถจัดการข้อมูลพื้นฐาน และดูรายงานข้อมูลต่าง ๆ จากระบบ ได้แก่ รายงานแจ้งซ่อมอุปกรณ์ในหอพัก รายงานเบิกพัสดุของหอพัก รายงานสถิติการแจ้งซ่อม รายงานผลประเมินช่างซ่อมบำรุงหอพัก และรายงานพัสดุคงเหลือได้ 2) ช่างซ่อมบำรุงหอพัก สามารถตรวจสอบรายละเอียดข้อมูลแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก เพื่อจัดการข้อมูลกำหนดการซ่อม ทำการเบิกพัสดุ ยืนยันสถานะการซ่อม 3) แม่บ้านประจำหอพัก รับข้อมูลการแจ้งเตือนเมื่อถึงกำหนดการซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก ดูรายละเอียดข้อมูลแจ้งซ่อมอุปกรณ์ และสามารถให้คะแนนประเมินช่างซ่อมบำรุงหอพักได้ และ 4) อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก สามารถแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก ได้รับการแจ้งเตือนเมื่อถึงกำหนดการซ่อม สามารถให้คะแนนประเมินช่างซ่อมบำรุงหอพักได้ และได้นำแผนภาพบริบท (Context diagram) มาออกแบบระบบงานใหม่แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพบริบทแสดงการทำงานใหม่ของระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษา

จากภาพที่ 3 ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชันมีการอธิบายขั้นตอนการทำงานที่แสดงทิศทางการไหลของข้อมูลระดับลึกลงไป รายละเอียดของแหล่งเก็บข้อมูล และการประมวลผลข้อมูล โดยการออกแบบแผนภาพกระแสข้อมูลระดับ 1 (Data flow diagram) มีการแบ่งการทำงานเป็น 5 กระบวนการ คือ 1) จัดการข้อมูลพื้นฐาน 2) แจ้งซ่อม 3) เบิกพัสดุ 4) ประเมินช่าง และ 5) พิมพ์รายงาน แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับ 1 ของระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษา

3.3 การพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบอยู่ภายใต้ซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open source software) โดยใช้ภาษา PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL และส่วนติดต่อผู้ใช้งานใช้ภาษา HTML, CSS, Bootstrap และ jQuery Mobile เพื่อรองรับการทำงานทั้งโมบายแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชัน

3.4 การทดสอบระบบ

การทดสอบระบบโดยคณะผู้วิจัย เป็นการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบที่ได้พัฒนาขึ้นว่าถูกต้องตรงตามที่วิเคราะห์และออกแบบไว้ หากมีข้อผิดพลาดต้องมีการแก้ไขข้อผิดพลาดให้ถูกต้องและเหมาะสมตรงตามที่ได้วิเคราะห์และออกแบบระบบไว้

4. การประเมินประสิทธิภาพของระบบและการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ

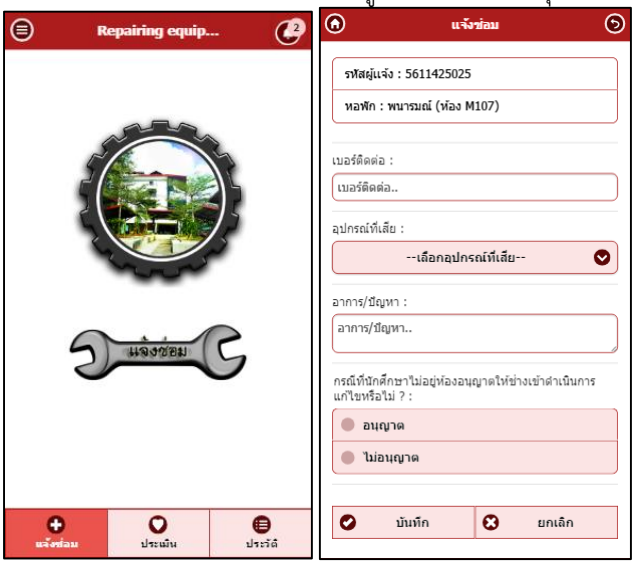
การประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และทำการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้ระบบจากผู้ใช้จำนวน 130 คน ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วนำไปแปลผลโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าเฉลี่ย 5 ระดับ (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

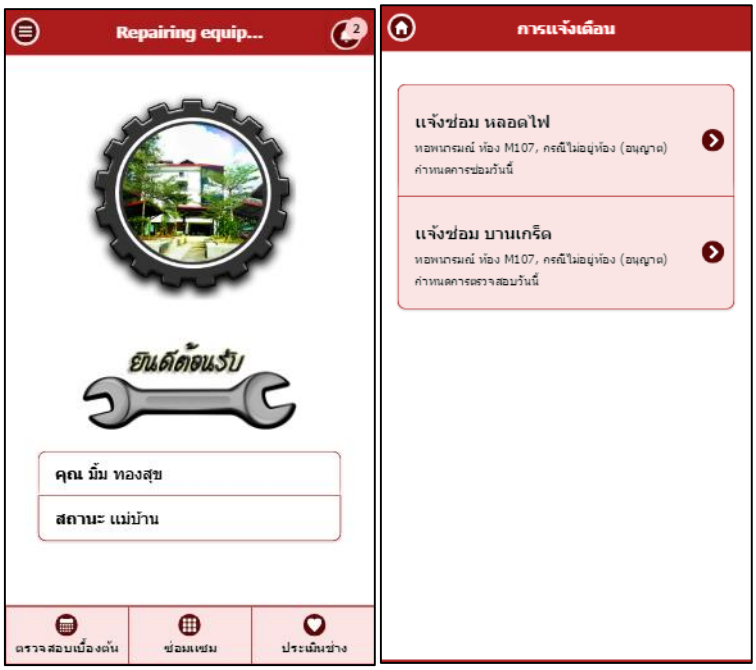
1. ผลการพัฒนาระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน

ผลการพัฒนาระบบแบ่งการให้บริการการใช้งานเป็น 2 ส่วนคือ การใช้งานผ่านโมบายแอปพลิเคชันและการใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

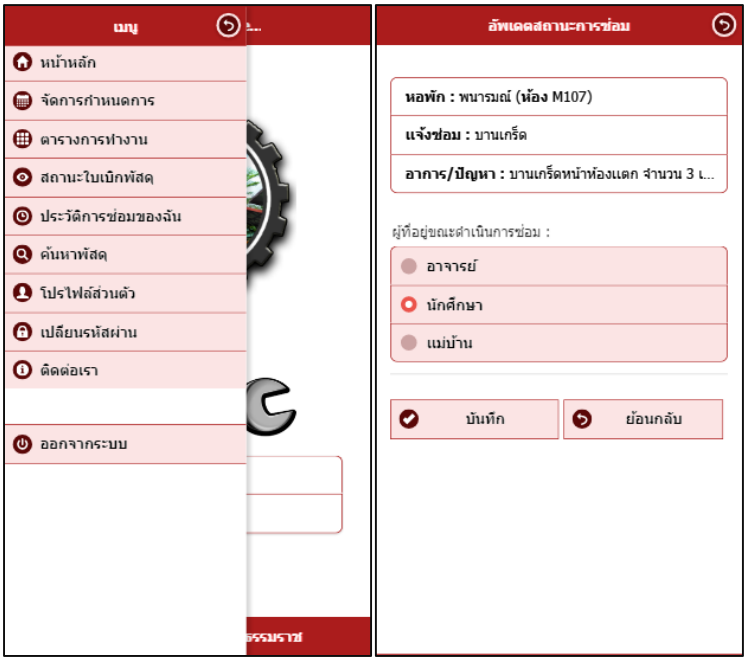
1.1 การใช้งานผ่านโมบายแอปพลิเคชัน ได้พัฒนาเพื่ออำนวยความสะดวก ลดเวลาในการประสานงานระหว่างอาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก แม่บ้านประจำหอพัก และช่างซ่อมบำรุง ให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการใช้งานผ่านโมบายแอปพลิเคชันของผู้ที่เกี่ยวข้องทั้ง 3 กลุ่ม ดังภาพที่ 5-7



ภาพที่ 5 ตัวอย่างรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาบริการให้แก่อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก

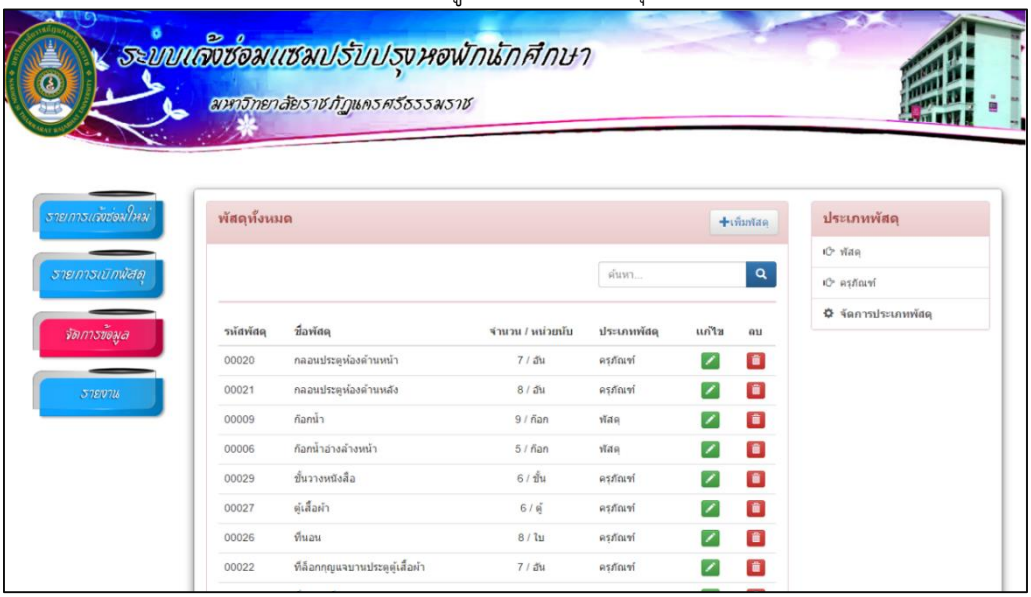


ภาพที่ 6 ตัวอย่างรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาบริการให้แก่แม่บ้านประจำหอพัก

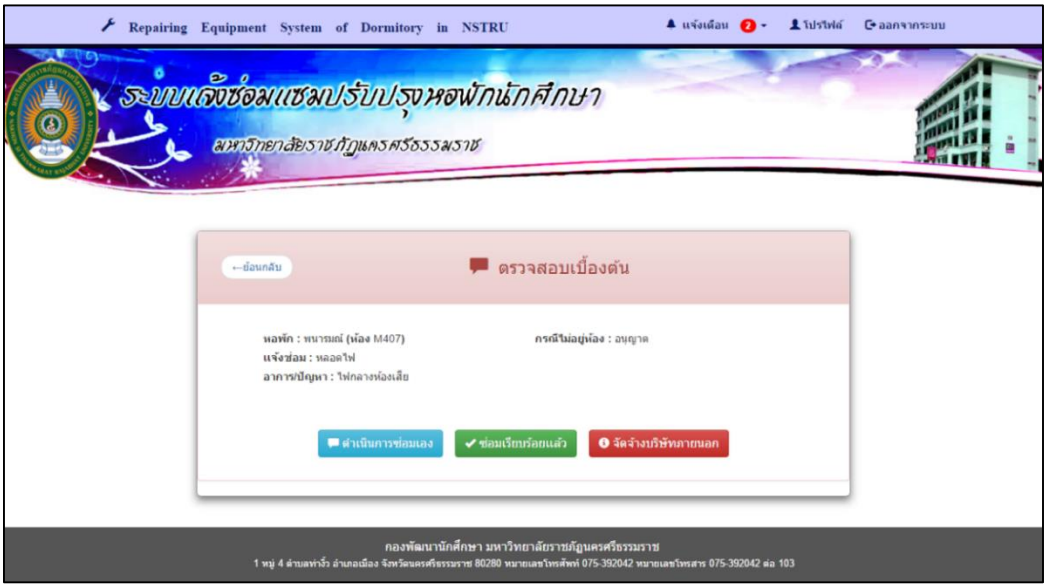


ภาพที่ 7 ตัวอย่างรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาบริการให้แก่ช่างซ่อมบำรุง

1.2 การใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ได้พัฒนาบริการให้แก่เจ้าหน้าที่หอพัก และช่างซ่อมบำรุงหอพัก ตัวอย่างการใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชันของผู้ที่เกี่ยวข้องทั้ง 2 กลุ่ม ดังภาพที่ 8-9



ภาพที่ 8 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชันที่บริการให้แก่เจ้าหน้าที่หอพักในส่วนการตรวจสอบพัสดุ



ภาพที่ 9 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชันที่บริการให้แก่ช่างซ่อมบำรุงเพื่อตรวจสอบข้อมูลก่อนการซ่อม

2. ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ผลสรุปการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน			
1.1 ความสามารถในการจัดการฐานข้อมูล	4.40	0.55	มาก
1.2 ความสามารถในการสืบค้นข้อมูล	4.40	0.89	มาก
1.3 ความสามารถในการนำเสนอข้อมูล	4.20	0.45	มาก
1.4 ความสามารถในการให้บริการข้อมูล	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	4.40	0.60	มาก
2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ			
2.1 ความถูกต้องการทำงานโดยรวม	4.40	0.55	มาก
2.2 ความถูกต้องการสืบค้นข้อมูล	4.40	0.55	มาก
2.3 ความถูกต้องการแสดงรายละเอียด	4.20	0.45	มาก
2.4 ความครอบคลุมระบบที่พัฒนากับระบบจริง	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	4.40	0.50	มาก
3. ด้านง่ายต่อการใช้งานของระบบ			
3.1 ขั้นตอนการใช้งานต่อเนื่องเข้าใจง่าย	4.40	0.55	มาก
3.2 การกำหนดสีและรูปแบบอักษร	4.80	0.45	มากที่สุด
3.3 การใช้ภาษาง่ายต่อการใช้งาน	4.60	0.55	มากที่สุด
3.4 สอดคล้องและตรงความต้องการของผู้ใช้งาน	4.20	0.45	มาก
รวม	4.50	0.51	มาก
4. ด้านความปลอดภัยของระบบ			
4.1 การกำหนดสิทธิ์การใช้งาน	4.20	0.45	มาก
4.2 การกำหนดรหัสผู้ใช้และรหัสผ่าน	4.40	0.55	มาก
4.3 การตรวจสอบการป้อนข้อมูลเข้าในระบบ	4.00	0.00	มาก
รวม	**4.30**	**0.47**	**มาก**
รวมทั้งหมด	**4.39**	**0.52**	**มาก**

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.39, S.D. = 0.52) และเมื่อพิจารณารายด้านเรียงจากมากไปน้อย พบว่าด้านที่มีผลการประเมินในระดับสูงสุดคือ ด้านง่ายต่อการใช้งานของระบบ ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.51) ต่อมาคือ ด้านตรงตามความต้องการ

ของผู้ใช้งาน ($\bar{X}$= 4.40, S.D. = 0.60) และด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชั่นของระบบ ($\bar{X}$ = 4.40, S.D. = 0.50) และด้านที่ผลการประเมินน้อยสุดคือ ด้านความปลอดภัยของระบบ ($\bar{X}$ = 4.30, S.D. = 0.47)

3. ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความคิดเห็นผู้ใช้งาน

ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานต่อการใช้ระบบประกอบด้วย อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก เจ้าหน้าที่หอพัก แม่บ้านประจำหอพัก และช่างซ่อมบำรุงหอพัก จำนวน 130 คน ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ			
1.1 ระบบกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้งานได้อย่างถูกต้อง	4.67	0.48	มากที่สุด
1.2 ระบบบันทึกข้อมูลได้ตรงตามความต้องการ	4.43	0.50	มาก
1.3 ระบบค้นหาข้อมูลได้ถูกต้อง	4.37	0.76	มาก
1.4 ระบบนำเสนอข้อมูลได้ถูกต้อง	4.20	0.81	มาก
รวม	4.42	0.67	มาก
2. ด้านการออกแบบ			
2.1 ความเหมาะสมในการใช้สี ขนาด ของตัวอักษร	4.13	0.82	มาก
2.2 ภาษาเข้าใจง่าย กระชับ	4.20	0.81	มาก
2.3 อธิบายชี้แจงข้อมูลได้ชัดเจน ง่าย และไม่ซับซ้อน	4.63	0.67	มากที่สุด
2.4 ความสวยงาม น่าสนใจและทันสมัย	4.47	0.63	มาก
รวม	4.36	0.75	มาก
3. ด้านการแสดงผล			
3.1 ข้อมูลในระบบมีความถูกต้อง ชัดเจนน่าเชื่อถือ	4.63	0.49	มากที่สุด
3.2 การแสดงข้อมูลมีรูปแบบและมาตรฐานเดียวกัน	4.13	0.82	มาก
3.3 ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้อง	4.63	0.49	มากที่สุด
3.4 สามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้สะดวก	4.43	0.50	มาก
รวม	**4.46**	**0.62**	**มาก**
รวมทั้งหมด	**4.41**	**0.68**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.41, S.D. = 0.68) และเมื่อพิจารณารายด้านเรียงจากมากไปน้อย พบว่าด้านที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับสูงสุดคือ ด้านการแสดงผล ($\bar{X}$ = 4.46, S.D. = 0.62) รองลงมา คือ ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ ($\bar{X}$ = 4.42, S.D. = 0.67) และด้านที่ผลการประเมินน้อยสุด คือ ด้านการออกแบบ ($\bar{X}$ = 4.36, S.D. = 0.75)

ผลการพัฒนาระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เมื่อประเมินประสิทธิภาพระบบจากผู้เชี่ยวชาญโดยภาพรวมทั้ง 4 ด้านอยู่ในระดับมาก ด้านที่ได้ผลการประเมินความพึงพอใจมากที่สุดคือ ด้านง่ายต่อการใช้งานของระบบ ประกอบด้วย การออกแบบสีและ

ตัวอักษร การใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ความต่อเนื่องของขั้นตอนการทำงาน และสอดคล้องกับความต้องการใช้งานของผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเจนจิรา ภาผิวดี และอรรถกร เก่งพล (2562) ได้พัฒนาโปรแกรมและการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการบันทึกข้อมูลการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ กรณีศึกษาบริษัทอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสนับสนุนการทำงานของแผนกไอทีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีระบบจัดการฐานข้อมูลที่แม่นยำและสามารถใช้งานได้ง่ายในการปฏิบัติงานเพื่อลดความผิดพลาดในการบันทึกและการจัดเก็บข้อมูล สามารถลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานในกระบวนการทำงาน อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมสุข นาคะพัฒนกุล และปพิชญา นิเทศ (2561) ได้มีการพัฒนาระบบการแจ้งซ่อมบำรุงผ่านระบบออนไลน์ของงานบริหารและธุรการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งพบว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการ ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็ว ใช้งานง่าย อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะงานซ่อม สถานการณ์อนุมัติในแต่ละกระบวนการได้โดยทันที ในส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญ ด้านที่ผลการประเมินน้อยสุดคือ ด้านความปลอดภัยของระบบ เนื่องจากงานวิจัยที่ได้พัฒนาไม่ได้รองรับการตรวจสอบรหัสผ่านที่ยากต่อการเดาสุ่ม เช่น การตรวจสอบรหัสผ่านที่มีการกำหนดความยาวของตัวอักษรหรือรหัสผ่านที่มีการคละ ตัวเลข สัญลักษณ์ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก เป็นต้น

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษาผ่าน โมบายแอปพลิเคชัน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยภาพรวมทั้ง 3 ด้านอยู่ในระดับมาก ด้านที่มีความพึงพอใจมากที่สุดคือด้านการแสดงผล ประกอบด้วย ข้อมูลในระบบมีความถูกต้องชัดเจนน่าเชื่อถือ ผลลัพธ์ที่ได้ มีความถูกต้อง สามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้สะดวก และการแสดงข้อมูลมีรูปแบบและมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับสุริยัน นิลทะราช และสมบูรณ์ ชาวชายโขง (2563) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุเพื่อการควบคุมวัสดุ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ซึ่งพบว่าระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุมีความง่ายต่อการใช้งาน ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้ระบบ และสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของสุรเดช นิลคุณ และคณะ (2561) ได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ในการซ่อมบำรุงอากาศยานพบว่า ผู้ใช้ระบบสามารถรับรู้ถึงความง่ายของโปรแกรม ผู้ใช้สามารถเข้าถึงโปรแกรมได้ง่าย สามารถใช้งานง่าย ระบบสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว มีความทันสมัย มีการออกแบบรูปแบบโปรแกรมที่มีความสวยงาม และสามารถเข้าใจได้ง่าย ในส่วนผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานด้านที่ผลการประเมินน้อยสุด คือ ด้านการออกแบบ เนื่องจากขนาดตัวอักษรในบางเพจของเว็บแอปพลิเคชันมีขนาดเล็ก เช่น การตรวจสอบรายการพัสดุหอพักมีการออกแบบให้มีตัวอักษรมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ยากต่อการอ่านรายละเอียดพัสดุ เป็นต้น

สรุป

การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชัน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มีการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาจากระบบงานเดิม เริ่มตั้งแต่อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพักกรอกคำร้องแจ้งซ่อม ส่งผ่านแม่บ้านหอพัก แล้วแม่บ้านหอพักรวบรวมส่งเจ้าหน้าที่หอพักเพื่อส่งให้ช่างซ่อมเบิกพัสดุทำการซ่อมอุปกรณ์ใช้ระยะเวลา 3 ถึง 4 วันในการดำเนินการ แต่เมื่อมีการออกแบบระบบงานใหม่ผลการดำเนินงานใช้ระยะเวลาลดลงเหลือเพียง 1 วัน โดยระบบงานใหม่สามารถลดขั้นตอนการปฏิบัติงานให้แก่ผู้ใช้งาน มีการแจ้งเตือน การตรวจสอบ และการติดตามการดำเนินงาน ทำให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน

ต่าง ๆ ได้ดี ลดการสัมผัสใกล้ชิดระหว่างผู้ใช้งาน และมีระบบทะเบียนพัสดุหอพักเพื่อ เบิก รับ จ่ายพัสดุ แทนการลงบันทึกด้วยสมุด เป็นการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยแบ่งระบบเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การแจ้งซ่อมออนไลน์โดยใช้เทคโนโลยีโมบายแอปพลิเคชันเพื่อบริการให้แก่ อาจารย์ประจำหอพัก/นักศึกษาหอพัก สามารถแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก ให้คะแนนประเมินช่างซ่อม และดูประวัติการซ่อมห้องพักตนเองได้ แม่บ้านประจำหอพักสามารถตรวจดูรายการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก และให้คะแนนประเมินช่างซ่อมได้ และสำหรับช่างซ่อมสามารถตรวจสอบรายการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก และสืบค้นพัสดุของหอพัก เบิกพัสดุของหอพัก และจัดการกำหนดการเวลาซ่อมอุปกรณ์ และส่วนที่สองเป็นการพัฒนาระบบโดยการใช้เว็บแอปพลิเคชันสำหรับเจ้าหน้าที่เพื่อจัดการข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ใช้และข้อมูลพัสดุหอพัก เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบและอนุมัติรายการเบิกพัสดุของหอพัก ดูรายงานสรุปต่าง ๆ จากระบบ ได้แก่ รายงานแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพัก รายงานเบิกพัสดุของหอพัก รายงานสถิติการแจ้งซ่อม รายงานผลประเมินช่างซ่อม และรายงานพัสดุคงเหลือได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไประบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในหอพักนักศึกษาผ่านโมบายแอปพลิเคชันมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ยังสามารถพัฒนาให้ใช้งานได้ในระบบปฏิบัติอื่นๆ นอกเหนือจากการทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ได้แก่ ระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) เพื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้งาน ในการนำรูปแบบรายงานอาจมีการเพิ่มเติมโดยการนำเสนอข้อมูลให้แสดงในรูปแบบของกราฟ เพื่อให้เห็นภาพรวมที่ชัดเจน และสามารถนำระบบไปใช้งานร่วมกับระบบอื่น ๆ ของมหาวิทยาลัยได้ เช่น ระบบบุคลากร ระบบทะเบียนนักศึกษา ระบบทะเบียนพัสดุ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

งานหอพักนักศึกษา. (2563). **คู่มือหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.** สืบค้นจาก https://anyflip.com/ugomn/tihz/basic

เจนจิรา ภาผิวดี, และอรรถกร เก่งพล. (2562). โปรแกรมและการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการบันทึกข้อมูลการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ กรณีศึกษาบริษัทอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 30(3), 432-442.

เชี่ยวชาญ ยางศิลา. (2561). ระบบแจ้งเตือนผ่านโมบายแอปพลิเคชันเมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ผ่านจุดตรวจ โดยใช้อาร์เอฟไอดี. **วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 8(2), 15-24.

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). **การวิจัยเบื้องต้น** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

มงคล รอดจันทร์, อวยไชย อินทรสมบัติ, และธานิล ม่วงพูล. (2561). การพัฒนาแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ร่วมกับคิวอาร์โค๊ดสำหรับการบันทึกการเข้าเรียนของนักศึกษาวิชาทหาร. **วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม**, 5(1), 88-96.

วีระพน ภานุรักษ์, และเดือนเพ็ญ ภานุรักษ์. (2563). ระบบ RMU-M-Commerce ผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจ. **วารสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ**, 6(1), 58-69.

สมสุข นาคะพัฒนกุล, และปพิชญา นิเทศ. (2561). ระบบบริหารงานแจ้งซ่อมบำรุงออนไลน์. **วารสารวิชาการที่ประชุมสภาข้าราชการ พนักงาน และลูกจ้าง มหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย**, 7(1). 36–46.

สุทธิพงศ์ สุวรรณเดชา. (2560). **การพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือสำหรับสนับสนุนการปฏิบัติงานของช่างไฟฟ้าการประปาส่วนภูมิภาค เขต 5**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรเดช นิลคุณ, เดช บุญประจักษ์, จรูญ จันแทน, และบดินทร์ แก้วบ้านดอน. (2561). การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการซ่อมบำรุงอากาศยาน. **วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**, 2(8), 117-126.

สุริยัน นิลทะราช, และสมบูรณ์ ชาวชายโขง. (2563). การพัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุเพื่อการควบคุมวัสดุ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. **วารสารบัณฑิตศึกษา**, 17(76), 191-201.

ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล[1*] กฤษณะ จันทสิทธิ์[2]

Received : August 4, 2020
Revised : April 23, 2021
Accepted : April 27, 2021

บทคัดย่อ

ในการทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน และบูรณาการงานวิจัยกับการเรียนการสอนของโรงเรียน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดสาธิตระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งอุปกรณ์ลงบนแผ่นไวท์บอร์ดขนาดความกว้าง 82 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร และหนา 22 เซนติเมตร โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุขนาด 20 แอมแปร์ ลงในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 80 แอมแปร์ แปลงกระแสไฟฟ้ากระตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ ติดตั้งวงจรป้องกันการใช้กระแสไฟฟ้าเกิน รุ่น XH-M609 ทำงานร่วมกับโซลิดสเตจรีเลย์ ขนาด 40 แอมแปร์ ทดสอบเก็บกระแสไฟฟ้าที่ระดับค่าความลึกของการคายประจุไฟฟ้า 3 ระดับ คือ ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์) ร้อยละ 60 (11.90 โวลต์) และร้อยละ 80 (11.50 โวลต์) ผลการศึกษา พบว่า ความเหมาะสมต่อการเก็บประจุไฟฟ้าให้เต็มภายใน 1 วัน อยู่ที่ระดับความลึกของการคายประจุไฟฟ้าร้อยละ 40 โดยสามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าให้เต็มแบตเตอรี่ภายในระยะเวลา 6, 8 และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานขึ้น รอบการชาร์จสูงขึ้น หลังบูรณการการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 ของโรงเรียนวัดมงคลวุฒาวาส ร่วมกับนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณาจารย์ และผู้ที่สนใจทั่วไปจำนวนรวม 217 คน ทำแบบประเมินความพึงพอใจ แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้ 1) กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.40 คิดเป็นร้อยละ 88.00 2) กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อความรู้ความสามารถของวิทยากรในการถ่ายทอดความรู้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.60 คิดเป็นร้อยละ 92.00 และ 3) ด้านการนำความรู้ไปใช้ คือ สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ด้านการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.54 คิดเป็นร้อยละ 90.80

คำสำคัญ: ชุมชนฐานราก พลังงานแสงอาทิตย์ ระดับครัวเรือน

---

[1] อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ต่อเนื่อง) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
อีเมล: sarayut134@gmail.com
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
อีเมล: ksn_13@hotmail.co.th
** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: sarayut134@gmail.com*

SOLAR POWER GENERATION DEMONSTRATION SYSTEM FOR COMMUNITY FOUNDATIONS AT A HOUSEHOLD LEVEL

Sarayut Chitphutthanakul[1*] Kritsana Chantasit[2]

Abstract

The aim of this research were 1) to study the development of solar power generation demonstration system for community foundations at a household level and 2) to integrate the research' results with teaching and learning in the primary school. In this research, a demonstration set of solar power systems which laying onto a whiteboard size of 82 cm width, 110 cm length, and thickness of 22 cm was developed. The demonstration set was able to generate electricity by the 120-watt solar panal through the control device whish charged the battery of 20 amperes to the battery of 12 volts, 80 amperes. The DC current was converted to AC power with a 1,000-watt inverter. The circuit board was installed to prevent the power generation exceeding XH-M609 which was compatible with the solid state relay 40 amperes. The electricity storage capacity was tested at 3 levels of discharge depth 40 % (12.20 volts), 60 % (11.90 volts) and 80 % (11.50 volts). The result showed that the appropriate duration to keep the full charge was within one day at a discharge depth of 40 %. Here, the battery can be recharged to full power within a period of 6, 8 and 11 hours, respectively, which can prolong the lifetime of battery life and the higher charge. After the integration of teaching and learning about the electric generator with the students in Primary school (Prathom 1-6) of Watmongkolwuttawas School, the 5-point rating scale assessment method was used to measure the satisfaction level of undergraduate students of Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, the lecturer and other related participants, in total of 217 representative samples. The main results were summarized as follows: 1) the level of satisfaction with knowledge, the understanding of the representative samples with the topic in the theory of electrical energy had the highest value with the score of 4.40 (88.00 %), 2) the satisfaction of the expertise's knowledge had the highest value with the score of 4.60 (92.00 %) and 3) the application of knowledge, the representative samples could use the knowledge to modify by effectively reduction in energy consumption with the score of 4.54 (90.80 %) which had the highest score.

Keywords: Community Foundations, Solar Energy, Household Level

---

[1] *Lecturer of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, RambhaiBarniRajabhat University, e-mail: sarayut134@gmail.com*

[2] *Assistant Professor of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, RambhaiBarniRajabhat University, e-mail: ksn_13@hotmail.co.th*

** Corresponding author, e-mail: sarayut134@gmail.com*

บทนำ

ความสำคัญของการศึกษาพลังงานทดแทนหรือการอนุรักษ์พลังงานนับวันยิ่งจะได้รับความสนใจเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากทุกหลังคาเรือนต้องการนำพลังงานมาใช้ต่อการดำรงชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นจากการนำทรัพยากรทางธรรมชาติ นำมาผ่านกระบวนการแปรสภาพเพื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยในอนาคตพลังงานเหล่านั้นก็มีแต่จะหมดลงไป ซึ่งหากเป็นพลังงานธรรมชาติและเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่มีวันหมดสิ้นได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานคลื่นนั้น พลังงานเหล่านี้จะยังคงอยู่ตลอดไป หากได้มีการศึกษาค้นคว้าเก็บพลังงาน เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ก็จะเป็นการช่วยลดภาระค่าครองชีพในชีวิตประจำวันลงได้ โดยปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้พัฒนาไปเป็นอย่างมาก โดยในขณะเดียวกันราคาอุปกรณ์ก็ลดลงทำให้สามารถมีระยะเวลาในการคืนทุนสำหรับการลงทุนติดตั้งเร็วขึ้นอีกด้วย

โรงเรียนวัดมงคลวุฒาวาส อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ได้จัดทำโครงการเรียนรู้พลังงานจากเชื้อเพลิง พลังงานสะอาด และพลังงานทดแทน โดยมีความต้องการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ไว้ใช้ประโยชน์ทั้งภายในโรงเรียน และเป็นต้นแบบของบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน ที่ต้องการเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนของคนในชุมชน และบุคคลทั่วไปมาศึกษาเพื่อนำกลับไปปรับใช้กับครัวเรือนได้ ในขณะนั้นทางโรงเรียนฯ ยังขาดบุคลากรที่มีองค์ความรู้ความเชี่ยวชาญในการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จึงได้ขอความอนุเคราะห์มายังอาจารย์ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล สังกัดหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ต่อเนื่อง) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เพื่อมาเป็นที่ปรึกษาโครงการดังกล่าว ซึ่งจากความต้องการของทางโรงเรียนนั้น ผู้วิจัยมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งต่อการสนับสนุนโรงเรียน หรือสถานศึกษา และกลุ่มบุคคลที่สนใจต้องการเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทน โดยการส่งเสริมให้ภาคครัวเรือนสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้ด้วยตนเอง ควบคู่กับการอนุรักษ์พลังงาน และการรักษาสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาที่จะศึกษางานวิจัยระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ แผงโซล่าเซลล์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) จัดสร้างเป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand alone system) หรือระบบออฟกริด (Off grid) ซึ่งภายในงานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์การเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่ แบ่งการคายประจุไฟฟ้า (Dept of discharge : DOD) ภายในแบตเตอรี่ให้มีค่าความลึกเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์) 60 (11.90 โวลต์) และ 80 (11.50 โวลต์) โดยจัดสร้างเป็นชุดสาธิตสำหรับเป็นสื่อการสอน นำหลักวิชาการไปพัฒนาให้คนในชุมชนนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ศึกษาการกำเนิดกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทน (วิชิต มาลาเวช, 2556) โดยนำผลงานวิจัยไปถ่ายทอดยังโรงเรียนวัดมงคลวุฒาวาส โดยการบูรณาการการเรียนรู้เสริมทักษะด้านวิทยาศาสตร์ร่วมกับโครงการการอนุรักษ์ และเรียนรู้พลังงานทดแทน ส่งเสริมเรียนรู้การเก็บพลังงานที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เพื่อจะสามารถพึ่งพาตนเอง ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าในระดับครัวเรือน และคงรักษาปลูกจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน

2. เพื่อบูรณาการงานวิจัยกับการเรียนการสอนของโรงเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน โดยจัดสร้างชุดสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย และการเก็บข้อมูล แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ในการจัดสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ทำการศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Solar change controller) เครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) แบตเตอรี่แบบ Deep cycle วงจรควบคุมการใช้กระแสไฟเกิน และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ โดยลักษณะการเชื่อมต่อวงจรเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand alone system) หรือระบบออฟกริด (Off grid) ซึ่งจะแตกต่างจากระบบออนกริด (On grid) คือ เป็นระบบที่เหมาะกับพื้นที่ที่การไฟฟ้าเข้าไม่ถึง หรืออยู่ในช่วงปลายของระบบการไฟฟ้า ซึ่งมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1.1 การศึกษาชุดระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell)

แผงโซล่าเซลล์ที่นำมาใช้เป็นแบบผลึกรวม (Poly crystalline) ยี่ห้อ Syosuoyang รุ่น SY-120WT มีขนาดความกว้าง 76 เซนติเมตร ยาว 125 เซนติเมตรขนาดกำลังวัตต์สูงสุดที่ผลิตได้ 120 วัตต์ จำนวน 1 แผง (ขนาดที่เหมาะสมกับระดับแรงดันขนาด 12 โวลต์ ของแบตเตอรี่) โดยติดตั้งด้านบนของโครงสร้างรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นหลังคาในการวางศูนย์รวมอุปกรณ์ โดยลักษณะการเชื่อมต่อวงจรเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ คือ ระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์โดยที่ไม่ต้องเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย (นครินทร์ รินผล, 2559) การต่อใช้งาน โดยการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ (Control change) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้มีความสม่ำเสมอก่อนนำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ หรือจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังโหลด ก่อนทำการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ เราควรศึกษาข้อมูลของแผงโซล่าเซลล์จากแผ่น Name plate ที่อยู่ทางด้านหลังของแผงฯ ซึ่งจะเป็นรายละเอียดที่จำเป็นเกี่ยวกับแผงโซล่าเซลล์ในรุ่นนั้นๆ ด้วย

1.2 การศึกษาเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Solar change controller)

เครื่องควบคุมการชาร์จประจุที่ใช้มีขนาด 20 แอมแปร์ ชนิด PWM (Pulse width modulation) ยี่ห้อ Suoer รุ่น ST-C 1220 (กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ มีปริมาณไม่เกิน 10 แอมแปร์) หลักการทำงาน คือ ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ให้คงที่ด้วยระบบดิจิตัล (Digital) เพื่อให้ประหยัดพลังงานและสามารถควบคุมการประจุไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ได้เป็นอย่างดี (โซล่าเซลล์ ไทยแลนด์96, 2556) ทำให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมสภาพเร็วมีฟังก์ชั่นไฟแสดงสถานะการทำงานที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การทำงานของแผงโซล่าเซลล์ระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่กำลังเชื่อมต่อวงจร ระบบการตัดไฟอัตโนมัติ เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียเสื่อมสภาพ

เนื่องจากการใช้ไฟเกินกำลัง (Over charge/Over discharge protection) อีกทั้งยังยังป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงเกินพิกัด (Over Load)

1.3 การศึกษาเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter)

เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) มีค่าแรงดันที่ระดับ 220 โวลต์ กำลังวัตต์ที่ผลิตได้ 1,000 วัตต์ ชนิด Pure Sine Wave ยี่ห้อ Suoer รุ่น FPC-1000A (ค่าเผื่อกำลังไฟฟ้า 5 เท่าของกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ) หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ คือ การรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำเข้าสู่เครื่องอินเวอร์เตอร์ที่มาจากแบตเตอรี่แล้วส่งผ่านวงจรไฟฟ้าภายในเครื่องอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันให้สลับกันไปมาระหว่างความต่างศักย์ที่เป็นบวก และลบจนได้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่เป็นไฟกระแสสลับโดยมีจำนวนครั้งที่สลับไปมาเท่ากับ 50-60 ครั้งต่อวินาที ทำให้สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ทุกชนิด รวมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นส่วนประกอบ เช่น มอเตอร์ปั๊มน้ำ ตู้เย็น เป็นต้น (นครินทร์ รินผล, 2559)

1.4 การศึกษาแบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอร์รี่ที่ใช้มีขนาด 80 แอมแปร์ 12 โวลต์เป็นแบตเตอร์รี่ชนิด Hybrid deep cycle gel ยี่ห้อ Transpower รุ่น TGEL 12-80 (ปริมาณแผง 120 วัตต์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มภายใน 1 วัน ที่ระดับ DOD ร้อยละ 30-40) ถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานเป็นรอบที่มีการชาร์จและดิสชาร์จบ่อยครั้งด้วยการพัฒนาของอิเล็กโตรไลต์แบบ Nano gel และวัสดุทำปฏิกิริยาเข็มข้นยิ่งทำให้แบตเตอรี่รุ่นนี้มีประสิทธิภาพในการชาร์จสูงขึ้นและใช้งานกระแสชาร์จที่น้อยลงด้วยคุณสมบัติของ Nano gel ทำให้การแยกชิ้นของน้ำกรดลดลง โดยเป็นแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการปล่อยค่าประจุไฟฟ้าได้มากถึงร้อยละ 60-80 ของประจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด ในขณะที่แบตเตอรี่รถยนต์จะมีความสามารถในการปล่อยค่าประจุไฟฟ้าเพียงร้อยละ 10-20 ของประจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด จึงทำให้แบตเตอรี่แบบ Deep cycle มีความเหมาะสมและนิยมนำมาใช้งานร่วมกับระบบโซล่าเซลล์ เนื่องจากสามารถเก็บประจุไว้ได้มากและสามารถจ่ายไฟได้อย่างต่อเนื่อง (นครินทร์ รินผล, 2559)

1.5 การศึกษาบอร์ดวงจรต่ำตัด

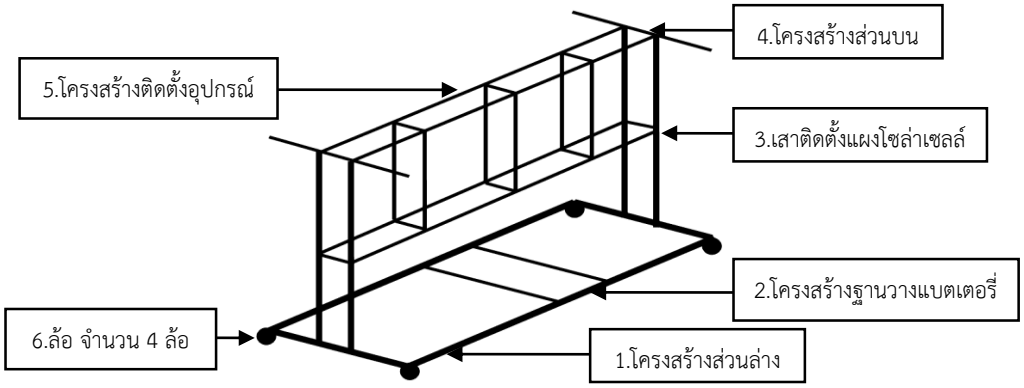
การป้องกันความเสียหายจากการใช้กระแสไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ จนทำให้มีระดับค่า DOD (Dept of discharge) ลึกจนเกินไป จะสามารถยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ โดยสามารถนำวงจรต่ำตัด (XH-M609) มาประยุกต์ใช้งาน ลักษณะวงจรสำเร็จรูปสามารถตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 12 โวลต์ ถึง 36 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้พิกัดสูงสุดที่ 10 แอมแปร์ ซึ่งหากต้องการให้สามารถเพิ่มพิกัดทางกระแสไฟฟ้ามากขึ้น โดยนำโซลิดสเตจรีเลย์มาต่อร่วมทางฝั่งเอาท์พุทของวงจรต่ำตัด โดยลักษณะของโซลิดสเตจรีเลย์เป็นแบบอินพุทขาเข้าไฟฟ้ากระแสตรง และเอาท์พุทเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC to AC) เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ไม่ให้ดึงกระแสไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ออกไปใช้มากเกินไป

ส่วนที่ 2 ศึกษาออกแบบโครงสร้าง และระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1. การศึกษาออกแบบโครงสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ชุดโครงสร้างดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย (1) ส่วนล่างทำหน้าที่เป็นคานรองรับน้ำหนัก ทำด้วยโลหะกล่องชุบซิงก์มาทำเป็นฐานยึดส่วนล่าง มีความสูงจากพื้น 10 เซนติเมตร (2) โครงสร้างฐานวางแบตเตอรี่ขนาดน้ำหนัก 30 กิโลกรัม วางในตำแหน่งกึ่งกลางด้านล่างสุด (3) เสาสำหรับติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ทำด้วยโลหะกล่องขนาด 1 ½ นิ้ว มีขนาดความสูง 170 เซนติเมตร รวม 4 ต้น (4) โครงสร้างส่วนบนสำหรับรองรับแผงโซล่าเซลล์ขนาด 1 นิ้ว ติดตั้งเอียงทำมุม 15-17 องศา ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ เป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้ง วสท. 022013-59 เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

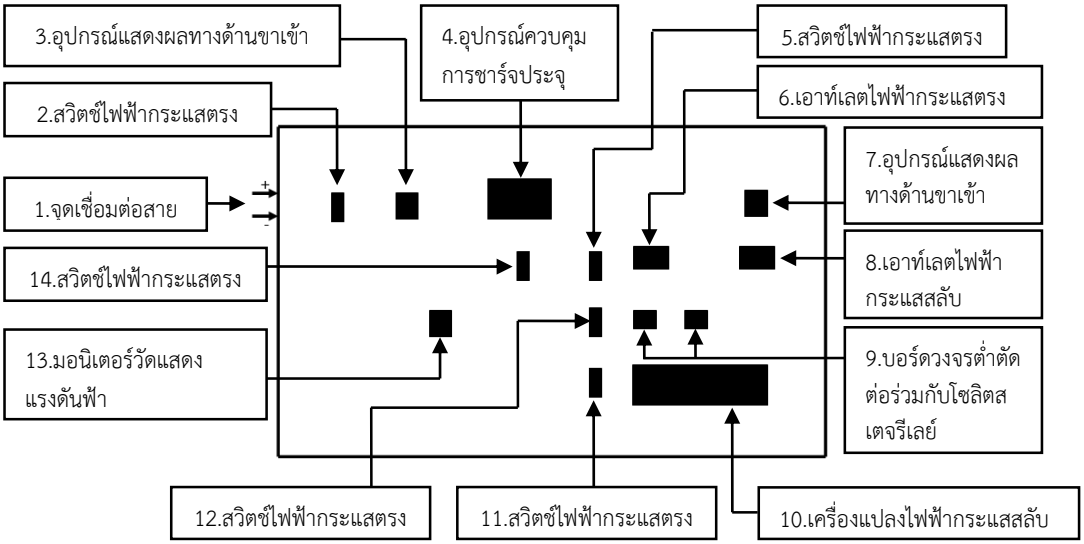
สำหรับประเทศไทย:ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561) สอดคล้องกับทรงศักดิ์ พงษ์หิรัญ และธัญรพ นิลกำจร (2555) ศึกษาตำแหน่งและมุมเอียงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซล่าเซลล์ โดยมุมเอียงระหว่าง -8 ถึง 36 องศาจากระดับแนวนอน จะมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งยังสามารถยกแผงโซล่าเซลล์ออกไปยังจุดที่มีแสงแดด โดยการเชื่อมต่อสายสัญญาณเพิ่มระยะการวางแผงโซล่าเซลล์ได้ (5) โครงสร้างสำหรับยึดติดแผ่นรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ ทำด้วยโลหะกล่องขนาด 1 นิ้ว เพิ่มความแข็งแรงภายในด้วยคานเหล็กกล่อง และเป็นจุดสำหรับยึดแผ่นไวท์บอร์ด และ (6) ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 4 ล้อ เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก



ภาพที่ 1 โครงสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.2. การศึกษา และออกแบบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์ทั้งหมดของระบบ ฯ ออกแบบให้ติดตั้งอยู่บนแผ่นไวท์บอร์ดหนา 6 มิลลิเมตร น้ำหนักเบา มีความสามารถทนต่อการกัดกร่อน และสามารถนำอุปกรณ์มาติดตั้งเกิดยึดเกาะได้เป็นอย่างดี โดยให้มีขนาดที่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดได้ดังภาพที่ 2 มีรายละเอียดสำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งประกอบด้วย (1) จุดเชื่อมต่อสายสัญญาณไฟฟ้าอินพุทด้วยหัว MC4 ขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) เพื่อเชื่อมต่อไปยังแผงติดตั้งอุปกรณ์ (2) สวิตซ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC circuit breaker) สำหรับตัดต่อกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าระบบ (3) อุปกรณ์แสดงผลทางด้านขาเข้า (DC watt meter) เพื่อดูค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ (4) อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ (Controller changer) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าเก็บยังแบตเตอรี่ (5) สวิตซ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC circuit breaker) สำหรับตัดต่อกระแสไฟฟ้าก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังโหลดที่มาเชื่อม (6) เอาท์เลตไฟฟ้ากระแสตรง (DC outlet) สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า (7) อุปกรณ์แสดงผลทางด้านขาออก (AC watt meter) เพื่อดูค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไปโหลดที่มาเชื่อมต่อ



ภาพที่ 2 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ลงบนกระดานไวท์บอร์ด

ลำดับที่ (8) เอาท์เลตไฟฟ้ากระแสสลับ (AC outlet) สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดแรงดัน 220 โวลต์ (9) บอร์ดวงจรต่ำตัด (XH-M609) สำหรับควบคุมแรงดันภายในแบตเตอรี่ไม่ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าลึกจนเกินไป ต่อคู่กับโซลิตสเตจรีเลย์ สำหรับเพิ่มพิกัดกระแสไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (10) เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) สำหรับแปลงแรงดันต่ำให้เป็นแรงดันสูง ขนาด 220 โวลต์ (11) สวิตช์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC circuit breaker) สำหรับตัดต่อกระแสไฟฟ้าก่อนนำกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปเข้าเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (12) สวิตช์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC circuit breaker) สำหรับตัดต่อกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าวงจรต่ำตัด (13) มอนิเตอร์สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และระดับแบตเตอรี่ (14) สวิตช์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC circuit breaker) สำหรับตัดต่อกระแสไฟฟ้าก่อนเข้าแบตเตอรี่

จากการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์สำหรับระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า แผงโซล่าเซลล์ที่นำมาใช้สำหรับงานวิจัยมีขนาด 120 วัตต์ ซึ่งมีแรงดัน Voltage at Pmax (Vmp) ที่ระดับ 18 โวลต์ มีความเหมาะสมกับระบบชาร์จแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 12 โวลต์ เนื่องจากแรงดันที่เข้าไปเชื่อมต่อกับระบบ ควรจะมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของระดับแรงดันของระบบ และระดับกระแส Short-circuit current (Isc) ที่ระดับ 7.06 แอมแปร์ทำให้สามารถกำหนดรายละเอียด (Space) ของอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่

การหาขนาดของแบตเตอรี่นั้น สามารถคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมได้จากสภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเขตภูมิภาคของประเทศไทยโดยเฉลี่ยจะได้ค่าพลังงานตลอดทั้งวันเท่ากับ 5 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าที่พอดีชาร์จ ทำให้แบตเตอรี่มีกระแสไฟฟ้าเข้ามาเก็บได้เต็มพอดี

ขนาดของแบตเตอรี่ = ขนาดกำลังวัตต์ของแผงโซล่าเซลล์*0.7

= 120*0.7

= 84 แอมแปร์

เนื่องจากขนาดของแบตเตอรี่ที่จำหน่ายขนาด 84 แอมแปร์ ไม่มีจำหน่าย โดยมีขนาดที่ใกล้เคียง คือ ขนาด 80 แอมแปร์

ดังนั้น ขนาดของแบตเตอรี่ที่ต้องใช้ คือ 80 แอมแปร์ จำนวน 1 ลูก โดยเป็นแบตเตอรี่แบบ Deep Cycle ชนิด Hybrid Gel ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานเป็นรอบที่มีการชาร์จและดิสชาร์จบ่อยครั้ง ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่สุดขั้วความสามารถในการปล่อยค่าประจุไฟฟ้าได้มากถึงร้อยละ 60-80 ของประจุไฟฟ้ารวมทั้งหมดและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าประมาณ 4-5 ปีและการใช้งานของแบตเตอรี่ ควรคำนึงความเหมาะสมอายุการใช้งานด้วยการกำหนดค่าความลึกของกระแสไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ (DOD : Dept of discharge) ที่ระดับร้อยละ 40 ของปริมาณแบตเตอรี่ร้อยละ 100 หรือที่ระดับปริมาณแรงดันไม่ต่ำกว่า 11.50 โวลต์

2) การคำนวณหาขนาดเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Control change)

เครื่องควบคุมการชาร์จประจุนั้น โดยปกติจะต้องมีพิกัดรับค่ากระแสไฟฟ้ามากกว่าขนาดของพิกัดกระแสไฟฟ้าที่ได้มาจากแผงโซล่าเซลล์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบการชาร์จ ซึ่งระบบเล็ก ๆ อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุจะมีขนาดแรงดัน 12/24 โวลต์ และค่าพิกัดรับกระแสไฟฟ้าที่ 10 20 และ 30 แอมแปร์ โดยสามารถคำนวณได้จาก

กระแสไฟฟ้า = กำลังวัตต์รวมแผงโซล่าเซลล์ / แรงดันไฟฟ้า

= 120 วัตต์ / 12 โวลต์

= 10 แอมแปร์

ดังนั้น ขนาดของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Control change) ที่ต้องใช้ คือ 10 แอมแปร์ หรือมากกว่าสำหรับอนาคตอาจมีการเพิ่มปริมาณแผงโซล่าเซลล์

3) การคำนวณหาขนาดเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะทำหน้าที่แปลงแรงดันฝั่งขาเข้า (Input) ซึ่งมีขนาดแรงดันต่ำ เช่น 12 24 และ 48 โวลต์ ให้เป็นแรงดันสูงขนาด 210-230 โวลต์ ทางด้านฝั่งขาออก (Output) หรือสามารถคำนวณได้จากสูตร

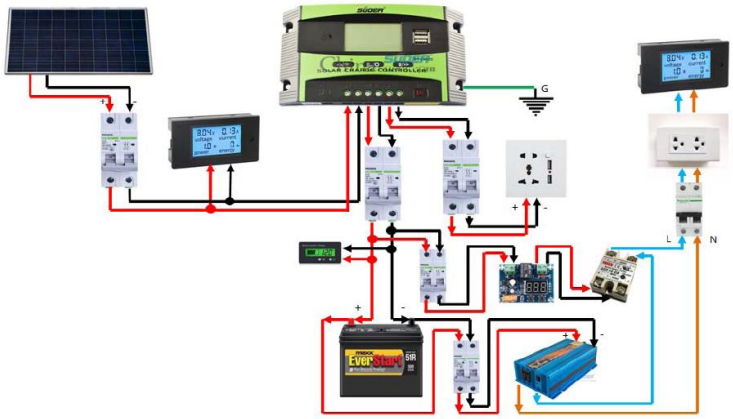
กำลังไฟฟ้ารวม = กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ x ค่าเผื่อกำลังไฟฟ้า (5 เท่า)

ดังนั้น ขนาดของเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่ต้องใช้ คือ 1,000 วัตต์ 12 โวลต์ โดยเป็นชนิดลูกคลื่น Pure sine wave

อุปกรณ์ทั้งหมดของระบบสำหรับนำมาติดตั้งในงานวิจัยประกอบด้วย แผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ จำนวน 1 แผง อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุชนิด PWM ขนาด 20 แอมแปร์ แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด Hybrid gel ขนาด 80 แอมแปร์ จำนวน 1 ลูก เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ชนิด Pure sine wave ขนาด 12 โวลต์ 1,000 วัตต์ จำนวน 1 ตัว นอกจากนั้นยังได้มีการติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบด้วย เบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ วัตต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ มอนิเตอร์แสดงค่าแรงดันแบตเตอรี่ บอร์ดวงจรต่ำตัดต่อร่วมกับโซลิดสเตจรีเลย์ สอดคล้องกับยุทธพงษ์ ทองช่วง (2559) ได้ศึกษาออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำไปประจุกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีขนาด 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ สร้างชุดควบคุมการทำงานโดยใช้หลักการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่จนเต็มพิกัดโดยคำนึงถึงเรื่อง Overcharging และ Deep of discharge และการทำงานประจุแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับของแบตเตอรี่

ส่วนที่ 3 ดำเนินการจัดสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นชุดสาธิตระบบผลิตกระแสไฟฟ้าตามรูปแบบที่กำหนด ดังภาพที่ 3 โดยติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ อยู่ทางด้านบนของโครงสร้าง เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ เครื่องไฟฟ้ากระแสสลับ บอร์ดวงจรต่ำตัด วัตต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับเพื่อแสดงข้อมูลทางไฟฟ้า และเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้เชื่อมต่อกันบนวัสดุแผ่นเรียบที่อยู่บนโครงสร้าง



ภาพที่ 3 วงจรการเชื่อมต่อระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ส่วนที่ 4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย ประเมินผลประสิทธิภาพการใช้งาน และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

4.1 หลังจากดำเนินการจัดสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการวิเคราะห์ผลการวิจัย โดยการศึกษาการใช้งาน การทดสอบวิเคราะห์ระบบจากการใช้งาน และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน โดยการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่ แบ่งการคายประจุไฟฟ้า (Dept of discharge : DOD) ภายในแบตเตอรี่ให้มีค่าความลึกเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์) 60 (11.90 โวลต์) และ 80 (11.50 โวลต์) อ้างอิงจากโซล่าเทคเซ็นเตอร์ (2561) แล้วเก็บข้อมูลประกอบด้วยค่าความเข้มแสง (ลักซ์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ปริมาณแรงดันของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น ทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยเฉลี่ย 3 ครั้ง

4.2 นำองค์ความรู้ และเทคโนโลยีที่ได้ดังกล่าว นำมาถ่ายทอด บูรณาการการเรียนการสอนกับรายวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์สู่โรงเรียนวัดมงคลวุฒาวาส กลุ่มชุมชน เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านพลังงานให้เกิดขึ้นแก่ชุมชน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวม คือ แบบประเมินความพึงพอใจ โดยผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการดัดแปลงตัววัดที่ได้มาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งเป็น 4 ตอน ประกอบด้วย ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป (เพศ อายุ ระดับการศึกษา และอาชีพ) ตอนที่ 2 ความคิดเห็นต่อการจัดโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัย (ทราบข่าวสารการจัดโครงการจากแหล่งใดบ้างรับประโยชน์ด้านใดจากการเข้าร่วมโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัย นำความรู้ที่ได้ไปขยายผลต่อในด้านใดบ้าง และต้องการรับบริการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านใดจากผลการวิจัย) ตอนที่ 3 ความพึงพอใจของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (ด้านความรู้ความเข้าใจ ด้านความพึงพอใจ และด้านการนำความรู้ไปใช้) และตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการจัดสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โครงสร้างในส่วนฐานสำหรับวางแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมแปร์ที่ ได้ทำการสร้างให้มีขนาดความกว้าง 17 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร จัดวางให้อยู่ในตำแหน่งกลางของโครงสร้าง เพื่อให้น้ำหนักกระจายอย่างสม่ำเสมอ เสาของโครงสร้างส่วนบนติดตั้งแผง โซล่าเซลล์ ขนาด 120 วัตต์ สูงจากระยะฐานล่างของโครงสร้าง 170 เซนติเมตร สามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ให้เอียงทำมุม 15-17 องศา และติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นไวท์บอร์ดขนาดความกว้าง 82 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร และหนา 22 เซนติเมตร สามารถเคลื่อนย้ายด้วยล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ทั้ง 4 ล้อ ดังภาพที่ 4 ทาสีกันสนิม และปกปิดรอยเชื่อมด้วยสีชนิดกันน้ำ

ภาพที่ 4 ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2. ผลการติดตั้งระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการติดตั้งระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า อุปกรณ์ทั้งหมดที่นำมาติดตั้งบนแผ่นไวท์บอร์ดหนา 0.6 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 82 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตรดังภาพที่ 4 ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าที่มาจากแผงโซล่าเซลล์ผ่านหัว MC4 ขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) ด้วยสายสัญญาณ PV1-F ขนาด 4 ตารางมิลลิเมตร (sq.mm) ผ่านอุปกรณ์เบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 16 แอมแปร์ ตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มาจากแผงโซล่าเซลล์ด้วยวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 50 แอมแปร์ ก่อนเข้าอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุขนาด 20 แอมแปร์ โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้จะผ่านเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 20 แอมแปร์ ก่อนเข้าไปเก็บยังแบตเตอรี่ติดตั้งเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1,000 วัตต์ มอนิเตอร์แสดงผลทางกำลังไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ และอุปกรณ์เอาท์เลตเพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสสลับจำนวน 1 ช่อง

3. ผลการศึกษาการใช้งานระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อต้องการเก็บกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ จากภาพที่ 2 ทำการเปิดสวิตช์ควบคุมการทำงานที่กล่องสวิตช์ควบคุมทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงไปที่ตำแหน่ง “On” ที่ตำแหน่งหมายเลข 14 เพื่อเปิดระบบให้อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุตรวจสอบระบบแรงดันไฟฟ้า (12/24 โวลต์) และเปิดสวิตช์ที่ตำแหน่งหมายเลข 2 เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ สังเกตมอนิเตอร์แสดงผลในส่วนแสดงค่าแรงดันกระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่ทำการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเก็บลงแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมแปร์ และมอนิเตอร์แสดงปริมาณร้อยละของแบตเตอรี่ เพื่อให้สะดวกต่อการทราบปริมาณแบตเตอรี่ที่มีอยู่กับผู้ใช้งาน หากเมื่อ

ต้องการนำกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่มาใช้งาน โดยหากเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงก็สามารถต่อใช้งานได้ทันทีโดยเปิดสวิตช์หมายเลข 5 หรือหากต้องการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ก็จะต้องทำการแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ผ่านอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ขนาด 220 โวลต์ แล้วจึงนำอุปกรณ์ไฟฟ้ามาต่อเพื่อใช้งานต่อไป โดยการเปิดสวิตช์หมายเลข 11 และ 12 ซึ่งข้อดีของระบบที่จัดสร้างสามารถควบคุมปริมาณการนำกระแสไฟฟ้าที่อยู่ภายในแบตเตอรี่ออกไปใช้งานโดยใช้บอร์ดวงจรต่ำตัด (XH-M609) หมายเลข 9 เป็นตัวกำหนดปริมาณกระแสไฟฟ้าป้องกันไม่ให้นำกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ออกไปใช้งานเกินคุณลักษณะของแบตเตอรี่ โดยจะสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานให้มีรอบการประจุไฟฟ้าให้ระยะจำนวนรอบสูงขึ้น ซึ่งจำนวนรอบการใช้งานจะมีอัตราส่วนผกผันกับปริมาณการนำกระแสไปใช้งานที่ระดับความลึก (DOD : Dept of discharge) ที่แตกต่างกัน

4. ผลการทดสอบวิเคราะห์ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ทำการทดสอบเก็บกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ ลงในแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมแปร์ โดยกำหนดปริมาณแรงดันแบตเตอรี่สูงสุด 12.90 โวลต์ แบ่งการทดสอบระดับค่าความลึกของการคายประจุไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์) ร้อยละ 60 (11.90 โวลต์) และร้อยละ 80 (11.50 โวลต์) เพื่อดูความเหมาะสมต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน โดยเก็บข้อมูลเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง เฉลี่ย 3 ครั้งในแต่ละระดับค่าความลึกของการคายประจุไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 08.00-16.00 น. บันทึกค่าปริมาณความเข้มแสง แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และปริมาณแรงดันของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นได้ผล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

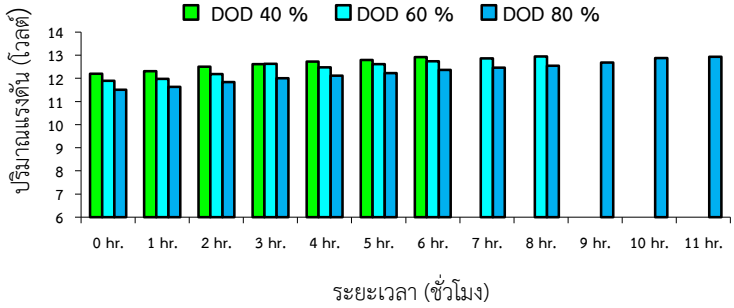
ระยะเวลา	ระดับค่าความลึกของการคายประจุไฟฟ้า (Dept of Discharge)		
(ชั่วโมง)	ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์)	ร้อยละ 60 (11.90 โวลต์)	ร้อยละ 80 (11.50 โวลต์)
1	12.31	11.97	11.63
2	12.50	12.19	11.84
3	12.62	12.36	12.00
4	12.72	12.47	12.12
5	12.80	12.61	12.22
6	12.92	12.74	12.37
7		12.86	12.46
8		12.95	12.55
9			12.68
10			12.87
11			12.93

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับความลึกของการคายประจุไฟฟ้า (Dept of discharge) ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์) พบว่า ปริมาณแรงดันไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เริ่มต้นที่ระดับ 12.20 โวลต์ ดังภาพที่ 5 วัดระดับความเข้มแสงด้วยเครื่องมือทดสอบความเข้มแสง

(Light intensity meter) ยี่ห้อ Pro's Kit รุ่น MT-4017 ปริมาณความเข้มแสงเริ่มต้นระยะเวลา 08.00 น. มีค่าเท่ากับ 15488 ลักซ์ มีค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 12.51 โวลต์ 1.82 แอมแปร์ และ 22.77 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ปริมาณความเข้มแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกสามารถวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ภายในแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 12.31 โวลต์ เมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงเวลา 12.10-13.00 น. ปริมาณมาความเข้มแสงสูงสุดที่ระดับ 52868 ลักซ์ มีค่าปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 13.80 โวลต์ 7.24 แอมแปร์ และ 99.89 วัตต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับคุณลักษณะของแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ ระดับแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 12.80 โวลต์ ในชั่วโมงที่ 5 หรือปริมาณแบตเตอรี่ร้อยละ 90 ของปริมาณความจุในแบตเตอรี่ และเมื่อถึงชั่งโมงที่ 6 ปริมาณแรงดันภายในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ที่ระดับแรงดัน 12.92 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่มีกระแสไฟฟ้าเต็มความจุของแบตเตอรี่

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับความลึกของการคายประจุไฟฟ้า (Dept of discharge) ร้อยละ 60 (11.90 โวลต์) พบว่า ปริมาณแรงดันไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เริ่มต้นที่ระดับ 11.90 โวลต์ ดังภาพที่ 5 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ปริมาณความเข้มแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ภายในแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 11.97 โวลต์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง สามารถวัดระดับแรงดันไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 12.61 โวลต์ หรือร้อยละ 80 ของปริมาณความจุในแบตเตอรี่ และเมื่อถึงชั่งโมงที่ 8 ปริมาณแรงดันภายในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ที่ระดับแรงดัน 12.95 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่มีกระแสไฟฟ้าเต็มความจุของแบตเตอรี่

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับความลึกของการคายประจุไฟฟ้า (Dept of discharge) ร้อยละ 80 (11.50 โวลต์) ดังภาพที่ 5 พบว่า ปริมาณแรงดันไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เป็นปริมาณแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด หรือเป็นระดับความลึกของการคายประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเหลือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ระดับร้อยละ 20 ของปริมาณความจุในแบตเตอรี่ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ปริมาณความเข้มแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ภายในแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 12.63 โวลต์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง สามารถวัดระดับแรงดันไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 12.22 โวลต์ หรือร้อยละ 60 ของปริมาณความจุในแบตเตอรี่ เมื่อถึงชั่งโมงที่ 8 ปริมาณแรงดันภายในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ที่ระดับแรงดัน 12.55 โวลต์ หรือร้อยละ 70 ของปริมาณความจุในแบตเตอรี่ ซึ่งยังมีความต้องการกระแสไฟฟ้าเข้ามาเก็บภายในแบตเตอรี่ให้เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงชั่วโมงที่ 11 ปริมาณแรงดันภายในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ที่ระดับแรงดัน 12.93 โวลต์ เป็นระดับแรงดันที่มีกระแสไฟฟ้าเต็มความจุของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5 ปริมาณระดับแรงดันไฟฟ้าตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการคายประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณแรงดันไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป ตามการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ซึ่งแผงโซล่าเซลล์ขนาด 120 วัตต์ จะสามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าให้เต็มความจุของปริมาณแบตเตอรี่ขนาด 80 แอมแปร์ ที่ระดับความลึกของการคายประจุไฟฟ้า (Dept of discharge) ที่แตกต่างกัน ด้วยกระแสชาร์จไม่เกินร้อยละ 10 ของขนาดความจุแบตเตอรี่ โดยที่ระดับของการคายประจุ DOD ร้อยละ 40 60 และ 80 จะสามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าให้เต็มแบตเตอรี่ภายในระยะเวลา 6 8 และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งความเหมาะสมต่อการเก็บประจุไฟฟ้าให้เต็มภายใน 1 วัน อยู่ที่ระดับ DOD ร้อยละ 40 โดยหากปล่อยประจุไฟฟ้าให้มีระดับความลึกที่มากขึ้นก็จะส่งผลต่อรอบการใช้งาน (Cycle use) และอีกทั้งยังทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นอีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล และคณะ (2561) ได้ศึกษาพัฒนาจักรยานปั่นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งชุดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 350 วัตต์ จำนวน 2 ตัว แผงโซล่าเซลล์ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 แผง ชาร์จประจุไฟฟ้าลงแบตเตอร์รี่ขนาด 40 แอมแปร์ ทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้าในเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยการปั่นจักรยาน พลังงานแสงอาทิตย์ และจักรยานปั่นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 10 10 และ 15 ตามลำดับ และสอดคล้องกับรุ่งสว่าง บุญหนา (2561) ซึ่งได้ศึกษาพัฒนาสร้างเครื่องสีข้าวกล้องสำหรับชุมชนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 แผง โดยจัดเก็บพลังงานลงในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 70 แอมแปร์ จะใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 1 ชั่วโมง 40 นาที โดยงานวิจัยยังเป็นสื่อสำหรับการเรียนการสอนของโรงเรียนสอดคล้องกับวิชิต มาลาเวช (2556) ได้สร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน 3 ระบบ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ โดยนำองค์ความรู้การกำเนิดกระแสไฟฟ้าไปพัฒนาให้คนในชุมชนนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

5. ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี และบูรณการการเรียนการสอน

เมื่อดำเนินการจัดสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เสร็จเรียบร้อยแล้ว นำผลงานวิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยี และบูรณาการการเรียนการสอน โดยมีการจัดกิจกรรมบรรยายให้ความรู้ (Education of knowledge) ร่วมกับฝึกปฏิบัติงานจริง (Knowledge work rally) และให้ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีประเมินผลการเรียนรู้ (Evaluation program) (กันต์ อินทุวงศ์, 2556) กับนักเรียนชั้นประถมศึกษา ปีที่ 1 ถึง 6 ณ โรงเรียนวัดมงคลวุฒาวาส ต.ทุ่งควายกิน อ.แกลง จ.ระยอง ซึ่งมีโรงเรียนเข้ามาร่วมรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีอีก 2 โรงเรียน ประกอบด้วยโรงเรียนวัดหนองกะพ้อ โรงเรียนบ้านห้วงหินโดยเป็นโรงเรียนที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ร่วมกับนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 1 และ 2 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี คณาจารย์ ผู้ที่สนใจทั่วไปรวมจำนวน 217 คน โดยมีนายกองค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งควายกิน ให้เกียรติเป็นประธานดำเนินงาน

1. แบบประเมินความพึงพอใจหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี แบ่งเป็น 4 ตอน ประกอบด้วย ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปตอนที่ 2 ความคิดเห็นต่อการจัดโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัยตอนที่ 3 ความพึงพอใจของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี พบว่า สถานภาพของผู้ให้ข้อมูลรวม 217 คน แบ่งเป็นเพศชาย 108 คน (ร้อยละ 49.80) เพศหญิง 109 คน (ร้อยละ 50.20) อายุต่ำกว่า 15 ปี จำนวน 149 คน (ร้อยละ 68.67) ระหว่าง 16 ถึง 25 ปี จำนวน 17 คน (ร้อยละ 7.83) ระหว่าง 26 ถึง 35 ปี จำนวน 8 คน (ร้อยละ 3.69) ระหว่าง 36 ถึง 45 ปี จำนวน 4 คน (ร้อยละ 1.84) ระหว่าง 46 ถึง 55 ปี จำนวน 3 คน (ร้อยละ 1.38) และมากกว่า 55 ปี จำนวน 36 คน (ร้อยละ 16.59) ระดับการศึกษา พบว่า ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมีระดับการศึกษาชั้นประถมศึกษาสูงสุดจำนวน 177 คน (ร้อยละ 81.57)

มัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 4 คน (ร้อยละ 1.84) ปริญญาตรีจำนวน 34 คน (ร้อยละ 15.67) ปริญญาโท จำนวน 2 คน (ร้อยละ 0.92) สถานภาพ พบว่า นักเรียน/นักศึกษาจำนวน 149 คน (ร้อยละ 68.70) ข้าราชการ จำนวน 3 คน (ร้อยละ 1.38) พนักงานของรัฐ/รัฐวิสาหกิจจำนวน 5 คน (ร้อยละ 2.30) ธุรกิจส่วนตัวจำนวน 21 (ร้อยละ 9.68) ลูกจ้างจำนวน 8 คน (ร้อยละ 3.69) และเกษตรกรจำนวน 31 คน (ร้อยละ 14.29)

2. ความคิดเห็นต่อการจัดโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัยพบว่า ท่านทราบข่าวสารการจัดโครงการจากแหล่งใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) อันดับที่ 1 คือ ครู/อาจารย์ คิดเป็นร้อยละ 82.00 หมวดที่ 2 ท่านได้รับประโยชน์ด้านใดจากการเข้าร่วมโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัย (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)อันดับที่ 1 คือ เพิ่มพูนความรู้/ประสบการณ์ คิดเป็นร้อยละ 73.70 หมวดที่ 3ท่านนำความรู้ที่ได้ไปขยายผลต่อในด้านใดบ้างอันดับที่ 1 คือ ประยุกต์เป็นองค์ความรู้ใหม่ คิดเป็นร้อยละ 71.90หมวดที่ 4 ท่านต้องการรับบริการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านใดจากผลการวิจัย (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) อันดับที่ 1 คือ ด้านพลังงานทดแทน/อนุรักษ์พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 76.50

3. ความพึงพอใจของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี พบว่า ด้านความรู้ความเข้าใจ ระดับความพึงพอใจมากที่สุด เป็นอันดับ 1 คือ ท่านมีความรู้ ความเข้าใจหลังการอบรม และฝึกปฏิบัติ ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ (Mean) 4.40 คิดเป็นร้อยละ 88.00 ด้านความพึงพอใจ ระดับความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับ 1 คือ ความพึงพอใจต่อความรู้ความสามารถที่ถ่ายทอดความรู้ของวิทยากรค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ (Mean) 4.60 คิดเป็นร้อยละ 92.00 ด้านการนำความรู้ไปใช้ ระดับความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับ 1 คือ ท่านสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ในด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ (Mean) 4.54 คิดเป็นร้อยละ 90.80

4. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม พบว่า อยากมีการจัดกิจกรรมในลักษณะแบบนี้อีกจะได้นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน อยากให้มาจัดอีกจะได้ให้ความรู้แก่น้อง ๆ รุ่นหลัง และเป็นการจัดกิจกรรมที่ดีมาก

สรุป

1. ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 120 วัตต์ จำนวน 1 แผงเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ ชนิด PWM ขนาด 20 แอมแปร์ อินเวอร์เตอร์ ชนิด Pure sine wave ขนาด 1,000 วัตต์ แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด Hybrid gel ขนาด 80 แอมแปร์ บอร์ดวงจรต่ำตัด รุ่น XH-M609 ทำงานร่วมกับโซลิดสเตจรีเลย์ DC to AC ขนาด 40 แอมแปร์ จุดเด่นของวงจรการเชื่อมต่อ คือ สามารถตั้งค่าการทำงานให้สามารถตัดการทำงานและกลับมาทำงานได้ ป้องกันการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไม่ให้คายประจุเกินพิกัด อีกทั้งยังเหมาะสมกับการนำไปใช้ยังสถานที่ระบบการไฟฟ้าหลักเข้าไม่ถึง เช่น สวนผลไม้ หมู่เกาะต่าง ๆ หรือต้องการเก็บกระแสไฟฟ้าไว้ใช้ในเวลากลางคืนเหมาะสมกับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน

2. โครงสร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนฐานสำหรับวางแบตเตอรี่มีขนาดความกว้าง 17 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร จัดวางให้อยู่ในตำแหน่งด้านล่างของโครงสร้าง เพื่อให้น้ำหนักกระจายอย่างสม่ำเสมอ เสาของโครงสร้างส่วนบนติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ขนาด 120 วัตต์ สูงจากระยะฐานล่างของโครงสร้าง 170 เซนติเมตร ติดตั้งให้เอียงทำมุม 15-17 องศา และติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นไวท์บอร์ดขนาดความกว้าง 82 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร และหนา 22 เซนติเมตร ด้านหลังของโครงสร้างปิดด้วยแผ่นไวท์บอร์ดพร้อมด้วยภาพวงจรเพื่อใช้ประกอบการบรรยายถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับชุมชน และผู้ที่สนใจ โดยขนาดที่จัดสร้างเป็นขนาดที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายแผงโซล่าเซลล์ออกไปยังจุดที่มีแสงแดดได้ด้วยการต่อสายไฟเพิ่ม และยังมีล้อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

3. เมื่อทดสอบระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการทดสอบเก็บกระแสไฟฟ้าที่ระดับค่าความลึกของการคายประจุไฟฟ้า 3 ระดับ คือ ร้อยละ 40 (12.20 โวลต์) ร้อยละ 60 (11.90 โวลต์) และร้อยละ 80 (11.50 โวลต์) เพื่อดูความเหมาะสมต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน โดยเก็บข้อมูลเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00-16.00 น. พบว่า สามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าให้เต็มแบตเตอรี่ภายในระยะเวลา 6, 8 และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยความเหมาะสมต่อการใช้งานอยู่ที่ระดับ DOD ร้อยละ 40 ของขนาดความจุแบตเตอรี่ สามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 5-6 ชั่วโมง หรือภายใน 1 วัน โดยเป็นไปตามการศึกษาของรัชต มั่งมีชัย (2557) ที่ได้มีการศึกษาปริมาณการจ่ายกระแสเป็นเปอร์เซ็นต์อายุของแบตเตอรี่ขึ้นกับหลายปัจจัย โดย 1 ในปัจจัยที่สำคัญ คือ เรื่องการค่า DOD ของแบตเตอรี่

4. หลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี และบูรณการการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 ของโรงเรียนวัดมงคลวุฒาวาส ร่วมกับนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณาจารย์ ผู้ที่สนใจทั่วไปรวมจำนวน 217 คน พบว่า สถานภาพของผู้ให้ข้อมูลรวม 217 คน ความพึงพอใจของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี พบว่า ด้านความรู้ความเข้าใจ ระดับความพึงพอใจมากที่สุด เป็นอันดับ 1 คือ ท่านมีความรู้ ความเข้าใจหลังการอบรม และฝึกปฏิบัติ ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ (Mean) 4.40 คิดเป็นร้อยละ 88.00 ด้านความพึงพอใจ ระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ความพึงพอใจต่อความรู้ความสามารถที่ถ่ายทอดความรู้ของวิทยากรค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ (Mean) 4.60 คิดเป็นร้อยละ 92.00 ด้านการนำความรู้ไปใช้ ระดับความพึงพอใจมากที่สุดคือ ท่านสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ในด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพค่าเฉลี่ย $\overline{\mathbf{X}}$ (Mean) 4.54 คิดเป็นร้อยละ 90.80 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม พบว่า อยากให้มีการจัดกิจกรรมในลักษณะแบบนี้อีกจะได้นำไปใช้ในชีวิตประจำวันโดยผลหลังจัดการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทำให้ผู้ที่สนใจมีความต้องการลงทุนติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ เนื่องจากปัจจุบันระยะเวลาในการลงทุนมีระยะเวลาสั้นลง และยังนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นแหล่งพลังงานได้หลากหลาย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเก็บประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ เช่น แบตเตอรี่ลิเธียม
2. ควรมีการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบอื่น ๆเพิ่มเติม เช่น ระบบไฮบริดจ์
3. ควรมีการศึกษาการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดการพึ่งพาตนเองแบบสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กันต์ อินทุวงศ์. (2556). การถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากอ้อยเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชน. **วารสารบัณฑิตศึกษา**, 10(51), 9-16.

โซล่าเซลล์ ไทยแลนด์96. (2556). **หน้าที่และหลักการทำงานคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์(solar charge controller) หรือโซล่าชาร์จเจอร์ (solar charge).** สืบค้นจาก https://solarcellthailand96.com/knowledge/solar-charge-controller/

โซล่าเทคเซ็นเตอร์. (2561). **PV-1200P แผงโซล่าเซลล์ 300w 4 แผ่น ใช้ไฟได้ทั้งบ้านไม่รวมแอร์ได้จริงหรือ**. สืบค้นจาก https://www.solartech-center.com/article/4/pv-1200.php

ทรงศักดิ์ พงษ์หิรัญ และธัญรพ นิลกำจร. (2555). ผลของมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ มศว. **วารสารวิทยาศาสตร์ มศว**, 28(2), 89-102.

นครินทร์ รินผล. (2559). **คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์เบื้องต้น**. กรุงเทพ ฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์.

ยุทธพงษ์ ทองช่วง. (2559). **การวิเคราะห์และออกแบบชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

รัชต มั่งมีชัย. (2557). **การอ่านข้อมูลแบตเตอรี่ตะกั่วกรด**. สืบค้นจาก http://www.mut.ac.th/research-detail-33

รุ่งสว่าง บุญหนา. (2561). การสร้างเครื่องสีข้าวกล้องสำหรับชุมชน พลังงานแสงอาทิตย์. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**, 2(2), 61-70.

วิชิต มาลาเวช. (2556). ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**, 16(3), 29-38.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2561). **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา**. กรุงเทพ ฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และคมสัน มุ่ยสี. (2561). การพัฒนาจักรยานปั่นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน. **วารสารวิจัยรำไพรรณี,** 12(3), 90-98.

การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อย ในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์

จิรวัฒน์ วิมุตติสุขวิริยา[1*]

Received : December 14, 2020
Revised : April 25, 2021
Accepted : April 27, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อยในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง จากนั้นผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง คือ คอนกรีตบล็อกจากหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งผสมและไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อคอนกรีตบล็อกมีอายุ 28 วัน และทดสอบกำลังอัดเมื่อมีอายุ 14 วัน 28 วัน และ 60 วัน โดยตัวอย่างทดสอบแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 คอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง กลุ่มที่ 2 คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ และกลุ่มที่ 3 คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อย ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงส่วนใหญ่มีกำลังอัดเฉลี่ยผ่านเกณฑ์แต่มีขนาดเล็กกว่าข้อกำหนดในมาตรฐาน มอก. 58-2530 คอนกรีตบล็อกที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกบางมีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกหนา ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ขณะที่การดูดกลืนน้ำและความพรุนคอนกรีตบล็อกจะลดลงเมื่อใช้อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นหรือเมื่อผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ถึงแม้ว่าการใช้หินฝุ่นบะซอลต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากกว่าหินฝุ่นหินปูนจึงจะมีกำลังอัดใกล้เคียงกันแต่การผสมเถ้าชานอ้อยจะช่วยลดต้นทุนการผลิตในขณะที่ความแข็งแรงยังคงเดิม อนึ่งปริมาณเถ้าชานอ้อยเหมาะสมควรมีสัดส่วนผสมระหว่าง 0.1-0.2 โดยน้ำหนักซีเมนต์ จึงจะช่วยเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตบล็อกได้ประมาณร้อยละ 7-8

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก เถ้าชานอ้อย หินฝุ่นบะซอลต์

[1] อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
อีเมล: jirawat.wm@bru.ac.th
** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: jirawat.wm@bru.ac.th*

STUDY ON THE PROPERTIES OF NON-LOAD-BEARING CONCRETE BLOCKS PRODUCED FROM BASALT DUST MIXED WITH BAGASSE ASH IN MUANG BURIRAM DISTRICT

Cheellawad Vimuttasoongviriya[1*]

Abstract

The objective of this research was to study the properties of non-load bearing concrete blocks produced from basalt dust mixed with bagasse ash in the area of Muang Buriram District. The research process started with testing the properties of concrete blocks produced and sold in Muang Buriram and nearby areas. After that, the samples of concrete block made up of basalt dust blocks mixed and without bagasse ash were produced. The physical properties of the concrete block were tested 28 days had passed and the compressive strength was tested after 14 days, 28 days, and 60 days had passed, respectively. The concrete blocks were divided into 3 groups: Group 1, concrete blocks produced and sold in Muang Buriram District and nearby areas; Group 2, concrete blocks produced from basalt dust; and Group 3, concrete blocks produced from basalt dust mixed with bagasse ash. The results of this research showed that most concrete blocks in Muang Buriram District and nearby had the average compressive strength through the criteria but smaller than the requirements of Thai Industrial Standard (TIS 58-2530). The concrete blocks with thin cavity walls and thin shell tended to be denser than those with thick cavity and thick shell. However, the concrete blocks from basalt dust with proportion of bagasse ash at 0.15 by cement weight tended to be denser than those without bagasse ash. The water absorption and porosity of concrete blocks decreased with increasing cement content or bagasse ash mixture at proportion of 0.15 by cement weight. In case of equal compressive strength, the concrete blocks produced from basalt dust use more cement than those produced from lime dust. Furthermore, the concrete block mixed with bagasse ash reduced production costs while maintaining the same strength. Besides, the compressive strength of concrete blocks is increased approximately 7-8% if the bagasse ash was added at the proportion of 0.1-0.2 by cement weight.

Keywords: Non-load-bearing concrete blocks, Bagasse ash, Basalt dust

---

[1] *Lecturer of Department of Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University, e-mail: jirawat.wm@bru.ac.th*

** Corresponding author, e-mail: jirawat.wm@bru.ac.th*

บทนำ

คอนกรีตบล็อก (Concrete block หรือ Concrete masonry units) เป็นวัสดุก่อผนังที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ น้ำและวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2530 และ มอก. 58-2530 แบ่งคอนกรีตบล็อกออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักและชนิดที่ 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก คอนกรีตบล็อกคุณภาพดีตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต้องปราศจากรอยแตกร้าวและจะต้องผ่านเกณฑ์การวัดขนาดและกำลังอัด คอนกรีตบล็อกที่ผลิตในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนจากจังหวัดสระบุรี ถ้าหากคอนกรีตบล็อกที่ผลิตในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์สามารถใช้หินฝุ่นในท้องถิ่นได้ย่อมส่งผลดีต่อชุมชน รายงานการจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) กล่าวว่า พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มีหินอัคนีจำพวกหินภูเขาไฟชนิดบะซอลต์อยู่ทางใต้ของอำเภอเมืองบุรีรัมย์และพื้นที่ใกล้เคียง ส่งผลให้มีอุตสาหกรรมเหมืองแร่หินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างหลายแห่งและแต่ละปีมีกำลังการผลิตจำนวนมาก อนึ่งมีโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกในจังหวัดบุรีรัมย์ได้ศึกษาการนำหินฝุ่นบะซอลต์มาใช้เป็นวัสดุผสมอย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การปรับสัดส่วนผสมระหว่างซีเมนต์และหินฝุ่นบะซอลต์ และแนวทางที่ 2 การนำ หินฝุ่นบะซอลต์ผสมกับหินฝุ่นหินปูน ทั้งนี้ สัจจะชาญ พรัดมะลิ และประชุม คำพุฒ (2560) ได้ศึกษาการนำหินฝุ่นบะซอลต์โพรงข่ายผสมหินฝุ่นหินปูนผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์โพรงข่ายปริมาณมากทำให้ความหนาแน่น กำลังอัดและการนำความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการนำหินฝุ่นบะซอลต์จากแหล่งต่าง ๆ ในจังหวัดบุรีรัมย์มาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกย่อมส่งผลถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาคอนกรีตและคอนกรีตบล็อกที่ใช้สารผสมเพิ่มจำพวกเถ้าชีวมวล (Biomass ash) เช่น เถ้าแกลบบด เถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าชานอ้อย เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า คอนกรีตและคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าชีวมวลสัดส่วนผสม 0.1-0.2 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล ทั้งนี้การผสมเถ้าชีวมวลปริมาณมากส่งผลทำให้ความหนาแน่นและกำลังอัดลดลง (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555; บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ, 2552; วันโชค เครือหงส์ และคณะ, 2555) เมื่อพิจารณาเถ้าชีวมวลในจังหวัดบุรีรัมย์พบว่า แต่ละปีมีเชื้อเพลิงชีวมวลจากชานอ้อยจำนวนมากถูกใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลส่งผลให้มีเถ้าชานอ้อยเหลือจากขบวนการผลิตจำนวนมาก เถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยในแปลงพืชผลทางการเกษตร ถ้าหากสามารถนำเถ้าชานอ้อยดังกล่าวมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการพัฒนาคุณภาพคอนกรีตบล็อกย่อมส่งผลดี จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อยในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์ตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อยตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สุ่มเก็บคอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ จัดหาวัสดุและทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่จะนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง คือ คอนกรีตบล็อกจากหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งผสมและไม่ผสมเถ้าชานอ้อย เลือกอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงจากอัตราส่วนผสมที่ผลิตในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่างตามขบวนการผลิตของโรงงานในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกตัวอย่างในห้องปฏิบัติการตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อคอนกรีตบล็อกมีอายุ 28 วัน และทดสอบกำลังอัดเมื่อมีอายุ 14 วัน 28 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และอภิปรายผลโดยอ้างอิงจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงสรุปผลการวิจัย รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2530 กล่าวว่า คอนกรีตบล็อกชนิดกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้น (Hollow non-load-bearing concrete masonry units) คือ ก้อนคอนกรีตทำจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ โดยก้อนคอนกรีตมีโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อนและมีผนังด้านนอกเรียกว่า เปลือก คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักใช้ก่อผนังที่ไม่รับน้ำหนักบรรทุกอื่นใดนอกจากน้ำหนักตัวเอง ขนาดมาตรฐานที่จำหน่ายทั่วไป คือ ความสูง 19 ซม. ความยาว 39 ซม. ความกว้าง 7 ซม. ความหนาเปลือก 1.2 ซม. และมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 มม.

2. การผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง

โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และหินฝุ่นหินปูนในการผลิต โดยส่วนใหญ่ใช้สัดส่วนผสมโดยน้ำหนักของหินฝุ่นระหว่าง 20-24 ส่วนต่อน้ำหนักซีเมนต์ 1 ส่วน ปริมาณน้ำแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นของหินฝุ่น การตวงวัดหินฝุ่นจะใช้กระบะตวงก่อนที่จะเทใส่โม่ผสม โดยหินฝุ่น 1 กระบะมีน้ำหนักระหว่าง 105-120 กก. สามารถผลิตคอนกรีตบล็อกได้จำนวน 20-23 ก้อน จากนั้นจึงตวงซีเมนต์ใส่ในโม่ผสม เช่น ถ้าใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินฝุ่น 1:20 จะต้องใช้ซีเมนต์ประมาณ 6 กก. ต่อหินฝุ่น 1 กระบะ เป็นต้น เมื่อกวนส่วนผสมเข้ากันดีแล้วจึงเติมน้ำใส่ทีละน้อย การคาดคะเนปริมาณน้ำทำได้ด้วยการนำวัสดุที่ผสมเข้ากันดีแล้วใส่ในฝ่ามือแล้วกำ ถ้ากำแล้วติดกันแน่นเป็นก้อนโดยไม่มีน้ำเกาะที่ผิวก็ถือว่าเป็นปริมาณน้ำที่เหมาะสม จากนั้นอัดก้อนคอนกรีตบล็อกและบ่มชื้นประมาณ 7 วัน

3. การสุ่มเก็บคอนกรีตบล็อกจากโรงงานผู้ผลิต

จากการสำรวจโรงงานผู้ผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงพบว่า อำเภอเมืองบุรีรัมย์มีโรงงานผลิตขนาดใหญ่จำนวน 3 โรงงาน และอำเภอบ้านด่านมีโรงงานผลิตขนาดใหญ่จำนวน 1 โรงงาน คอนกรีตบล็อกจากทั้ง 4 โรงงานได้รับความนิยมนำไปใช้ในการก่อสร้างในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์ อนึ่งงานวิจัยนี้เลือกซักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการจาก 3 โรงงาน คือ โรงงาน A อยู่ในอำเภอเมืองบุรีรัมย์ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการผลิตเป็นอย่างดี โรงงาน B อยู่ในอำเภอบ้านด่านซึ่งเป็นโรงงานผลิตขนาดใหญ่ที่ส่งต่อไปจำหน่ายให้กับร้านค้าจำนวนมาก และโรงงาน C อยู่ในอำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งมีการนำหินบะซอลต์เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก

การชักตัวอย่างจากโรงงานผู้ผลิตจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple random sampling) โดยเลือกหน่วยตัวอย่างขนาด n หน่วย จากประชากรจำนวน N หน่วย โดยกำหนดให้หน่วยตัวอย่างแต่ละหน่วยในประชากรมีโอกาสถูกเลือกเท่ากันภายใต้กรอบตัวอย่างของพื้นที่กองเก็บ (Area frame) การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบกระทำ ณ สถานที่ผลิตภายหลังจากวันที่ผลิตไม่เกิน 7 วัน การชักตัวอย่างเป็นไปตาม มอก.109-2517 ในกรณีที่ทดสอบแล้วไม่ผ่านจะคัดข้อมูลบางส่วนออกแล้วเลือกชักตัวอย่างใหม่จากส่วนที่เหลือเพื่อทดสอบใหม่ ถ้าตัวอย่างใหม่จากชุดที่สองทดสอบไม่ผ่านอีกก็ถือว่าคุณภาพไม่ผ่าน มอก. 58-2530 ทั้งนี้โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่ส่วนใหญ่ผลิตไม่เกิน N=10,000 ก้อนต่อวัน ซึ่งมาตรฐาน มอก. 109-2517 กำหนดให้การสุ่มชักตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่า 10 ก้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสุ่มชักตัวอย่างจำนวน n = 30 ก้อน ซึ่งไม่น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด โดยแต่ละการทดสอบจะใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อนตามข้อกำหนดการทดสอบของ มอก. 58-2530

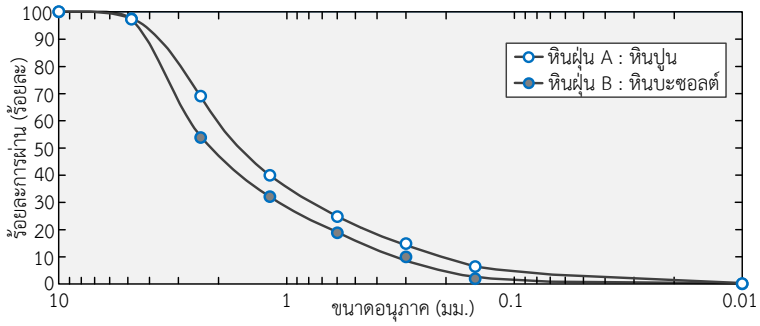
นอกจากคอนกรีตบล็อกที่สุ่มเก็บจาก 3 โรงงานผู้ผลิตแล้วงานวิจัยนี้ยังขอความอนุเคราะห์ให้โรงงาน A ผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่างจากหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งผสมและไม่ผสมเถ้าชานอ้อยตามสัดส่วนผสมที่งานวิจัยนี้กำหนด โดยคอนกรีตบล็อกจากหินฝุ่นบะซอลต์ไม่ได้ถูกผลิตเพื่อจำหน่ายทั่วไปแต่ผลิตเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น

4. วัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง

รายละเอียดวัสดุที่นำมาใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่างมีดังต่อไปนี้

ปูนซีเมนต์ : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2530 แนะนำว่า ปูนซีเมนต์ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1 หรือปูนซีเมนต์ผสมมาตรฐาน มอก. 80 ทั้งนี้ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ชนิด คือ ชนิด A เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และชนิด B เป็นซีเมนต์หดตัวน้อย (Non shrink cement) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมสารเคมีผสมเพิ่มและหินปูนบดละเอียด

หินฝุ่น : หินฝุ่นที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ชนิด คือ หินฝุ่น A เป็นหินฝุ่นหินปูนจากอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีสีเทาคล้ายกับซีเมนต์และมีสารอินทรีย์ปะปนเล็กน้อย (สุชาดา ศรีไพโรจน์ธิกูล, 2539) หินฝุ่น A เป็นหินฝุ่นที่โรงงานผู้ผลิตในอำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อจำหน่าย ส่วนหินฝุ่น B เป็นหินฝุ่นบะซอลต์ของโรงโม่หินด้านทิศใต้ทางหลวงหมายเลข 226 อำเภอเมืองบุรีรัมย์ กรมทรัพยากรธรณี (2553) กล่าวว่า แหล่งหินบะซอลต์ในอำเภอเมืองบุรีรัมย์ตั้งอยู่บริเวณเขากระโดงซึ่งเป็นภูเขาไฟที่ดับแล้ว โดยหินฝุ่นบะซอลต์ผลิตจากชั้นหินเนื้อแน่นและแตกแบบเสาเหลี่ยม (Columnar jointing) ที่ความลึก 5-15 เมตรหรือชั้นหินเนื้อแน่นและแตกแบบระนาบแนวนอน (Platy joint) ที่ความลึก 15-30 เมตรจากผิวดิน คุณสมบัติหินฝุ่นทั้ง 2 ชนิดแสดงในตารางที่ 1 และการกระจายขนาดอนุภาคหินฝุ่นทั้ง 2 ชนิดแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การกระจายขนาดอนุภาคหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของหินฝุ่น

องค์ประกอบเคมีวิธี XRF ของหินฝุ่นหินปูน			
ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)	0.11	โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.005
ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.04	แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.36
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	51.70	โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.01
คุณสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นหินปูน			
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.37-1.85	ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity)	2.70
ความชื้นเหมาะสม (OMC)	11.0	ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.)	3.53
องค์ประกอบเคมีวิธี XRF ของหินฝุ่นบะซอลต์			
ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)	39.36	โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	2.86
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	11.47	แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.39
ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)	25.88	สครอนเซียมออกไซด์ (SrO)	0.33
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	14.15	ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	5.47
คุณสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นบะซอลต์			
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	1.33-2.94	ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity)	2.86
ความชื้นเหมาะสม (OMC)	11.5	ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.)	3.49

เถ้าชานอ้อย : เถ้าชานอ้อยที่ใช้เป็นเถ้าเบาหรือเถ้าลอยจากโรงงานผลิตไฟฟ้าชีวมวล อำเภอคูเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยเถ้าชานอ้อยที่ได้จะถูกนำไปตากแดดให้แห้งสนิทแล้วจึงบดละเอียดและนำส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาใช้ในงานวิจัย คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าชานอ้อยแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของเถ้าชานอ้อย

องค์ประกอบเคมีวิธี XRF ของเถ้าชานอ้อย			
ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)	60.75	แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.84
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	3.46	สครอนเซียมออกไซด์ (SrO)	0.08
ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)	9.63	กรดฟอสฟอรัส (P_2O_5)	2.61
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	13.70	สังกะสีออกไซด์ (ZnO)	0.11
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	5.88	เซอร์คอนเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)	0.18
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	1.57	ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	1.20
คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชานอ้อย			
Loss on Ignition (LOI)	13.4	ความละเอียดผ่านตะแกรง 200 (ร้อยละ)	49.0
ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity)	2.124	ความละเอียดผ่านตะแกรง 325 (ร้อยละ)	18.5

สัญลักษณ์และสัดส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัย

สัดส่วนผสมที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่างอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสัดส่วนผสมที่ใช้จริงของโรงงานผู้ผลิตในอำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง โดยงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาคอนกรีตบล็อกใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักซีเมนต์ต่อหินฝุ่นระหว่าง 1:4 ถึง 1:12 (สิทธิชัย แสงอาทิตย์, 2556) ขณะที่โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกในอำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักซีเมนต์ต่อหินฝุ่นระหว่าง 1:15 ถึง 1:25 และงานวิจัยที่ศึกษาคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยใช้สัดส่วนเถ้าชานอ้อยไม่เกิน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555; บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ, 2552; อาทิมา ดวงจันทร์, และสุวิมล สัจจวาณิชย์, 2548) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักซีเมนต์ต่อหินฝุ่นบะซอลต์ระหว่าง 1:4 ถึง 1:20 และใช้สัดส่วนเถ้าชานอ้อย 0.15 และ 0.50 โดยน้ำหนักซีเมนต์ อัตราส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นคอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง กลุ่มที่ 2 เป็นคอนกรีตบล็อกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ และกลุ่มที่ 3 เป็นคอนกรีตบล็อกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อย โดยกลุ่มที่ 1 เป็นคอนกรีตบล็อกที่สุ่มเก็บจากโรงงานผู้ผลิต 3 แห่ง จำนวน 4 สัดส่วน คือ A1 ถึง A4 กลุ่มที่ 2 เป็นคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์จำนวน 5 สัดส่วน คือ AO1 ถึง AO5 และกลุ่มที่ 3 เป็นคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อยจำนวน 4 สัดส่วน คือ AA1 ถึง AA4 ทั้งนี้กลุ่มที่ 2 และ 3 เป็นคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ผลิตโดยโรงงาน A เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น สำหรับหินฝุ่นบะซอลต์และเถ้าชานอ้อยที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่างได้มาจากการสุ่มเก็บด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) ตามปริมาณที่ต้องการ รายละเอียดสัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 กลุ่มแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกโดยน้ำหนักซีเมนต์

สัญลักษณ์	ซีเมนต์		เถ้าชานอ้อย	หินฝุ่น		อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	หมายเหตุ
	A	B		A	B		
A1	1	-	-	22-24	-	0.5-0.6	กลุ่มที่ 1 :
A2	1	-	-	20-22	-	0.5-0.6	คอนกรีตบล็อกที่ผลิต
A3	1	-	-	20-22	-	0.5-0.6	เพื่อจำหน่ายในพื้นที่อำเภอ
A4	1	-	-	15	5	0.5-0.6	เมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง
AO1	1	-	-	-	4	0.55	กลุ่มที่ 2 :
AO2	1	-	-	-	8	0.55	คอนกรีตบล็อกผลิต
AO3	1	-	-	-	12	0.55	จากหินฝุ่นบะซอลต์
AO4	1	-	-	-	16	0.55	เพื่อใช้ในงานวิจัย
AO5	1	-	-	-	20	0.55	
AA1	1	-	0.15	-	10	0.75	กลุ่มที่ 3 :
AA2	1	-	0.50	-	10	0.90	คอนกรีตบล็อกผลิตจากหิน
AA3	0.5	0.5	0.15	-	10	0.75	ฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อย
AA4	0.5	0.5	0.50	-	10	0.90	เพื่อใช้ในงานวิจัย

มาตรฐานการทดสอบคอนกรีตบล็อกและค่าสถิติ

รายละเอียดมาตรฐานการทดสอบคอนกรีตบล็อกและค่าสถิติมีดังต่อไปนี้

การทดสอบการดูดกลืนน้ำทำตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 โดยกำหนดให้ W_a คือ น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง และ W_b คือ น้ำหนักแห้ง จะสามารถหาค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำ w_W ได้จากสมการ

$$w_w = (W_a-W_b)x100/W_b \quad (1)$$

การทดสอบความพรุนทำตามมาตรฐาน ASTM C20 โดยกำหนดให้ W_c คือ น้ำหนักแขวนในน้ำ และ V คือ ปริมาตรรวม จะสามารถหาค่าร้อยละความพรุน P_a ได้จากสมการ

$$P_a = (W_a-W_b)x100/V \quad \text{เมื่อ } V = W_a-W_c \quad (2)$$

การทดสอบความหนาแน่นแห้ง ρ ทำตามมาตรฐาน ASTM C20 ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\rho = W_b/V \quad (3)$$

การหาขนาดและกำลังอัดทำตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 โดยกำหนดให้ P คือ น้ำหนักกดสูงสุด และ A_g คือ พื้นที่ภาคตัดขวางรวม จะสามารถหาค่ากำลังอัด σ ได้จากสมการ

$$\sigma = P/A_g \quad (4)$$

ถ้ากำหนดให้ x_i คือ ข้อมูลของหน่วยที่ i ถึง n จะสามารถหาค่าสถิติ คือ ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD ได้จากสมการ

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^{n} x_i)/n \quad (5)$$

$$SD = \sqrt{(\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}))/n} \quad (6)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบที่นำเสนอ คือ การวัดขนาด ความหนาแน่น การดูดกลืนน้ำ ความพรุน และกำลังอัด ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ผลิตโดยโรงงานในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 คอนกรีตบล็อกที่ผลิตโดยโรงงานในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง

1. ผลการวัดขนาดคอนกรีตบล็อก

ผลการวัดขนาดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ขนาดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

สัญลักษณ์	ความสูง (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนาเปลือก (มม.)	ความหนาผนังกั้นโพรง		พื้นที่ภาคตัดขวาง	
					บางสุด (มม.)	เทียบเท่า (มม./ม.)	พื้นที่รวม (ตร.ซม.)	พื้นที่สุทธิ (ตร.ซม.)
A1	182.5	390.0	60.4	10.5	18.4	228.3	235.56	148.26
A2	190.3	386.0	64.9	11.3	19.8	213.9	250.36	127.51
A3	188.6	390.0	64.6	15.3	22.2	249.4	252.35	148.33
A4	189.7	391.0	64.5	15.2	22.4	249.6	252.61	153.89
AO1-AA4	182.5	390.0	60.4	10.5	18.4	228.3	235.56	148.26

จากตารางที่ 4 พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผลิตในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงมีขนาดแตกต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อก A3 และ A4 ที่ผลิตจากโรงงาน C มีขนาดผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2530 เกือบทุกข้อยกเว้นความกว้างที่น้อยกว่ามาตรฐานกำหนดไว้ที่ 70±2 มม. คอนกรีตบล็อก A2 ที่ผลิตจากโรงงาน B มีความยาวและความกว้างน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด ส่วนคอนกรีตบล็อก A1 ที่ผลิตจากโรงงาน A มีความสูงและความกว้างน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด ทั้งนี้ขนาดคอนกรีตบล็อกที่แตกต่างกันมีผลต่อต้นทุนการผลิต อนึ่งราคาขายปลีกคอนกรีตบล็อกในพื้นที่อยู่ระหว่าง 5-6 บาทต่อก้อน โดยมีต้นทุนการผลิตอยู่ระหว่าง 2.75-3.0 บาทต่อก้อน นอกจากนั้นการวิจัยนี้ยังพบอีกว่าผู้ซื้อให้ความสนใจราคาและความทนทานมากกว่าขนาดคอนกรีตบล็อก

2. ความหนาแน่น การดูดกลืนน้ำและความพรุน

ผลการทดสอบความหนาแน่น การดูดกลืนน้ำและความพรุนที่อายุ 28 วัน แสดงในตารางที่ 5

2.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นพบว่า กลุ่มที่ 1 คอนกรีตบล็อก A4 ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนผสมหินบะซอลต์มีความหนาแน่นมากที่สุด ขณะที่คอนกรีตบล็อก A2 A1 และ A3 ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนมีความหนาแน่นลดลงตามลำดับ การที่คอนกรีตบล็อก A4 มีความหนาแน่นมากที่สุดเนื่องจากขนาดหินฝุ่นบะซอลต์เล็กกว่าหินปูนจึงสามารถแทรกเข้าไปภายในช่องว่างได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังพบอีกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกบางมีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกหนา

ผลการทดสอบความหนาแน่นกลุ่มที่ 2 พบว่า คอนกรีตบล็อก AO1 มีความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตบล็อก AO2 AO3 AO4 และ AO5 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมมีปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น เช่น คอนกรีตบล็อก AO2 ที่สัดส่วนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นบะซอลต์ 1:8 มีความหนาแน่น 2,271 กก./ลบ.ม. มากกว่าคอนกรีตบล็อก AO5 ที่สัดส่วน 1:20 ซึ่งมีค่า 2,166 กก./ลบ.ม. เป็นต้น

ผลการทดสอบความหนาแน่นกลุ่มที่ 3 พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ส่วนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีความหนาแน่นลดลง นอกจากนั้นยังพบอีกว่าคอนกรีตบล็อกที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับซีเมนต์หดตัวน้อย

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นเฉลี่ย การดูดกลืนน้ำเฉลี่ย และความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

สัญลักษณ์	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ส่วนเบี่ยงเบนความหนาแน่น	การดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)	ส่วนเบี่ยงเบนการดูดกลืนน้ำ	ความพรุน (ร้อยละ)	ส่วนเบี่ยงเบนความพรุน
A1	2,056	4.04	7.28	0.06	14.96	0.11
A2	2,088	20.83	7.04	0.17	14.69	0.27
A3	2,034	15.51	8.08	0.23	16.44	0.35
A4	2,123	12.04	6.38	0.09	13.55	0.12
AO1	2,306	8.1	4.07	0.02	9.39	0.02
AO2	2,271	1.5	6.44	0.01	14.62	0.01
AO3	2,208	2.7	7.70	0.02	16.99	0.05
AO4	2,190	2.1	8.19	0.01	17.92	0.02
AO5	2,166	3.3	8.52	0.02	18.46	0.02
AA1	2,270	5.94	6.75	0.02	15.14	0.02
AA2	2,183	6.91	8.53	0.03	18.64	0.03
AA3	2,259	5.13	6.95	0.01	15.51	0.03
AA4	2,180	4.15	8.64	0.02	17.83	0.05

2.2 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำพบว่า กลุ่มที่ 1 คอนกรีตบล็อก A3 มีค่าการดูดกลืนน้ำมากที่สุด ส่วนคอนกรีตบล็อก A1 A2 และ A4 มีการดูดกลืนน้ำลดลงตามลำดับ การที่คอนกรีตบล็อก A3 ที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนเช่นเดียวกับ A1 และ A2 มีการดูดกลืนน้ำมากที่สุดเพราะมีความหนาแน่นน้อยที่สุดหรืออาจกล่าวได้ว่ามีความพรุนมากที่สุด ขณะที่คอนกรีตบล็อก A4 ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับ A3 แต่มีการดูดกลืนน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากผลิตจากหินฝุ่นหินปูนผสมหินฝุ่นบะซอลต์

ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำกลุ่มที่ 2 พบว่า การดูดกลืนน้ำจะลดลงเมื่อสัดส่วนผสมใช้ปริมาณซีเมนต์มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่น เช่น คอนกรีตบล็อก AO1 ที่สัดส่วนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นบะซอลต์ 1:4 มีการดูดกลืนน้ำร้อยละ 4.07 น้อยกว่าคอนกรีตบล็อก AO5 ที่สัดส่วน 1:20 ซึ่งมีค่าร้อยละ 8.52 เป็นต้น

ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำกลุ่มที่ 3 พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าที่ไม่ผสมเถ้า ส่วนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีการดูดกลืนน้ำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่คอนกรีตบล็อกที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแนวโน้มการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับซีเมนต์หดตัวน้อย

2.3 ผลการทดสอบความพรุนพบว่า กลุ่มที่ 1 คอนกรีตบล็อก A3 มีความพรุนมากที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตบล็อก A1 A2 และ A4 ตามลำดับ ผลการทดสอบความพรุนมีความสอดคล้องกับการดูดกลืนน้ำและความหนาแน่น นอกจากนั้นยังพบอีกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกหนามีแนวโน้มการดูดกลืนน้ำมากกว่าที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกบาง

ผลการทดสอบความพรุนกลุ่มที่ 2 พบว่า ความพรุนมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้สัดส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์มากขึ้น เช่น คอนกรีตบล็อก AO1 ที่สัดส่วนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นบะซอลต์ 1:4 ซึ่งมีความพรุนร้อยละ 9.39 น้อยกว่าคอนกรีตบล็อก AO5 ที่สัดส่วน 1:20 ซึ่งมีความพรุนร้อยละ 18.46 เป็นต้น

ผลการทดสอบความพรุนกลุ่มที่ 3 พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีความพรุนน้อยกว่าที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ สำหรับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มความพรุนน้อยกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย

3. กำลังอัดคอนกรีตบล็อก

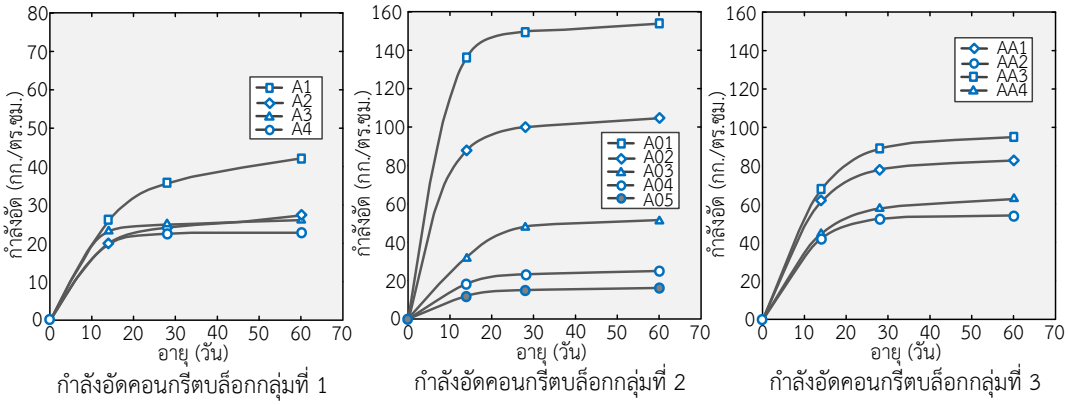
ผลการทดสอบกำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 14 วัน 28 วัน และ 60 วัน แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก

สัญลักษณ์	อายุ 14 วัน (กก./ตร.ซม.)	ส่วนเบี่ยงเบน อายุ 14 วัน	อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	ส่วนเบี่ยงเบน อายุ 28 วัน	อายุ 60 วัน (กก./ตร.ซม.)	ส่วนเบี่ยงเบน อายุ 60 วัน
A1	26.1	1.6	36.1	2.6	42.4	5.0
A2	20.1	1.6	24.6	1.1	27.2	2.4
A3	23.3	0.9	25.5	1.2	26.3	1.5
A4	20.1	0.9	23.2	1.3	24.1	1.2
AO1	137.4	8.9	149.7	6.5	153.5	5.3
AO2	88.2	4.3	100.1	3.8	104.7	5.0

AO3	32.2	1.8	48.3	4.7	51.7	3.5
AO4	18.7	2.3	23.3	2.6	25.0	2.3
AO5	11.9	1.9	15.3	2.8	16.5	1.8
AA1	62.1	4.9	78.3	3.8	82.6	4.9
AA2	42.6	4.3	52.8	5.7	53.6	4.9
AA3	68.1	3.0	89.4	4.3	95.3	3.8
AA4	45.1	4.9	57.9	8.3	63.0	3.6

จากตารางที่ 6 เมื่อพิจารณากำลังอัดที่อายุ 28 วัน พบว่า กลุ่มที่ 1 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก A1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็น A3 A2 และ A4 ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังอัดแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อก A1 A2 และ A3 ที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนมีความแข็งแรงมากกว่าคอนกรีตบล็อก A4 ที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนผสมหินบะซอลต์ ทั้งนี้คอนกรีตบล็อก A1 พัฒนากำลังอัดมากที่สุดบ่งชี้ว่ามีการใช้ซีเมนต์มากกว่าตัวอย่างอื่นซึ่งแตกต่างจากคอนกรีตบล็อก A4 ที่พัฒนากำลังอัดช้ากว่า ทั้งนี้คอนกรีตบล็อก A1 และ A3 มีกำลังอัดที่อายุ 28 วันผ่านเกณฑ์กำลังอัดเฉลี่ย 5 ก้อนตามมาตรฐาน มอก.58-2530 ที่กำหนดให้กำลังอัดจะต้องไม่น้อยกว่า 25 กก./ตร.ซม. ผลการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 กลุ่ม แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การพัฒนากำลังอัดคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 กลุ่ม

ผลการทดสอบกำลังอัดกลุ่มที่ 2 ที่อายุ 28 วัน พบว่า คอนกรีตบล็อก AO1 มีกำลังอัดมากที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตบล็อก AO2 AO3 AO4 และ AO5 ตามลำดับ ทั้งนี้คอนกรีตบล็อก AO1 AO2 และ AO3 มีกำลังอัดผ่านเกณฑ์กำลังอัดเฉลี่ย 5 ก้อนตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 ไม่น้อยกว่า 25 กก./ตร.ซม. อนึ่งการใช้หินฝุ่นบะซอลต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกจะต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากกว่าหินฝุ่นหินปูนจึงจะมีกำลังใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตพบว่า คอนกรีตบล็อก AO1 มีราคา 4.49 บาทต่อก้อน AO2 มีราคา 2.94 บาทต่อก้อน และ AO3 มีราคา 2.34 บาทต่อก้อน ซึ่งคอนกรีตบล็อก AO2 และ AO3 มีต้นทุนการผลิตใกล้เคียงกับที่ผลิตด้วยหินฝุ่นหินปูนที่ 2.75-3.0 บาทต่อก้อน ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ที่ปะปนด้วย

เปลือกดินหรือฝุ่นหินมากจะทำให้กำลังอัดลดลง นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังพบอีกว่าในขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์มีการยึดเกาะของมวลรวมไม่ดีเท่ากับที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูน

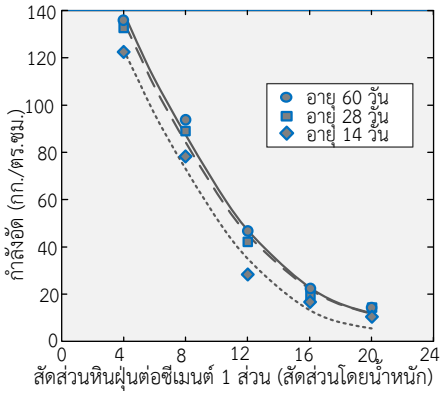
ผลการทดสอบกำลังอัดกลุ่มที่ 3 ที่อายุ 28 วัน พบว่า คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มเพิ่มกำลังอัดได้มากกว่าที่ไม่ผสมเถ้า ส่วนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มกำลังอัดลดลงและควบคุมคุณภาพการผลิตได้ยากเนื่องจากมีปริมาณเถ้าชานอ้อยมาก ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ที่สัดส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินฝุ่น 1:10 และผสมเถ้าชานอ้อยทุกอัตราส่วนมีกำลังอัดผ่านเกณฑ์กำลังอัดเฉลี่ย 5 ก้อนตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 นอกจากนั้นการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร่วมกับซีเมนต์หดตัวน้อยยังช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เพียงซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตพบว่า คอนกรีตบล็อก AA1 มีราคา 2.53 บาทต่อก้อน AA2 มีราคา 2.34 บาทต่อก้อน AA3 มีราคา 4.06 บาทต่อก้อน และ AA4 มีราคา 3.79 บาทต่อก้อน ซึ่งคอนกรีตบล็อก AA1 และ AA2 มีต้นทุนการผลิตถูกกว่าที่ผลิตด้วยหินฝุ่นหินปูนแต่คอนกรีตบล็อก AA2 ไม่เหมาะสมเพราะควบคุมคุณภาพการผลิตได้ยากเนื่องจากมีเถ้าชานอ้อยมาก

4. การทำนายกำลังอัดคอนกรีตบล็อก

การทำนายกำลังอัดคอนกรีตบล็อกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทำนายกำลังอัดคอนกรีตบล็อกกรณีไม่ผสมเถ้าชานอ้อย

จากผลทดสอบกำลังอัดคอนกรีตบล็อกไม่ผสมเถ้าชานอ้อยพบว่า หินฝุ่นหินปูนเหมาะสมที่จะนำมาผลิตคอนกรีตบล็อกมากกว่าหินฝุ่นบะซอลต์ ทั้งนี้ผลการทำนายกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตบล็อกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ไม่ผสมเถ้าชานอ้อยพบว่า สัดส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ต่อหินฝุ่นบะซอลต์ 1:14 ผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2530 แต่เป็นค่ากำลังอัดผ่านเพียงเล็กน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนะให้ใช้สัดส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ต่อหินฝุ่นบะซอลต์ขั้นต่ำ คือ 1:12 หรือใช้ปริมาณซีเมนต์มากกว่านี้เพราะคอนกรีตบล็อกที่ได้จะมีความแข็งแรงและมีต้นทุนการผลิตไม่สูงจนเกินไป การทำนายกำลังอัดคอนกรีตบล็อกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ไม่ผสมเถ้าชานอ้อยแสดงในภาพที่ 4

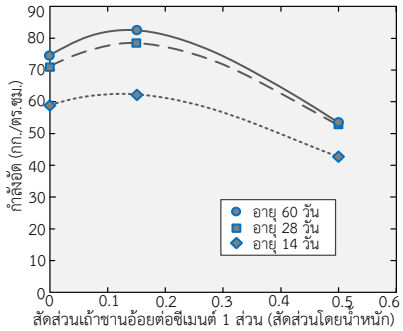


$y=0.4814x^2-20.382x+230.25$: $R^2=0.9954$: 60 วัน
$y=0.490x^2-20.423x+226.16$: $R^2=0.9962$: 28 วัน
$y=0.5142x^2-20.576x+213.27$: $R^2=0.988$: 14 วัน
เมื่อ y=กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)
x=สัดส่วนหินฝุ่นต่อซีเมนต์ 1 ส่วน (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)

ภาพที่ 4 การทำนายกำลังอัดเมื่อแปรเปลี่ยนสัดส่วนน้ำหนักหินบะซอลต์ต่อซีเมนต์ 1 ส่วน

4.2 การทำนายกำลังอัดคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อย

จากผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตบล็อก AA1 และ AA2 สามารถทำนายกำลังอัดได้ดังแสดงในภาพที่ 5 การทำนายกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าชานอ้อย พบว่าปริมาณเถ้าชานอ้อยเหมาะสมควรใช้ที่สัดส่วนระหว่าง 0.1-0.2 โดยน้ำหนักซีเมนต์ จึงช่วยเพิ่มกำลังอัดได้ร้อยละ 7-8 อย่างไรก็ตามการใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ร่วมกับซีเมนต์หดตัวน้อยสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ให้ดีขึ้นได้



$y=262.86x^3-395.24x^2+82.705x+78.2$: $R^2=1.0$: 60 วัน
$y=260.95x^3-370.0x^2+76.962x+74.2$: $R^2=1.0$: 28 วัน
$y=196.19x^3-264.29x^2+47.895x+60.2$: $R^2=1.0$: 14 วัน
เมื่อ y=กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)
x=สัดส่วนเถ้าชานอ้อยต่อซีเมนต์ 1 ส่วน (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)

ภาพที่ 5 การทำนายกำลังอัดเมื่อแปรเปลี่ยนสัดส่วนน้ำหนักเถ้าชานอ้อยต่อซีเมนต์ 1 ส่วน

การเสียรูปของคอนกรีตบล็อกในขั้นตอนการผลิต

การเสียรูปในขั้นตอนการผลิตแบ่งได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 คอนกรีตบล็อกอัดขึ้นรูปเสร็จใหม่เมื่อวางบนพื้นที่ไม่เรียบจะเกิดการแตกร้าวในแนวดิ่งเนื่องจากการแอ่นตัว กรณีที่ 2 คอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าชานอ้อยปริมาณมากเมื่อถูกกดอัดในแบบหล่อจะมีน้ำไหลออกจากวัสดุผสมและเมื่อดันออกจากแบบหล่อพบว่าเปลือกด้านนอกมักเกิดการเสียรูป และกรณีที่ 3 วัสดุผสมแห้งจะทำให้เกิดการแตกร้าวที่ขอบขณะดันออกจากแบบหล่อ

สรุป

1. คอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงมีขนาดแตกต่างกันโดยส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าข้อกำหนดในมาตรฐาน มอก. 58-2530

2. คอนกรีตบล็อกที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกบางมีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่มีผนังกั้นโพรงและเปลือกหนา ทั้งนี้ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น อนึ่งคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มความหนาแน่นมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ในขณะที่คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มความหนาแน่นลดลง

3. การดูดกลืนน้ำและความพรุนคอนกรีตบล็อกลดลงเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์มากขึ้น คอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีแนวโน้มการดูดกลืนน้ำและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อย ส่วนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยที่สัดส่วน 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ให้ผลตรงกันข้าง

4. คอนกรีตบล็อกที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียงมีกำลังอัดผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2530 อย่างไรก็ตามสัดส่วนผสมที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากกว่าจึงจะมีกำลังอัดใกล้เคียงกับที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูน อนึ่งการผสมเถ้าชานอ้อยช่วยเพิ่มกำลังอัดได้แต่ปริมาณเถ้าชานอ้อยเหมาะสมควรมีสัดส่วนระหว่าง 0.1-0.2 โดยน้ำหนักซีเมนต์ จึงจะช่วยเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตบล็อกได้ประมาณร้อยละ 7-8

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์แหล่งอื่นของจังหวัดบุรีรัมย์ เช่น อำเภอนางรอง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอโนนสุวรรณ และอำเภอประคำ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบริษัทบุรีรัมย์พลังงานจำกัดและกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่อำเภอเมืองบุรีรัมย์และใกล้เคียง

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. (2553). **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดบุรีรัมย์.** กรุงเทพฯ: บริษัทจันวาณิชย์ซีเคียวริตี้พริ้นท์ติ้งจำกัด.

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2555). การใช้เถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต. **วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย**, 16, 70-80.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, สุธี จริยธีรเวช, และณัฏฐ์ มากุล. (2552). คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้นผสมแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อย. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**, 32(1), 59-76.

วันโชค เครือหงส์, ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, และปริญญา จินดาประเสริฐ. (2555). การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**, 35(2), 187-200.

สิทธิชัย แสงอาทิตย์. (2556). อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อก. **วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย**, 20, 1-5.

สุชาดา ศรีไพโรจน์ธิกูล. (2539). **การศึกษาคุณภาพของหินปูนและโดโลไมต์จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทยโดยวิธี XRF.** กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธณณี กระทรวงอุตสาหกรรม.

สัจจะชาญ พรัดมะลิ, และประชุม คำพุฒ. (2560). **การใช้เทคโนโลยีสำหรับชุมชนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกจากเศษหินบะซอลต์**. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตน์โกสินทร์ ครั้งที่ 2, 20-21 มิถุนายน 2560 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (1-11). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

อาทิมา ดวงจันทร์, และสุวิมล สัจจวาณิชย์. (2548). **คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อย**. การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 3, 24-26 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรมลองบีช การ์เด้น แอนด์ สปา พัทยา (6-10). ชลบุรี: สมาคมคอนกรีต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

การพัฒนาเครื่องพริกแกงหม่าล่าสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น

อิสรา ปวกพรมมา[1] ธนพัชร์ ฐิติวัชรธนากุล[2] ปัณณวิชญ์ ภัทรวิไชยวงค์[3]

มนัญญา คำวชิระพิทักษ์[4*]

Received : January 21, 2021
Revised : April 26, 2021
Accepted : April 27, 2021

บทคัดย่อ

การพัฒนาสูตรเครื่องพริกแกงหม่าล่าสำหรับทำน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น เครื่องแกงหม่าล่า 3 สูตร ถูกผลิตเป็นพริกแกงหม่าล่าเปรียบเทียบสูตรทางการค้า สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ สูตรที่ 3 ซึ่งมีส่วนผสม ของพริกฮวาเจียว พริกไทยดำ พริกขี้หนูแห้ง พริกป่น ยี่หร่า กระเทียม ขิง ผงพะโล้ เกลือ น้ำตาลทรายแดง ซีอิ๊วขาว ซอสฮอยซิน และ น้ำมันมะกอก เท่ากับร้อยละ 6.58, 6.58, 0.88, 6.58, 6.58, 2.19, 7.02, 6.58, 2.19, 15.35, 13.16, 13.16 และ 13.16 โดยน้ำหนักตามลำดับ กรรมวิธีการผลิตน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นทำได้โดยนำเครื่องพริกแกงหม่าล่ามาผสมกับน้ำสต๊อกใสและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บรรจุลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อขนาด 250 มิลลิลิตร และทำให้เย็นทันที เมื่อนำไปเจือจางเป็นน้ำซุปหม่าล่า มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านสี (6.15) ด้านกลิ่น (6.30) ด้านรสชาติ (6.67) ด้านความเผ็ด (6.71) และด้านความชอบโดยรวม (6.80) อยู่ในระดับชอบปานกลาง-มาก ผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นมีค่าความสว่าง (*L**) , ค่าความเป็นสีแดง (*a**) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**) เท่ากับ 30.51, 5.55 และ 6.44 ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรการค้า และมีค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของเครื่องพริกแกงหม่าล่า และน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น เท่ากับ 0.74 และ 0.98 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องพริกแกงหม่าล่า น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น น้ำซุปหม่าล่า

---

[1] นักศึกษา หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: issara.puak@vru.ac.th

[2] นักศึกษา หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: thanapat.thi@vru.ac.th

[3] นักศึกษา หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: pitchayut09@gmail.com

[4] อาจารย์ประจำหลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: manunya@vru.ac.th

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: manunya@vru.ac.th*

DEVELOPMENT OF MALA CURRY PASTE FOR THE CONCENTRATED MALA BROTH PRODUCT

Issara Puakpromma[1] Thanaphat Thitiwacharatanakul[2] Punnawit Pattarawichaiwong[3]
Manunya Khamwachiraphitak[4*]

Abstract

This study concerns the development of a Mala curry paste recipe for the concentrated Mala broth product. Here, 3 Mala curry paste recipes were developed and compared with the commercial recipe. The most satisfied recipe was the 3rd one which contains 6.58% of Hwa Jiao, 6.58% of black pepper, 0.88% of dried chili, 6.58% of chili powder, 6.58% of cumin, 2.19% of garlic, 7.02% of Ginger, 6.58% of Pae-Lo powder, 2.19% of salt, 15.35% of brown sugar, 13.16% of soy sauce, 13.16% of hoisin sauce, and 13.16% of olive oil. The concentrated Mala broth was processed by mixing the Mala curry paste with clear broth and heated at 100°c for 10 minutes. Then, its was placed into 250 ml sterilized bottles containin, and cooled immediately. When diluted, the Mala soup had sensory acceptance scores as follows: color (6.15), smell (6.30), taste (6.67), spiciness (6.71) and overall taste (6.80) (medium-high preferred). The concentrated Mala broth product had L^*, a^* and b^* values of 30.51, 5.55 and 6.44, respectively. The difference was not statistically significant with the commercial recipe and the a_w values of Mala curry paste and the concentrated Mala broth were 0.74 and 0.98, respectively.

Keywords: Mala Curry Paste, Concentrated Mala Broth, Mala soup

[1] Undergraduate student of Home economics Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: issara.puak@vru.ac.th

[2] Undergraduate student of Home economics Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: thanapat.thi@vru.ac.th

[3] Undergraduate student of Home economics Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: pitchayut09@gmail.com

[4] Lecturer of Home economics program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, e-mail: manunya@vru.ac.th

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

บทนำ

ปัจจุบันจากสถานการณ์ของสังคมโลกในยุคโลกาภิวัตน์ ส่งผลให้หลายวัฒนธรรมของสังคมโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงไป การผสมผสานของวัฒนธรรมและองค์ความรู้ด้านอาหารก็เช่นเดียวกัน ทำให้เกิดการประยุกต์และดัดแปลงอาหารให้ดูมีความทันสมัยและเป็นสากลมากยิ่งขึ้น มีการผสมผสานของวัฒนธรรมอาหารที่เกิดขึ้นย่างรวดเร็ว (ศรุดา นิติวรก, 2557) เพื่อให้ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคทั้งในเรื่องของรสชาติและภาพลักษณ์ “หม่าล่า”เป็นหนึ่งในเครื่องปรุงรสที่ได้รับความนิยมในประเทศจีนและแพร่หลายในประเทศไทย ผ่านปิ้งย่างยูนนานที่ชาวจีนยูนนานในอำเภอแม่สายจังหวัดเชียงราย โดยนำมาทำเมนูปิ้งย่าง สุกี้และชาบู จัดเป็นอาหารที่เกิดจากการผสมผสานวัฒนธรรมที่เกิดจากการกินของมนุษย์ คำว่า หม่าล่า (Mala) มาจากภาษาจีน หม่า (Ma) หมายถึง อาการชาที่ปลายลิ้น และ ล่า (La) หมายถึง รสชาติเผ็ด ส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้หม่าล่ามีรสชาติออกซ่า ๆ ชาลิ้น คือ เครื่องเทศพืชท้องถิ่นของจีนที่ชื่อว่า ฮวาเจียว (Hua-jiao) หรือ ชวงเจี่ยที่แปลว่าพริกเสฉวน (Sichuan pepper, Szechuan pepper) ซึ่งเป็นเครื่องเทศจากผลและเมล็ดมีรูปร่างคล้ายพริกไทยดำ มีถิ่นกำเนิดในมณฑลเสฉวน ของจีน ชาวจีนนิยมนำฮวาเจียวมาผสมกับ ผงพริกป่น ให้รสชาติที่เรียกว่า “หม่าล่า” (Mala flavor) มีสรรพคุณช่วยขับลมในกระเพาะอาหาร กระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ช่วยย่อยอาหารอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยต่อต้านเชื้อราและเชื้อไวรัสในร่างกาย แก้อักเสบ สมุนไพรของไทยที่มีเชื้อสายเดียวกันกับฮวาเจียว คือ มะแขว่น เครื่องเทศของทางเหนือซึ่งสารสกัดจากก้านมะแขว่นและเมล็ดมะแขว่นมีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรวมฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่เพิ่มขึ้น (สุวดี โพธิ์วิจิตร และ คณะ, 2562) ในปัจจุบันส่วนผสมของเครื่องเทศสำเร็จรูปหม่าล่า นอกจากฮวาเจียวแล้ว ยังประกอบด้วยผงพริกป่น เกลือ ผงชูรส และเครื่องเทศอื่น ๆ เช่น โป๊ยกั๊ก ยี่หร่า ขิงผง เป็นต้น ซึ่งพืชเหล่านี้ ล้วนมีสรรพคุณช่วยดับกลิ่นคาว และบำรุงเลือด ไล่ความเย็น (กรุณา วงษ์กระจ่าง, 2562) หม่าล่าในไทยเป็นที่รู้จักผ่าน ‘ปิ้งย่างยูนนาน’ เมนูหมู หมึก กุ้ง ไก่ ไส้ กรอก แฮม เห็ดออรินจิ เห็ดเข็มทอง และผักต่างๆ เช่น ข้าวโพดและกระเจี๊ยบเสียบไม้ เคลือบด้วยผงหม่าล่าก่อนจะนำไปปิ้งให้สุก (ภัทรานิษฐ์ จิตสำรวย, 2563) ปัจจุบันมีนวัตกรรมมากมายที่ช่วยเพิ่มความสะดวกในการประกอบอาหาร น้ำซุปสำเร็จรูปเป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มความสะดวกในครัวเรือน เพียงใส่น้ำซุปลงไปในหม้อ ก็ได้รสชาติเหมือนน้ำซุปที่ใช้เวลาเคี่ยวนาน ๆ สะดวก และประหยัดเวลาในการปรุงอาหาร น้ำซุปสำเร็จรูปมีรสชาติหลากหลาย เช่น รสหมู รสไก่ รสต้มยำ รสแกงเขียวหวาน ฯลฯ และน้ำซุปหม่าล่าเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม เพื่อให้สอดคล้องกับความนิยมบริโภคของคนไทย อันจะเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ทางเลือกแก่ผู้บริโภคและตอบสนองความต้องการของผู้ที่ชื่นชอบในการรับประทานหม่าล่า และเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเป็นซอส และซุปผงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสูตรเครื่องพริกแกงหม่าล่าในการผลิตน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น
2. ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมของน้ำซุปหม่าล่า
3. วิเคราะห์และคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีบางประการของเครื่องพริกแกงหม่าล่า และน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมส่วนผสมและวิธีการผลิต

ส่วนผสมของเครื่องแกงหม่าล่า 3 สูตร (สัดส่วนดังตารางที่ 1) ถูกผลิตเป็นพริกแกงหม่าล่าเปรียบเทียบเครื่องพริกแกงหม่าล่าทางการค้า โดยมีวิธีการผลิตดังต่อไปนี้

1.1 การเตรียมส่วนผสมทำได้โดยนำส่วนผสมที่เป็นของแห้ง เช่น พริกไทยดำ พริกขี้หนูแห้ง พริกป่น ลูกผักชี ยี่หร่า ไปปั่นจนละเอียด (Philips รุ่น HR2061, ประเทศไทย) ความแรงระดับ 3 เป็นเวลา 3 นาที และปั่นกระเทียม ขิง ความแรงระดับ 3 เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปผสมกับส่วนผสมที่เป็นของเหลวทั้งหมดให้เข้ากันได้เป็นเครื่องพริกแกงหม่าล่า

1.2 การผลิตน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น ทำได้โดยนำเครื่องแกงหม่าล่ามา 100 กรัม ผสมกับน้ำสต๊อกใสรสไก่ 1 ลิตร ให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บรรจุลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตรขณะร้อน และทำให้เย็นทันที จะได้น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเครื่องพริกแกงหม่าล่าแต่ละสูตร

ส่วนผสม	สูตรที่ 1		สูตรที่ 2		สูตรที่ 3	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
พริกฮวาเจียว	120	19.67	15	7.98	15	6.58
พริกไทย	5	0.82	-	-	-	-
พริกไทยดำ	10	1.94	15	7.98	15	6.58
พริกขี้หนูแห้ง	-	-	2	1.06	2	0.88
พริกป่น	240	39.34	15	7.98	15	6.58
ยี่หร่า	5	0.82	15	7.98	15	6.58
กระเทียม	-	-	5	2.66	5	2.19
ขิง	-	-	16	8.51	16	7.02
ลูกผักชี	60	9.84	-	-	-	-
ผงพะโล้	15	2.46	15	7.98	15	6.58
งาขาว	30	4.92	-	-	-	-
เกลือ	5	0.82	-	-	5	2.19
น้ำตาลทรายแดง	5	0.82	15	7.98	35	15.35
ซีอิ๊วขาว	-	-	30	15.96	30	13.16
ซอสฮอยซิน	-	-	15	7.98	30	13.16
น้ำมันมะกอก	-	-	30	15.96	30	13.16
น้ำมันถั่วเหลือง	100	16.39	-	-	-	-
น้ำมันงา	15	2.46	-	-	-	-

2. การประเมินทางประสาทสัมผัส และการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ

สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส ทำโดยนำน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นทั้ง 3 สูตร มาผสมกับน้ำร้อนในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แบ่งใส่ภาชนะสำหรับทดสอบชิมในปริมาตร 30 มิลลิลิตร จัดเสิร์ฟขณะร้อน เปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า ทดสอบโดยวิธี 9 Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่มีความเชี่ยวชาญและนักศึกษาหลักสูตรคหกรรมศาสตร์ จำนวน 30 คน เพื่อประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ความเผ็ด และ ความชอบโดยรวม เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด และวัดค่าสี *L*, a** และ *b** ด้วยเครื่อง Color Reader (CR-10 ยี่ห้อ Minolta) สำหรับสูตรที่ได้รับการยอมรับจะถูกนำมาวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่อง Aqualab รุ่น Series 3 (รุ่น a_w CX 3)

3. การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้วางแผนการทดสอบแบบการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complately Block Design, RCBD) สำหรับการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส และการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complately Design, CBD) สำหรับลักษณะการทดสอบทางกายภาพ วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยทดสอบความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan New Multiple Range's Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

สูตรทางการค้า สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3

ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์เครื่องพริกแกงหม่าล่าทั้ง 3 สูตร เปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า

สูตรทางการค้า สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3

ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นผลิตภัณฑ์เครื่องพริกแกงหม่าล่าแกงหม่าล่าทั้ง 3 สูตร เปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า

สูตรทางการค้า สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3

ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าแกงหม่าล่าทั้ง 3 สูตร จากการผสมซุปหม่าล่าเข้มข้นกับน้ำร้อน ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะปรากฏของเครื่องพริกแกงหม่าล่า และผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น แสดงดังภาพที่ 1 และ 2 และเมื่อนำซุปหม่าล่าเข้มข้นผสมกับน้ำร้อนในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรจะได้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่า ภาพที่ 3

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำซุปหม่าล่า พบว่าผ่านการเตรียมโดยนำน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นมาเจือจางในน้ำร้อนด้วยอัตราส่วน 1: 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ตารางที่ 2) พบว่าทั้ง 4 สูตรมีคะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านสี รสชาติ ความเผ็ด และความชอบโดยรวม โดยพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับด้านสีมากที่สุดคือสูตรที่ 1 (6.92) รองลงมาเป็นสูตรทางการค้า (6.25) ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 3 (6.15) โดยสูตรที่ได้รับการยอมรับน้อยที่สุดคือ สูตรที่ 2 (5.69) ส่วนการยอมรับด้านกลิ่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกสูตร ($p>0.05$) โดยสูตรที่มีแนวโน้มค่าคะแนนการยอมรับมากที่สุด คือสูตรที่ 3 มากที่สุด (6.30) และในด้านรสชาติ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับสูตรทางการค้า (6.78) และสูตรที่ 3 มากที่สุด (6.67) รองลงมา คือ สูตรที่ 2 (6.18) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 1 (5.69) เช่นเดียวกับด้านความเผ็ด ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับสูตรที่ 3 (6.71) และสูตรทางการค้ามากที่สุด (6.42) และด้านความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับสูตรทางการค้า (6.87) และสูตรที่ 3 มากที่สุด (6.80) รองลงมา คือ สูตรที่ 2 (6.42) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 1 (5.97) ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากทุกคุณลักษณะ

เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรการค้า จะเห็นได้ว่าน้ำซุปหม่าล่า สูตรที่ 3 ได้รับการยอมรับโดยไม่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรทางการค้าในทุกคุณลักษณะ โดยมีคะแนน 6.80 (ชอบปานกลาง-มาก)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของน้ำซุปหม่าล่า ค่าสีของน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นและเครื่องพริกแกงหม่าล่า

คุณลักษณะ	สูตรทางการค้า	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
การประเมินทางประสาทสัมผัสของน้ำซุปหม่าล่า				
สี	6.25 ± 0.21^{b}	6.92 ± 0.03^{a}	5.69 ± 0.12^{c}	6.15 ± 0.11^{b}
กลิ่น^{ns}	6.20 ± 0.04	6.05 ± 0.35	6.10 ± 0.28	6.30 ± 0.24
รสชาติ	6.78 ± 0.14^{a}	5.69 ± 0.26^{b}	6.18 ± 0.35^{ab}	6.67 ± 0.50^{a}
ความเผ็ด	6.42 ± 0.21^{ab}	6.05 ± 0.07^{c}	6.35 ± 0.07^{c}	6.71 ± 0.06^{a}
ความชอบโดยรวม	6.87 ± 0.14^{a}	5.97 ± 0.14^{b}	6.42 ± 0.40^{b}	6.80 ± 0.14^{a}
ค่าสีของน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น				
L^{*ns}	32.00 ± 1.48	30.36 ± 0.09	33.57 ± 3.08	30.51 ± 0.61
a^*	6.58 ± 0.20^{b}	4.38 ± 0.87^{c}	8.36 ± 1.07^{a}	5.55 ± 0.38^{bc}
b^*	9.27 ± 0.94^{a}	6.15 ± 0.61^{b}	11.87 ± 2.60^{a}	6.44 ± 0.20^{b}
ค่าสีของเครื่องพริกแกงหม่าล่า				
L^*	35.8	37.5	31.2	26.7
a^*	20.2	10.2	4.6	6.2
b^*	23.2	14.6	6.5	8.8

หมายเหตุ a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากภาพที่ 1-3 และค่าสีในตารางที่ 2 เห็นได้จากทั้งเครื่องพริกแกง และน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น สูตรที่ 3 มีสีเข้มกว่าสูตรอื่นๆ น่าจะเป็นผลจากสีของซีอิ๊วขาวและซอสฮอยซินซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 2 ที่มีปริมาณส่วนผสมทั้งสองอย่างนี้น้อยกว่าสูตรที่ 3 หรือไม่มีส่วนผสมของซีอิ๊วขาวและซอสฮอยซินในสูตรที่ 1 จึงส่งผลให้มีสีน้ำตาลน้อยกว่าสูตรที่ 3 สอดคล้องกับค่าสีของเครื่องพริกแกง ค่าสี a^* สูตรทางการค้า (20.2) สูตรที่ 1 (10.2) สูตรที่ 2 (4.6) สูตรที่ 3 (6.2) และ ค่าสี b^* ของสูตรทางการค้า (23.2) สูตรที่ 1 (14.6) สูตรที่ 2 (6.5) สูตรที่ 3 (8.8)

สำหรับสีของน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น ซึ่งเกิดจากการนำเครื่องพริกแกงแต่ละสูตรมาผ่านกรรมวิธีผลิตเป็นน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น และผ่านให้ความร้อน 100 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที จึงเห็นเป็นสีเข้ม โดยให้ค่าสี L^* ของน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-33 และค่าสี a* (ความเป็นสีแดง) สูตรที่ 2 (8.36) มากที่สุด รองลงมาคือ สูตรการค้า(6.58) ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง

สถิติกับสูตรที่ 3 (5.55) และสูตรที่ 1 (4.38) มีค่าน้อยที่สุด ค่าสี *b** (ความเป็นสีเหลือง) มากที่สุดคือ สูตรที่ 2 (11.87) มากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรทางการค้า (9.27) รองลงมาคือ สูตรที่ 3 (6.44) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรที่ 1 (6.15) เมื่อนำมาเมื่อจางเป็นน้ำซุปหม่าล่าสูตรที่ 1 มีสีน้ำตาลอมแดง และสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีสีน้ำตาลเข้มกว่า (ภาพที่ 3)

สีของเครื่องพริกแกง และน้ำซุปเข้มข้นอาจเป็นผลจากตัวสีของเครื่องเทศสมุนไพรต่างๆ ที่มีในส่วนผสม และปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนหรือโปรตีนทำปฏิกิริยากับสารพวกน้ำตาลอัลดีไฮด์หรือคีโตน ในขณะให้ความร้อนให้ได้สารเมลานอยดินที่ให้สีน้ำตาล (ศิริลดา ไกรลมสม, 2560) โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกับกรดอะมิโนของโปรตีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของสารประกอบกลูโคส-เอมีนที่มีสีน้ำตาล เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบเพราะโดนความร้อนจากการต้มเคี่ยวเป็นเวลานาน โดยเฉพาะหากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลเกิดขึ้นที่อุณภูมิสูงจะทำให้ได้สีน้ำตาลเข้ม (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) นอกจากนี้ สารให้กลิ่นที่ระเหยได้หลายชนิดจะเกิดได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการปรุงอาหารเพื่อทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติ มีกลิ่นหอมของพริกฮวาเจียวแสดงถึงเอกลักษณ์ของหม่าล่า และมีค่า a_w ของเครื่องแกงหม่าล่า น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น และน้ำซุปหม่าล่า สูตรที่ 3 เท่ากับ 0.74, 0.98 และ 0.99 ตามลำดับ

สรุป

สูตรเครื่องพริกแกงหม่าล่าสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับใกล้เคียงกับสูตรทางการค้ามากที่สุดคือ สูตรที่ 3 โดยเมื่อเจือจางเป็นน้ำซุปแล้วมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.15-6.80 (ชอบปานกลาง-มาก) โดยได้รับการยอมรับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรทางการค้าในทุกคุณลักษณะ ค่า a_w ของเครื่องพริกแกงหม่าล่า และ น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้น เท่ากับ 0.74 และ 0.98 ตามลำดับ ส่วนผสมของเครื่องแกงหม่าล่าสูตรที่ 3 ประกอบด้วย พริกฮวาเจียว พริกไทยดำ พริกขี้หนูแห้ง พริกป่น ยี่หร่า กระเทียม ขิง ผงพะโล้ เกลือ น้ำตาลทรายแดงซีอิ๊วขาว ซอสฮอยซิน และ น้ำมันมะกอก ร้อยละ 6.58, 6.58, 0.88, 6.58, 6.58, 2.19, 7.02, 6.58, 2.19, 15.35, 13.16, 13.16 และ 13.16 ตามลำดับ กรรมวิธีการผลิตน้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นทำได้โดยนำเครื่องพริกแกงหม่าล่าผสมกับน้ำสต๊อก และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บรรจุลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อขนาด 250 มิลลิลิตร ขณะร้อน และทำให้เย็นทันที โดยผลิตภัณฑ์น้ำซุปหม่าล่าเข้มข้นมีค่าสี *L*, a** และ *b** เท่ากับ 30.51, 5.55 และ 6.44 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านอายุการเก็บรักษา คุณค่าโภชนาการ และความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ สูตรดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการพัฒนาเป็นซอสหม่าล่าเข้มข้น พาสเจอร์ไรซ์และซุปผง หรือใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น ๆ ที่ต้องการกลิ่นรสหม่าล่าได้

เอกสารอ้างอิง

กรุณา วงษ์กระจ่าง. (2562). กลไกการรับรู้ทางประสาทสัมผัสต่อเครื่องเทศ. **วารสารอาหาร**, 49(3), 25-32.

ภัทรานิษฐ์ จิตสำรวย. (2563). **‘หมาล่า’ เผ็ดชาสไตล์จีน บนมื้ออาหารคนไทย**, สืบค้นจาก https://themomentum.co/mala-chinese-spices/

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2544). **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ศรุดา นิติวรก. (2557). อาหารไทย: มรดกทางวัฒนธรรมของชาติ. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร**, 5(1), 171-179.

ศิริลดา ไกรลมสม. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจอร์กี ไก่รสกะเพรา. **วารสารเกษตร**, 33(2), 267-275.

สุวดี โพธิ์วิจิตร, ปิยานี รัตนชำนอง, อุดมลักษณ์ มาตย์สถิตย์, และวีระศักดิ์ อัศววงศ์อารยะ. (2019). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ของสารสกัดจากสมุนไพรไทยพื้นบ้านสะค้านและมะแขว่นในเขตท้องถิ่นภาคเหนือ. **Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi**, 18(1), 25-38.

เทคนิคคณิตศาสตร์สำหรับการประมาณค่าปริมาตรของหยดน้ำบนผิวไม่ชอบน้ำ

ธีรนันท์ นงค์นวล[1] สินีนาฏ ศรีมงคล[2*]

Received : November 17, 2020
Revised : April 26, 2021
Accepted : April 27, 2021

บทคัดย่อ

ปริมาตรของหยดน้ำบนผิวไม่ชอบน้ำสามารถคำนวณแล้วนำไปใช้ในการตรวจสอบ ประสิทธิภาพของการดูดซับของเหลว อัตราการแทรกซึม และจลนพลศาสตร์การระเหย วิธีการที่ซับซ้อนได้นำเสนอเร็วๆ นี้ โดยการคำนวณการหมุนแกนของวงรี มุมของระนาบของผิวไม่ชอบน้ำ และปริพันธ์บนพิกัดทรงกลม ซึ่งผลของวิธีการนี้มีความถูกต้องสูง เนื่องจากมุมของระนาบสามารถละทิ้งได้ ในงานวิจัยนี้จึงสมมติให้มุมของระนาบของผิวไม่ชอบน้ำเป็นศูนย์ ภาพของหยดน้ำสองมิติเหมือนว่าจะสมมาตร ดังนั้น จึงนำวิธีการหมุนพื้นที่รอบแกนมาใช้ในการประมาณค่าปริมาตรของหยดน้ำ ยิ่งไปกว่านั้น เส้นโค้งของหยดน้ำก็จะใช้การประมาณโดยใช้สมการกำลังสอง วิธีการที่ทำให้ง่ายขึ้นนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าปริมาตรของหยดน้ำโดยได้ค่าความถูกต้องในระดับที่พอรับได้

คำสำคัญ: เทคนิคคณิตศาสตร์ ปริมาตรของหยดน้ำ ผิวไม่ชอบน้ำ

[1] อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี อีเมล : teeranan.no@buu.ac.th
[2] อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี อีเมล : sineenart@buu.ac.th
** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : sineenart@buu.ac.th*

MATHEMATICAL TECHNIQUES ON ESTIMATION OF WATER DROPLET VOLUME ON HYDROPHOBIC SURFACE

Teeranan Nongnual[1] Sineenart Srimongkol[2*]

Abstract

The volumes of droplet on the hydrophobic surface can be calculated to investigate the liquid adsorption efficiency, infiltration rate, and evaporation kinetics. An elaborate method has been recently proposed by calculating the rotation axis of an ellipse, the slope of hydrophobic surface plane, and the integral over spherical coordinate. The result of this method could be done with high accuracy. Since the surface plane slope can be neglected, the hydrophobic surface plane was assumed in this work as a flat line with zero slope. The two-dimensional water droplet figure was likely symmetry, the rotation method is then applied to approximate the water droplet volume. Moreover, the curve of the water droplet was approximated by a quadratic function. A simplified method to estimate the droplet volume was proposed in this work yielding acceptable accuracy.

Keywords: Mathematical technique, Water droplet volume, Hydrophobic surface

[1] Lecturer of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, e-mail : teeranan.no@buu.ac.th

[2] Lecturer of Mathematics, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, e-mail : sineenart@buu.ac.th

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

บทนำ

ปัจจุบันพื้นผิวของวัสดุขั้นสูงและสารเคลือบวัสดุหลายชนิด ถูกพัฒนาให้มีลักษณะเฉพาะด้านด้วยการศึกษาปรับปรุงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิว หรือการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีของวัสดุและสารเคลือบ ส่วนหนึ่งเป็นการพัฒนาสมบัติการสะท้อนน้ำหรือการไม่ชอบน้ำของสารเคลือบหรือสีเคลือบ (Zhang, et al., 2008) การดูดซับน้ำหรือน้ำมันของวัสดุที่มีรูพรุน การแยกน้ำออกจากของผสมน้ำและน้ำมันของวัสดุตาข่าย (Zhou, et al., 2017) หรือการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิววัสดุ (Lu, et al., 2015) สมบัติการชอบน้ำ ไม่ชอบน้ำ หรือการดูดซับน้ำของผิววัสดุดังกล่าว โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ด้วยค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำหรือมุมกลิ้งของหยดน้ำ และอาจแสดงด้วยอัตราการดูดซับน้ำต่อพื้นที่ผิวของวัสดุได้อีกด้วย

ในการวิเคราะห์อัตราการดูดซับน้ำนั้น สามารถทำได้โดยการคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของหยดน้ำ ที่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โดยการคำนวณหาปริมาตรของหยดน้ำอาจใช้เทคนิคการถ่ายรูปหยดน้ำด้วยวิธีแสงเลเซอร์และรูปถ่ายเงาหยดน้ำ (García-Magariño, et al. , 2021) หรือการถ่ายรูปด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะรูปทรงของหยดของเหลว (Birdi, et al., 1989; Sridakul, et al., 2020) นอกจากนี้งานวิจัยของ Srimongkol, et al. (2019) ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะรูปทรงของหยดของเหลว (DSA-30) โดยการถ่ายรูปหยดน้ำด้วยกล้องถ่ายรูปความละเอียดสูง กล้องมีมุมก้ม 2.5 องศาเทียบกับระนาบพื้นผิวเพื่อลดการบดบังของเส้นใยวัสดุในระนาบ อัตรากรอบภาพเท่ากับ 25 ภาพต่อวินาทีหรือเฮิร์ทซ์ โดยหยดของเหลวมีปริมาตรประมาณ 3 ถึง 15 ไมโครลิตร กล้องถ่ายรูปจะถ่ายวิดีโอต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำรูปวิดีโอที่ได้มาวิเคราะห์เส้นขอบของส่วนหยดน้ำ เพื่อคำนวณหาปริมาตรของหยดน้ำ การวิเคราะห์รูปภาพและคำนวณใช้การเขียนคอมพิวเตอร์อัลกอริทึมในโปรแกรม MATLAB ซึ่งจากรูปถ่ายสองมิติของหยดน้ำจะประเมินได้ว่า ลักษณะของหยดน้ำเป็นทรงรีสามมิติ หรือในรูปถ่ายเป็นวงรีสองมิติ ที่มีความเอียงเล็กน้อยที่เกิดจากเส้นฐานของพื้นผิววัสดุมีความลาดชัน จากนั้นจึงใช้วิธีการหมุนแกนเพื่อให้วงรีหยดน้ำไม่มีมุมเอียงแล้วคำนวณแล้วคำนวณปริมาตรของหยดน้ำโดยใช้ปริพันธ์สามชั้นในพิกัดทรงกลม และจากสมมติฐานที่ว่ารูปสามมิติของหยดน้ำที่คำนวณนั้น มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมจากการวางอยู่บนพื้นผิววัสดุ ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรของหยดน้ำที่แท้จริงได้อย่างแม่นยำ แต่ทั้งนี้วิธีการคำนวณดังกล่าวค่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์หาปริมาตรโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้นไม่ยุ่งยากซับซ้อน และยังคงให้ผลที่มีความแม่นยำน่าเชื่อถือ โดยการหมุนแกนพิกัด จากนั้นคาดการณ์สมการเส้นโค้ง โดยใช้สมการกำลังสองแล้วใช้ปริพันธ์ชั้นเดียวในการคำนวณปริมาตร ซึ่งวิธีการนี้จะง่ายและสะดวกในการใช้งานในการคำนวณจริง จากนั้นผู้วิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

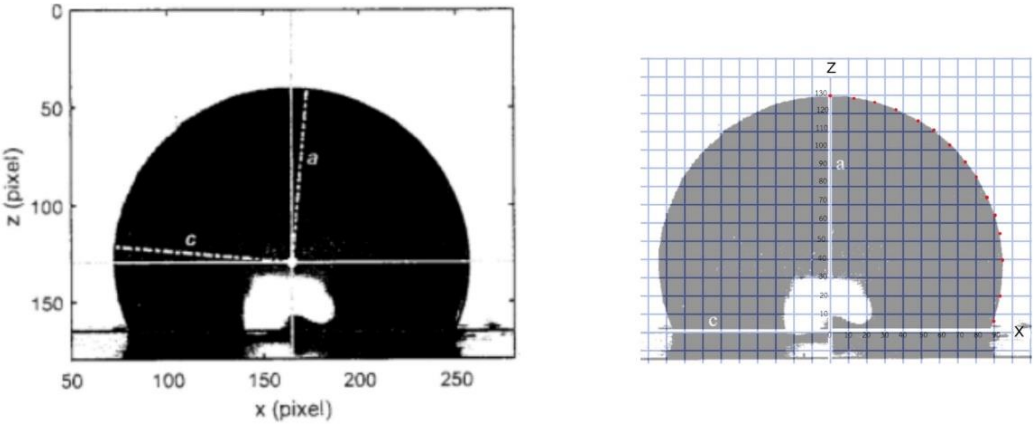
เพื่อพัฒนาวิธีการหาปริมาตรของหยดน้ำจากภาพถ่าย 2 มิติ โดยใช้สมการถดถอยกำลังสองร่วมกับการหาค่าปริมาตรของปริพันธ์ 1 ชั้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยมีการดำเนินการเป็นขั้นตอน โดยเริ่มต้นจากการปรับมุมของภาพ 2 มิติให้ทำมุมฉากกับแกนพิกัด จากนั้นหาสมการแทนเส้นโค้งของขอบหยดของเหลว โดยรูปแบบของเส้นขอบเป็นเส้นโค้ง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สมการถดถอยกำลังสอง สำหรับการหาปริมาตรของหยดน้ำ หาโดยการใช้ปริพันธ์ 1 ชั้นในการคำนวณ เมื่อได้ผลแล้ว นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการนี้กับวิธีการที่ได้จากงานวิจัยเดิม (Srimongkol, et al., 2019)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ภาพ 2 มิติของหยดน้ำที่ได้จากงานวิจัยของ (Srimongkol, et al., 2019) เป็นการถ่ายภาพผ่านอุปกรณ์ DSA-30 ดังแสดงในภาพที่ 1 ด้ายซ้าย จะเห็นได้ว่าภาพมีมุมเอียงเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องและง่ายในการคำนวณจำเป็นจะต้องกำหนดแกนพิกัดและปรับภาพให้ฉาก เพื่อให้ภาพมีสมมาตรเทียบกับแกนตั้ง โดยในการดำเนินการผู้วิจัยกำหนดให้แกนนอนแทนด้วยแกน x ซึ่งเป็นส่วนที่หยดของเหลวสัมผัสกับวัตถุ และแกนตั้งแทนด้วยแกน z โดยกำหนดให้ขนาดในแต่ละช่องมีค่าเป็น 10 จุดภาพ (Pixel) ดังแสดงในภาพที่ 1 ด้านขวา



ภาพที่ 1 ภาพ 2 มิติของหยดน้ำที่ได้จาก DSA-30 (ซ้าย) (Srimongkol, et al., 2019) และภาพจากการปรับมุมเอียงและกำหนดแกนพิกัด (ขวา)

การหาสมการเส้นโค้งสามารถทำได้หลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้เส้นโค้งเป็นสมการกำลังสอง ซึ่งอยู่ในรูป $x=az^2+bz+c$ จากนั้นจะทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ a b และ c โดยใช้การประมาณค่าจากข้อมูล ในที่นี้กำหนดข้อมูลจากกราฟ โดยเลือกจุดจำนวน 15 จุด แสดงได้ดังตารางที่ 1 และใช้การถดถอยกำลังสอง

(Quadratic regression) ในโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel จะได้ค่า a มีค่าเป็น -0.0111 ค่า b มีค่าเป็น 0.9645 และ c มีค่าเป็น 79.316 และได้ค่า R^2 มีค่าเป็น 0.9503 โดยที่ค่า R^2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และถ้ามีค่าเกิน 0.90 ถือว่าดีมาก ในงานวิจัยนี้ค่า R^2 ที่ได้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าเส้นโค้งกำลังสอง

ชุดข้อมูลที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
x	0	14	24	36	48	58	66	74	80	86	90	92	96	94	90
z	130	128	126	122	118	112	104	94	86	76	66	56	40	20	6

การหาปริมาตรของหยดน้ำโดยมองว่าเส้นโค้งกำลังสองทางด้านขวาหมุนรอบแกน z จะได้รูปทรงสามมิติ (Solid of revolution) ที่มีหน้าตัดที่ขนานกับระนาบ xy เป็นรูปวงกลมขึ้น โดยวิธีการนี้จะสามารถหาปริมาตรของทรงตันที่เกิดจากการหมุน (Stewart, 2010) ได้จากการหาปริพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดรูปวงกลมจากค่า z=0 ซึ่งเป็นด้านล่างสุดของเส้นโค้งตามแกน z ไปจนถึงค่า z=138.49 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดของค่า z ตามแนวแกน z ดังสมการต่อไปนี้

$$\int_0^{138.49} \pi[f(z)]^2 dz = \int_0^{138.49} \pi(-0.0111z^2 + 0.9645z + 79.316)^2 dz = 2.79404 \times 10^6$$

โดยวิธีการในบทความ (Srimongkol, et al., 2019) คำนวนปริมาตรโดยใช้วิธีการในการประเมินว่าภาพที่ได้เป็นวงรีที่มีมุมเอียง จึงใช้วิธีการหมุนแกนของสมการวงรี จากนั้นใช้จาโคเบียนในการคำนวนปริพันธ์สามชั้นในระบบพิกัดทรงกลม โดยแสดงวิธีการดำเนินการและการเปรียบเทียบขั้นตอนการดำเนินการของทั้งสองวิธีในตารางที่ 2 โดยในการหมุนภาพวิธีการในบทความนี้ใช้การดำเนินการด้วยมือจะง่ายแต่ต้องอาศัยความแม่นยำของผู้ดำเนินการ ส่วนวิธีการจากงานวิจัยของ Srimongkol, et al., (2019) จำเป็นต้องใช้ความรู้คณิตศาสตร์เรื่องการหมุนแกนพิกัดของสมการวงรี ในขั้นตอนของการหาสมการเส้นโค้ง วิธีการในบทความนี้ใช้การหาสมการโดยวิธีถดถอยกำลังสอง ซึ่งจะยุ่งยากกว่าในวิธีการจากงานวิจัยของ Srimongkol, et al., (2019) อย่างไรก็ดีการใช้ Microsoft Excel ในปัจจุบันค่อนข้างแพร่หลายและใช้งานได้ง่าย ส่วนในขั้นตอนสุดท้าย การหาปริมาตรของหยดน้ำ วิธีการในบทความนี้ใช้เพียงปริพันธ์ชั้นเดียว การหาค่าปริพันธ์ไม่ยาก ส่วนวิธีการจากงานวิจัยของ Srimongkol, et al., (2019) ใช้การหาปริมาตรของทรงตันที่มีระนาบตัดแนวเฉียงโดยใช้เมทริกซ์จาโคเบียนและปริพันธ์สามชั้นและหาปริพันธ์เหนือระนาบในพิกัดทรงกลม ซึ่งใช้ความรู้คณิตศาสตร์ในระดับสูงกว่าวิธีการที่ใช้ในบทความนี้มาก

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบวิธีในบทความนี้และวิธีการจากงานวิจัยของ Srimongkol, et al. (2019)

ขั้นตอนการดำเนินการ	วิธีการในบทความนี้	วิธีการจากงานวิจัยของ Srimongkol, et al. (2019)
ภาพถ่ายสองมิติของหยดน้ำ	ประเมินเส้นโค้งว่าเป็นเส้นโค้งของสมการกำลังสอง	ประเมินว่าเป็นเส้นโค้งวงรี
การหมุนแกนพิกัดและปรับภาพให้ฉาก	ใช้การหมุนภาพโดยการวัดและปรับภาพเอง	ใช้การหมุนแกนพิกัดของวงรี หามุมเอียงจะได้สมการวงรีสมการใหม่
การสมการเส้นโค้ง	กำหนดจุดในกราฟที่ปรับภาพแล้วและหาสมการเส้นโค้งโดยใช้การถดถอยกำลังสอง	ได้สมการวงรีแบบมาตรฐาน
การหาค่าปริมาตร	ใช้ปริพันธ์ชั้นเดียว	ใช้การหาปริมาตรของทรงตันที่มีระนาบตัดแนวเฉียงโดยใช้เมทริกซ์จาโคเบียนและปริพันธ์สามชั้นและหาปริพันธ์เหนือระนาบในพิกัดทรงกลม

จะเห็นได้ว่าวิธีการในบทความนี้ง่าย ไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ดี วิธีการจากงานวิจัยของ Srimongkol, et al., (2019) เป็นวิธีการที่จะได้ค่าประมาณของปริมาตรของหยดน้ำที่แม่นยำ โดยได้ปริมาตรมีค่าเป็น 2.4592×10^{6} pixel^{3} โดยการหาค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) เทียบกันทั้ง 2 วิธีจะได้ 13.62%

สรุป

ในการทำงานวิจัยเชิงประยุกต์ การคำนวณหาปริมาตรของส่วนหนึ่งของวัตถุมีประโยชน์ในการใช้งานมากมาย การหาค่าของความไม่ชอบน้ำนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ได้ เช่นภาชนะรักษ์โลกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ จำเป็นจะต้องมีการทดสอบค่าความไม่ชอบน้ำ ในการคำนวณจำเป็นต้องใช้การหาปริมาตรของหยดน้ำบนผิวของวัตถุทดสอบซึ่งไม่ได้เป็นรูปแบบมาตรฐาน การคำนวณจำเป็นจะต้องใช้เทคนิคที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าที่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอเทคนิคคณิตศาสตร์ที่ใช้ความรู้คณิตศาสตร์อย่างง่ายสำหรับการคำนวณหาปริมาตรของหยดน้ำบนผิววัตถุที่ได้จากภาพถ่าย 2 มิติ โดยวิธีการนี้ เริ่มต้นจากการปรับภาพถ่าย 2 มิติให้อยู่ในรูปที่สมมาตรตามแกนตั้ง จากนั้นกำหนดจุดจากข้อมูลจำนวนหนึ่ง ซึ่งถ้ากำหนดจุดมาก ก็จะส่งผลให้ได้สมการที่มีความแม่นยำมากขึ้น ประเมินว่าจุดจากข้อมูลควรจะมีสมการเป็นอย่างไร ในงานวิจัยนี้ประเมินว่า

น่าจะเป็นสมการกำลังสอง จึงใช้การถดถอยกำลังสองในการหาสมการ เมื่อได้สมการของเส้นโค้งแล้ว ให้นำไปคำนวณปริมาตรโดยใช้ปริพันธ์ 1 ชั้น เนื่องจากมองว่าปริมาตรเกิดจากการหมุนเส้นโค้งที่ได้ รอบแกนตั้ง จากผลการวิจัยจากกรณีตัวอย่างพบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนสัมพันธ์เทียบกับวิธีในบทความ (Srimongkol, et al, 2019) เป็น 13.62%

ข้อเสนอแนะ

ในการนำวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ผู้วิจัยคาดว่าหากใช้วิธีการเดียวกันนี้กับสารชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ น่าจะสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากวิธีการนี้มีขั้นตอนการดำเนินการที่ง่าย และสะดวกในการใช้งานในการคำนวณจริง อย่างไรก็ดี หากสามารถทำให้อยู่ในรูปของโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถใช้ได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ก็จะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Birdi, K. S., Vu, D. T., & Winter, A. (1989). A study of the evaporation rates of small water drops placed on a solid surface. **The Journal of Physical Chemistry**, 93(9), 3702-3703.

García-Magariño, A., Sor, S., Bardera, R., & Muñoz-Campillejo, J. (2021). Interferometric laser imaging for droplet sizing method for long range measurements. **Measurement**, 168, 108418.

Lu, Y., Sathasivam, S., Song, J., Crick, C. R., Carmalt, C. J., & Parkin, I. P. (2015). Repellent materials. Robust self-cleaning surfaces that function when exposed to either air or oil. **Science (New York, N.Y.),** 347(6226), 1132–1135.

Srimongkol, S., Pachana P., & Nongnual, T. (2019). **Estimation of Water Droplet Volume on Hydrophobic from Two-Dimensional Drop Shape Measurement**. Proceeding of the 7th HCU National and Internation Conference, 253-258.

Stewart, J. (2010). **Calculus: Early Transcendentals**: Cengage Learning.

Sridakul, S., Bunbuchachai, S., Srimongkol, S., Hongvaleerat, C., Pachana, P., Nongnual, T. (2020). **Measurement of Water Adsorption Rate on Hydrophobic Coated Porous Materials Using Drop Shape Image Analysis**. Proceeding of the 2020 Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2020).

Zhang, X., Shi, F., Niu, J., Jiang, Y., & Wang, Z. (2008). Superhydrophobic surfaces: from structural control to functional application. **Journal of Materials Chemistry**, 18(6), 621-633.

Zhou, C., Chen, Z., Yang, H., Hou, K., Zeng, X., Zheng, Y., & Cheng, J. (2017). Nature-Inspired Strategy toward Superhydrophobic Fabrics for Versatile Oil/Water Separation. **ACS Applied Materials & Interface***s,* 9(10), 9184-9194.

การศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อกระบวนการเพิ่มเฉดสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากขมิ้น

ปทิตตาท์ วงศ์แสงเทียน[1*]

Received : October 26, 2020
Revised : April 27, 2021
Accepted : April 28, 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของกระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อค่าสีและความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้าย และเปรียบเทียบสีการย้อมต้นแบบกับการย้อมในห้องปฏิบัติการ วิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย กระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ การวัดหาค่าเฉดสีในระบบ CIELAB การทดสอบความคงทนต่อการซักฟอกและแสง และการเปรียบเทียบสีการย้อมต้นแบบกับการย้อมในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีที่ดีที่สุด คือ วิธีที่ 4 (2) น้ำย้อมสีที่สกัดได้จากขมิ้น ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง มาย้อมพร้อมกับสารช่วยติดสีพร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% จะทำให้สีเส้นด้ายฝ้ายที่มีความสว่างมากที่สุด และวิธีที่ 3 น้ำย้อมสีที่สกัดได้จาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง นำมาย้อมทับด้วยสีเหลืองส้มจากน้ำย้อมขมิ้น จะทำให้สีเส้นด้ายฝ้ายมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมากที่สุด ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ได้มีความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 45.73 - 67.64 ซึ่งค่าสีแดง – เขียว (a*) อยู่ระหว่าง 22.79 - 0.82 และค่าสีเหลือง – น้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง 29.88 - 72.49 สีของเส้นด้ายฝ้ายมีความคงทนต่อแสงและการซักส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี และสีที่ได้จากการย้อมในระดับต้นแบบไม่แตกต่างจากการย้อมในห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ: ขมิ้น เฉดสี เส้นด้ายฝ้าย นาโนซิงค์ออกไซด์

[1] อาจารย์สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุโขทัย อีเมล: aoypatitta@gmail.com

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: aoypatitta@gmail.com*

STUDY OF NANO ZINC OXIDE EFFECTS ON THE INCREASING SHADES VARIATION PROCESS OF COTTON YARN DYED WITH NATURAL TUMERIC DYE

Patitta Wongsangthain[1*]

Abstract

This study aimed to study the process of increasing the number of natural dyes on cotton yarn from turmeric together with Nano-zinc oxide on color value and color fastness of cotton yarn; and the dyeing model for household industry comparing with the color obtained from the laboratory. This study was performed by using chemical measurement, wavelength measurement based on the CIELAB color system to identify color values, color fastness to washing and light fastness test, and compare the color values obtained from household dyeing process with the laboratory. The findings indicate that the best shade multiplication process was Method 4(2), the dye water extracted from Turmeric, Pea Flower, Rosella and Sappan dyed together with color stabilizer with 0.05% Nano-zinc oxide, and Method 3, staining water extracted from Pea Flower, Roselle and Sappan stained with yellow-orange color from turmeric dye. This made the cotton yarn obtain the red and yellow values most. The lightness values (L*) obtained were in the range of 45.73 – 67.64, the red/green values (a*) were in the range of 22.79 - 0.82 whereas the yellow/blue values (b*) were in the range of 29.88 - 72.49. The obtained cotton yarn had good properties in light fastness and color fastness to washing. There was no difference in color yield between the cotton yarn dyed with household process and the laboratory.

Keywords: Turmeric, Shade, Cotton yarn, Nano zinc oxide

[1] *Lecturer of Faculty of Sport and Health Sciences, Thailand National Sports University Sukhothai Campus, e-mail: aoypatitta@gmail.com*

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

บทนำ

ปัจจุบันสิ่งทอเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งใช้วัตถุดิบจากธรรมชาตินำมาผลิตเป็นสิ่งทอ สิ่งทอที่ได้มาจากเส้นใยฝ้ายจะมีคุณภาพสูงมีความสวยงามมีความคงทนและได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งจากชาวไทยและชาวต่างประเทศ ปัจจัยที่เพิ่มความน่าสนใจและความสวยงามเป็นอันดับแรกของสิ่งทอก็คือ การตกแต่งสีสันที่สดใสสวยงามลงบนผ้าทอโดยการการย้อมสีจากสีธรรมชาติ สีย้อมส่วนใหญ่ได้มาจากธรรมชาติทั้งจากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ เช่น สีแดงได้จาก ครั่ง สีเหลืองได้จาก ขมิ้น อ้อย สีน้ำตาลได้จาก แก่นคูณ เปลือกสีเสียด สีน้ำเงินได้จาก คราม ดอกอัญชัน สีเขียวได้จาก ใบบวบ ใบหูกวาง และสีดำได้จาก ผลมะเกลือ เป็นต้น การตกแต่งสิ่งทอด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การพิมพ์ การตกแต่งสำเร็จ การย้อมสี ทำให้สิ่งทอมีสีสันลวดลาย มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น ซึ่งการย้อมสีเป็นการตกแต่งสิ่งทอที่ช่วยเพิ่มความสวยงามและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งทอ และในปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจสิ่งทอย้อมสีจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น จึงทำให้การย้อมสีผ้าเป็นงานศิลป์ที่อยู่คู่กับวัฒนธรรมของมนุษย์มาอย่างยาวนาน การใช้สีย้อมผ้าจากธรรมชาติมีผลดีต่อสุขภาพของผู้สวมใส่และไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่สีย้อมผ้าที่ได้จากธรรมชาติยังไม่มีความหลากหลายและมีขั้นตอนการย้อมที่ยุ่งยากและในการย้อมแต่ละครั้งสีที่ได้จะไม่เหมือนเดิม นี่จึงเป็นสาเหตุทำให้สตรีกลุ่มทอผ้าส่วนใหญ่หันมานิยมใช้สีย้อมผ้าที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นสีย้อมผ้าที่ได้มาจากการสังเคราะห์ของสารเคมี การใช้สีที่สังเคราะห์จากสารเคมีมีความสะดวกสบายต่อการย้อมและยังสามารถกำหนดสีตามที่ต้องการได้ การใช้สีสังเคราะห์จากสารเคมีจะทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม (กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

ขมิ้นเป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในแถบเอเชีย เป็นพืชที่ปลูกง่ายสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย จัดว่าเป็นพืชล้มลุกที่อยู่ในตระกูลเดียวกับขิงที่มีเหง้าอยู่ใต้ดิน อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุอยู่หลายชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินซี วิตามินอี ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก เกลือแร่ต่าง ๆ รวมไปถึงเส้นใย คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เนื้อในของเหง้าจะมีสีเหลืองเข้มไปจนถึงสีแสดจัด มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว จึงเป็นที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารเพื่อแต่งสี แต่งกลิ่นอาหารให้มีความน่าทาน เช่น แกงไตปลา แกงกะหรี่ เป็นต้น นอกจากนี้ก็มีการนำไปสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหย เครื่องประทินโฉม ยารักษาโรค และสีย้อมผ้า เป็นต้น ขมิ้นสามารถนำมาใช้เป็นสีย้อมผ้าจากธรรมชาติได้ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ผลิตและผู้บริโภค ขมิ้นเป็นแหล่งสีธรรมชาติให้ความปลอดภัยมากกว่าสีสังเคราะห์ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ผลิตและผู้บริโภค น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จากการสัมภาษณ์กลุ่มสตรีกลุ่มทอผ้าบ้านหาดเสี้ยว จังหวัดสุโขทัย ทำให้ผู้วิจัยได้รับทราบข้อมูลว่า สีที่ได้จากวัสดุธรรมชาติชนิดต่าง ๆ มีข้อเสียคือ ไม่ได้สีตามที่ต้องการ การย้อมแต่ละครั้งจะได้สีที่ไม่เหมือนเดิม ไม่ทนต่อการซักล้างและการสวมใส่ ซึ่งสีที่ย้อมได้จากวัสดุธรรมชาติยังมีไม่สีที่หลากหลายจึงทำให้กลุ่มสตรีกลุ่มทอผ้าบ้านหาดเสี้ยวหันมาใช้สีสังเคราะห์จากสารเคมีมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเพิ่มเฉดสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากขมิ้น เพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติจากขมิ้นโดยใช้การย้อมสีทับจากวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว เช่น ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง แล้วมาผสมสีเหลืองที่ได้จากขมิ้นโดยวิธีการย้อมสีทับเพื่อหาเฉดสีใหม่ ให้ได้สีย้อมจากธรรมชาติที่มีความหลากหลายเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นการสร้างมูลเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ผ้าทอ และพัฒนากระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมจากธรรมชาติสู่การนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อค่าสีและความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้าย

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสีการย้อมต้นแบบกับการย้อมในห้องปฏิบัติการ

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดระเบียบวิธีวิจัยตามวัตถุประสงค์ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้น ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้ (ชนาธินาถ ไชยภู, 2556)

1.1 การเตรียมน้ำย้อมสีขมิ้น

วัสดุให้สี ได้แก่ ขมิ้น 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร นำขมิ้นมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กและปั่นให้ละเอียดในน้ำ นำไปต้มให้เดือดเป็น เวลา 1 ชม. 30 นาที (คอยเติมน้ำให้อยู่ในระดับเท่าเดิมเสมอ) ตั้งทิ้งไว้จนสารเย็นลง แล้วกรองสารผสมด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอากากขมิ้นออกจะได้เป็นน้ำย้อมสีขมิ้น แล้วเก็บน้ำย้อมสีในขวดสีชาเพื่อไว้ใช้ต่อไปหรือใช้ในการย้อมสี

1.2 การเตรียมน้ำย้อมสีดอกอัญชัน

วัสดุให้สี ได้แก่ ดอกอัญชัน 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร แช่ดอกอัญชันในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปต้มให้เดือดเป็น เวลา 1 ชม. 30 นาที (คอยเติมน้ำให้อยู่ในระดับเท่าเดิมเสมอ) ตั้งทิ้งไว้จนสารเย็นลง แล้วกรองสารผสมด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาดอกอัญชันออกจะได้เป็นน้ำย้อมสีดอกอัญชัน แล้วเก็บน้ำย้อมสีในขวดสีชาเพื่อไว้ใช้ต่อไปหรือใช้ในการย้อมสี

1.3 การเตรียมน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบ

วัสดุให้สี ได้แก่ ดอกกระเจี๊ยบ 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร แช่ดอกกระเจี๊ยบในน้ำ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปต้มให้เดือดเป็น เวลา 1 ชม. 30 นาที (คอยเติมน้ำให้อยู่ในระดับเท่าเดิมเสมอ) ตั้งทิ้งไว้จนสารเย็นลง แล้วกรองสารผสมด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาเศษดอกกระเจี๊ยบออกจะได้เป็นน้ำย้อมสีดอก กระเจี๊ยบ แล้วเก็บน้ำย้อมสีในขวดสีชาเพื่อไว้ใช้ต่อไปหรือใช้ในการย้อมสี

1.4 การเตรียมน้ำย้อมไม้ฝาง

วัสดุให้สี ได้แก่ ไม้ฝาง หรือแก่นฝาง 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร แช่ไม้ฝางในน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง (คอยเติมน้ำให้อยู่ในระดับเท่าเดิมเสมอ) เมื่อครบ 4 ชั่วโมง นำเศษไม้ฝางออกแล้วตั้งทิ้งไว้จนสารผสมเย็นลง แล้วกรองสารผสมด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาเศษไม้ฝางออกจะได้เป็นน้ำย้อมสีไม้ฝาง แล้วเก็บน้ำย้อมในขวดสีชาเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อนำไปย้อมเส้นด้ายต่อได้เลย

1.5 การเตรียมเส้นด้ายฝ้าย

วัสดุที่ใช้ ได้แก่ เส้นด้ายฝ้ายเบอร์ 40/2 ที่ทำความสะอาดแล้ว และเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่กำหนด จากนั้นกรองใส่ในบีกเกอร์ แล้วใส่เส้นด้ายฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วลงในสารละลายที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 40 – 50 ℃ เป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับคนอย่างสม่ำเสมอ นำด้ายฝ้ายขึ้นแล้วบิดให้หมาด

1.6 การย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย

เป็นการย้อมเส้นด้ายฝ้ายด้วยน้ำย้อมสีจากขมิ้นกับพืช 3 ชนิด คือ ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง ย้อมด้วย 4 วิธี ดังนี้ (ตะวัน ตนยะแหละ และคณะ, 2560)

วิธีที่ 1 การทดลองเพื่อค้นหาวิธีย้อมสีขมิ้น เพื่อสร้างคู่สีที่มีเฉดสีเดียวกัน (Monotone) ตัวแปรที่ศึกษา คือ ตัวแปรต้น สีที่สกัดจากขมิ้น โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมขมิ้น 100 มิลลิกรัม ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง กระบวนการย้อมสีโดยเริ่มจาก

1) ปรับสภาพเส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%w/v ตามด้วยการย้อมน้ำย้อมสีจากขมิ้นพร้อมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ในอัตราส่วน 0.05% ใส่ในภาชนะปริมาณ 100 มิลลิลิตรต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ขณะย้อมสีนั้นต้องคนให้น้ำย้อมสีซึมเข้าเส้นด้ายฝ้ายอย่างสม่ำเสมอ ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง และนำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาด และบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

2) ปรับสภาพเส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%w/v ตามด้วยการย้อมน้ำย้อมสีจากขมิ้นพร้อมสารช่วยติดสี (สารส้ม) พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% ใส่ในภาชนะปริมาณ 100 มิลลิลิตรต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ขณะย้อมสีนั้นต้องคนให้น้ำย้อมสีซึมเข้าเส้นด้ายฝ้ายอย่างสม่ำเสมอ ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

วิธีที่ 2 การทดลองเพื่อค้นหาวิธีย้อมสีขมิ้น เพื่อสร้างคู่สีที่มีเฉดสีเดียวกัน (Monotone) โดยใช้เส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพเส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%w/v ทำการย้อมดังนี้

1) ไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ การทดลองเพื่อค้นหาเฉดสีใหม่ซึ่งนำสีธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว คือ การย้อมสีตั้งต้นจาก ขมิ้น คือ สีเหลืองส้มที่ได้จากการสกัดน้ำย้อมสีจากขมิ้น สีย้อมทับ คือ น้ำย้อมสีที่สกัดได้จาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมสีขมิ้น 100 มิลลิลิตร ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง และย้อมสีย้อมทับ สีที่สกัดจากดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมสี 100 มิลลิลิตรต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ผสมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ในอัตราส่วน 0.05% ที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

2) ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% การทดลองเพื่อค้นหาเฉดสีใหม่ ซึ่งนำสีธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว คือ การย้อมสีตั้งต้นจากขมิ้น โดยสีเหลืองส้มที่ได้จากการสกัดน้ำย้อมสีจากขมิ้น สีย้อมทับ คือน้ำย้อมสีที่สกัดได้จาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมสีขมิ้น 100 มิลลิลิตร ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง และย้อมสีย้อมทับสีที่สกัดจาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมสี 100 มิลลิลิตร ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ผสมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ในอัตราส่วน 0.05% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

วิธีที่ 3 การทดลองเพื่อค้นหาวิธีย้อมสีขมิ้น เพื่อสร้างคู่สีที่มีเฉดสีเดียวกัน (Monotone) โดยใช้เส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพเส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%w/v ทำการย้อมดังนี้

1) ไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ การทดลองเพื่อค้นหาเฉดสีใหม่ ซึ่งนำสีธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว คือ น้ำย้อมสีที่สกัดได้จาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง นำมาย้อมทับด้วยสีตั้งต้น คือ สีเหลืองส้มที่ได้จากน้ำย้อมสีจากขมิ้น โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมสีจาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง 100 มิลลิลิตร ย้อมพร้อมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ และย้อมสีขมิ้นทับสีที่สกัดจากดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อม 100 มิลลิกรัม ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ผสมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ในอัตราส่วน 0.05% ที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

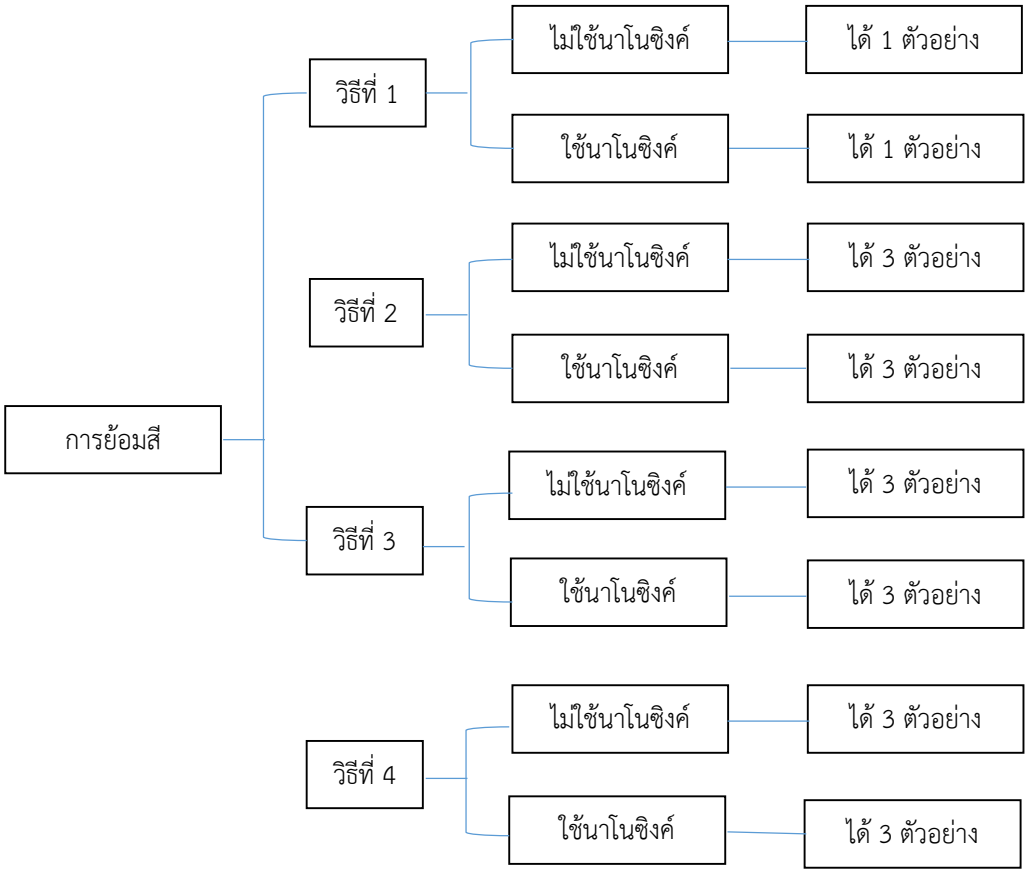
2) ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% การทดลองเพื่อค้นหาเฉดสีใหม่ซึ่งนำสีธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว คือ ย้อมน้ำย้อมสีที่สกัดได้จาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง มาย้อมทับด้วยสีตั้งต้น คือ สีเหลืองส้มที่ได้จากน้ำย้อมขมิ้น โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมสีจาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง 100 มิลลิลิตร ย้อมพร้อมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ และย้อมสีขมิ้นทับสีที่สกัดจากดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อม 100 มิลลิกรัม ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ผสมสารช่วยติดสี (สารส้ม) ในอัตราส่วน 0.05% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% ที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

วิธีที่ 4 การทดลองเพื่อค้นหาวิธีย้อมสีขมิ้น เพื่อสร้างคู่สีที่มีเฉดสีเดียวกัน (Monotone) โดยใช้เส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพเส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%w/v ทำการย้อมดังนี้

1) ไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ การทดลองเพื่อค้นหาเฉดสีใหม่ซึ่งนำสีธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว คือ ย้อมน้ำย้อมสีที่สกัดได้จากขมิ้น ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มาย้อมพร้อมกับสารช่วยติดสีระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อม 100 มิลลิกรัม ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

2) ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% การทดลองเพื่อค้นหาเฉดสีใหม่ซึ่งนำสีธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว คือ ย้อมน้ำย้อมสีที่สกัดได้จากขมิ้น ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 มาย้อมพร้อมกับสารช่วยติดสี (สารส้ม) พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 70-80 ℃ โดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อม 100 มิลลิกรัม ต่อเส้นด้ายฝ้าย 2 กรัม ระยะเวลาในการย้อม 1 ชั่วโมง หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วพึ่งไว้ให้แห้ง นำเส้นด้ายฝ้ายล้างด้วยน้ำสะอาดและบิดเส้นด้ายฝ้ายให้หมาดแล้วนำไปพึ่งลมให้แห้ง

จากวิธีการย้อมสีทั้ง 4 วิธี จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ตามสรุปในภาพที่ 1 แผนภาพการทดลองย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย



ภาพที่ 1 แผนภาพการทดลองย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย

2. การศึกษาผลของการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ

ทำการส่อง scan สีย้อมเส้นด้ายฝ้ายทั้งหมด วัดค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมสีไว้แล้ว ด้วยเครื่องวัดค่าสีใช้ mode RSEX แล้วสรุปค่าสีและการเปลี่ยนค่าสีของเส้นด้ายฝ้าย แล้วศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแต่ละค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายระหว่างค่าสีที่ย้อมขมิ้นครั้งที่ 1 กับค่าสีที่ย้อมโดยการย้อมทับ ดังนี้ (นุชนาถ มีพันธ์ และคณะ, 2559)

ΔL^* = L^* ที่ใช้ในการย้อมทับ – L^* ที่ไม่ใช้ในการย้อมทับ

Δa^* = a^* ที่ใช้ในการย้อมทับ – a^* ที่ไม่ใช้ในการย้อมทับ

Δb^* = b^* ที่ใช้ในการย้อมทับ – b^* ที่ไม่ใช้ในการย้อมทับ

3. ศึกษาความคงทนและการเปื้อนติดสีของสีย้อมเส้นด้ายฝ้าย โดยนำเส้นด้ายฝ้ายทั้ง 20 ตัวอย่าง มาทดสอบความคงทนเส้นด้ายฝ้าย ดังนี้ (ภัทรา ศรีสุโข, 2561)

3.1 ความคงทนต่อการซักฟอกที่อุณหภูมิ 40 °C โดยวิธี ISO–105–C0l: 1989

3.2 ความคงทนต่อแสง (แสงซีนอนอาร์ก) โดยวิธี ISO – 105 – B02: 1994

3.3 การเปื้อนติดสีต่อการซักที่อุณหภูมิ 40 °C โดยวิธี ISO–105–C0l: 1989 นำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคงทนและการเปื้อนติดสีของเส้นด้ายฝ้าย

4. การศึกษาเปรียบเทียบสีการย้อมต้นแบบกับการย้อมในห้องปฏิบัติการ

โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมสีที่ดีที่สุด 1 ตัวอย่าง จากห้องปฏิบัติการแล้วนำไปทำการย้อมสีในระดับต้นแบบ และนำเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมสีในระดับต้นแบบมาทำการเปรียบเทียบค่าสีของเส้นด้ายที่ย้อมจากห้องปฏิบัติการ โดยทำการส่อง Scan สีย้อมเส้นด้ายฝ้ายและวัดหาค่าเฉดสีในระบบ CIELAB

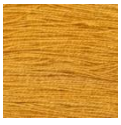
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. กระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้น โดยทำการย้อมเส้นด้ายฝ้ายด้วยน้ำย้อมสีจากขมิ้นร่วมกับพืช 3 ชนิด คือ ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง โดยใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี ซึ่งมีกระบวนการย้อมเส้นด้ายฝ้าย 4 วิธี โดยใช้เส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2%w/v จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สีของเส้นด้ายฝ้ายจากกระบวนการย้อมสีจากขมิ้น

หมายเลข	กระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	สีย้อมเส้นด้ายฝ้าย
1	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
2	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
3	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
4	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
5	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
6	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	

ตารางที่ 1 สีของเส้นด้ายฝ้ายจากกระบวนการย้อมสีจากขมิ้น (ต่อ)

หมายเลข	กระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	สีย้อมเส้นด้ายฝ้าย
7	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝาง พร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
8	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝาง พร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
9	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
10	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
11	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
12	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
13	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
14	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
15	น้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้น พร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
16	น้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้น พร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	

ตารางที่ 1 สีของเส้นด้ายฝ้ายจากกระบวนการย้อมสีจากขมิ้น (ต่อ)

หมายเลข	กระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	สีย้อมเส้นด้ายฝ้าย
17	น้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
18	น้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	
19	น้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	
20	น้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	

จากกระบวนการย้อมเส้นด้ายฝ้าย 4 วิธี ได้ตัวอย่างเส้นด้ายฝ้าย 20 ตัวอย่าง แล้วนำเส้นด้ายทั้งหมดไปวัดหาค่าเฉดสีในระบบ CIELAB พบว่า กระบวนการย้อมสีที่ดีที่สุด คือ วิธีที่ 4 (2) น้ำย้อมสีที่สกัดได้จากขมิ้น ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง มาย้อมพร้อมกับสารช่วยติดสีพร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 % จะทำให้สีเส้นด้ายฝ้ายที่มีความสว่างมากที่สุด และวิธีที่ 3 น้ำย้อมสีที่สกัดได้จาก ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง นำมาย้อมทับด้วยสีเหลืองส้มจากน้ำย้อมขมิ้น จะทำให้สีเส้นด้ายฝ้ายมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมากที่สุด

2. การศึกษาค่าสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ใช้สีย้อมทับจากวัสดุธรรมชาติ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และไม้ฝาง แล้วนำมาวัดค่าสีในระบบ CIELAB ของเส้นด้ายฝ้ายจากการย้อมสีด้วยน้ำย้อมสีจากขมิ้นใช้โหมด Color plot D65/10° มีผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสีในระบบ CIELAB ของเส้นด้ายฝ้าย

หมายเลข	กระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	การวัดค่าสี				
		ค่าสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	67.49	67.4	67.51	67.47
		a*	12.42	12.44	12.34	12.40
		b*	48.81	48.46	49.21	48.83
2	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	62.26	62.31	62.29	62.29
		a*	14.67	14.84	14.6	14.70
		b*	47.48	47.36	46.9	47.25

ตารางที่ 2 ค่าสีในระบบ CIELAB ของเส้นด้ายฝ้าย (ต่อ)

หมายเลข	กระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	การวัดค่าสี				
		ค่าสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
3	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	50.21	50.96	49.97	50.38
		a*	1.98	2.49	2.37	2.28
		b*	40.92	39.92	40.14	40.33
4	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกอัญชัน พร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	53.54	53.59	53.67	53.60
		a*	0.80	0.99	0.71	0.83
		b*	41.16	40.33	41.23	40.91
5	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	61.40	61.34	61.30	61.35
		a*	12.88	12.87	12.93	12.89
		b*	66.17	65.35	65.56	65.69
6	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	60.17	60.22	60.24	60.21
		a*	13.52	13.7	13.62	13.61
		b*	64.99	64.96	64.90	64.95
7	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	45.66	45.71	45.83	45.73
		a*	22.93	22.74	22.71	22.79
		b*	33.51	33.19	33.57	33.42
8	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	48.22	48.18	48.17	48.19
		a*	18.67	18.98	19.6	19.08
		b*	29.87	29.66	30.12	29.88
9	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	55.57	55.07	55.37	55.34
		a*	1.67	1.77	1.71	1.72
		b*	35.92	35.87	35.67	35.82
10	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	55.97	56.07	56.07	56.04
		a*	0.97	0.77	0.71	0.82
		b*	35.90	35.77	35.47	35.71
11	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	67.61	67.67	67.52	67.60
		a*	11.04	10.98	10.96	10.99
		b*	71.65	72.1	72.08	71.94
12	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	67.59	67.64	67.69	67.64
		a*	11.14	10.91	11.24	11.10
		b*	70.37	71.03	71.27	70.89

ตารางที่ 2 ค่าสีในระบบ CIELAB ของเส้นด้ายฝ้าย (ต่อ)

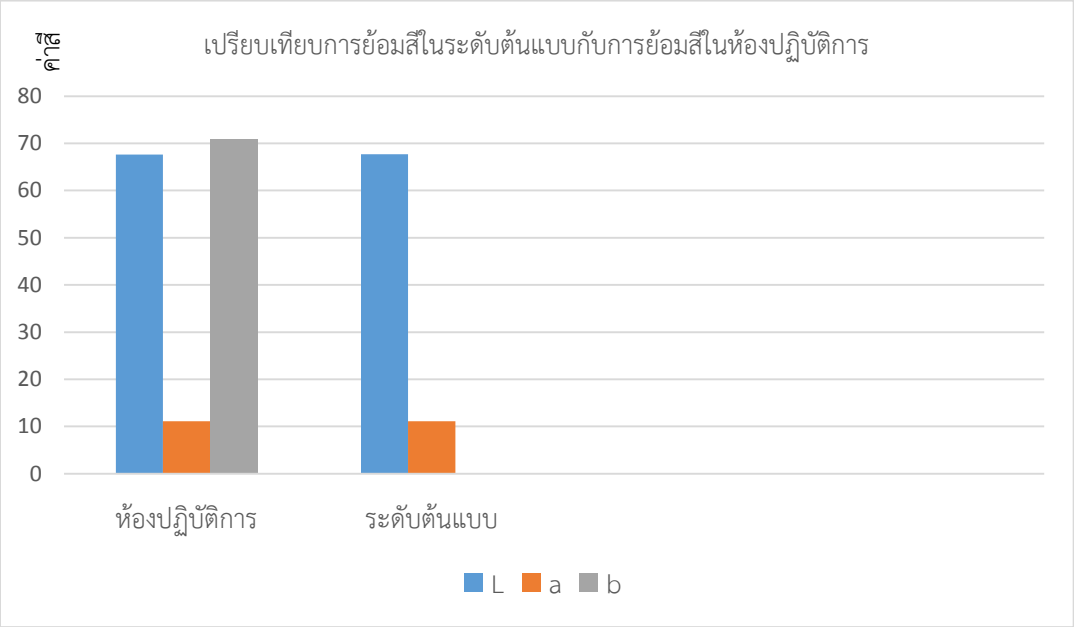
หมายเลข	กระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	การวัดค่าสี				
		ค่าสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
13	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	58.63	58.68	58.53	58.61
		a*	14.92	15.06	15.28	15.09
		b*	36.24	35.76	35.23	35.74
14	น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	58.77	58.7	58.74	58.74
		a*	14.96	14.77	15.04	14.92
		b*	34.76	35.26	34.74	34.92
15	น้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	64.39	64.44	64.6	64.48
		a*	4.24	4.61	4.42	4.42
		b*	51.73	51.54	51.02	51.43
16	น้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	61.32	61.02	61.56	61.30
		a*	6.30	6.28	6.25	6.28
		b*	48.15	47.39	48.24	47.93
17	น้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	65.19	65.19	65.07	65.15
		a*	12.21	12.43	12.56	12.40
		b*	73.29	72.25	71.92	72.49
18	น้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	63.11	63.18	63.12	63.14
		a*	12.95	13.03	13.13	13.04
		b*	69.55	70.02	68.97	69.51
19	น้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05%	L*	57.09	57.39	57.42	57.30
		a*	16.11	16.00	15.92	16.01
		b*	43.97	44.21	44.16	44.11
20	น้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%	L*	58.09	58.06	58.18	58.11
		a*	14.89	15.11	15.18	15.06
		b*	38.50	37.83	38.98	38.44

จากการศึกษาค่าสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ได้มีความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 45.73 – 67.64 ซึ่งตัวอย่างที่มีความสว่างมากที่สุด คือ ตัวอย่างหมายเลข 12 เกิดจากกรรมวิธีการย้อมด้วย Ca 2% น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05 % พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05 % ตัวอย่างที่มีความสว่างน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างหมายเลข 7 เกิดจากกรรมวิธีการย้อมด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตัวอย่างที่มีค่าสีแดงน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างหมายเลข 10 เกิดจากกรรมวิธีการย้อมด้วย Ca 2% น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วย น้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05 % พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05% ส่วนค่าสีแดง – เขียว (a*) อยู่ระหว่าง 22.79 – 0.82 เป็นช่วงสีแดง ตัวอย่างที่มีสีแดงมากที่สุดคือ ตัวอย่างหมายเลข 7 เกิดจากกรรมวิธี

การย้อมด้วยน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วย สารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝางพร้อมด้วย สารส้ม 0.05% ตัวอย่างที่มีค่าสีแดงน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างหมายเลข 10 เกิดจากกรรมวิธีการย้อมด้วย Ca 2% น้ำย้อมขมิ้น พร้อมด้วยน้ำย้อมดอกอัญชันพร้อมด้วยสารส้ม 0.05 % พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05% ส่วนค่าสีเหลือง – น้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง 29.88 – 72.49 เป็นช่วงสีเหลือง ตัวอย่างมีสีเหลืองมากที่สุด คือ ตัวอย่างหมายเลข 17 เกิดจากกรรมวิธีการย้อม Ca 2% น้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบ พร้อมด้วย สารส้ม 0.05% ตามด้วย น้ำย้อมขมิ้น พร้อมด้วยสารส้ม 0.05% และ ตัวอย่างที่มีค่าสีเหลืองน้อยที่สุดคือ ตัวอย่างหมายเลข 8 เกิดจากกรรมวิธีการย้อมด้วย Ca 2% น้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% ตามด้วยน้ำย้อมไม้ฝาง พร้อมด้วยสารส้ม 0.05% พร้อมด้วยนาโนซิงค์ 0.05%

3. การศึกษาความคงทนของสีต่อการซักโดยวิธี ISO 105 – C01 : 1989 และต่อแสง (แสงซีนอนอาร์ก) โดยวิธี ISO 105 – B02 : 1994 โดยการรวบรวมตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายทั้ง 20 ตัวอย่าง แล้วนำมาทดสอบความคงทนเส้นด้ายฝ้ายต่อการซักฟอกที่อุณหภูมิ 40 °C ทดสอบความคงทนต่อแสง (แสงซีนอนอาร์ก) และการเปื้อนติดสีต่อการซักที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่า ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่มีความคงทนของสีต่อแสงและการซักดีที่สุด คือ เส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมจากน้ำย้อมขมิ้นพร้อมด้วยน้ำย้อมดอกกระเจี๊ยบพร้อมด้วยสารส้ม 0.05% และพร้อมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05% มีค่าความคงทนของสีต่อแสงและการซักอยู่ในระดับดี (4) เส้นด้ายฝ้ายจะมีการเปื้อนติดสีดีจะมีสีเปื้อนติดเส้นด้ายฝ้ายค่อนข้างมาก (2) และการติดเซลลูโลสอาซิเตตอยู่ในระดับดีมาก (5)

4. การศึกษาเปรียบเทียบการย้อมสีในระดับต้นแบบกับการย้อมสีในห้องปฏิบัติการ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบการย้อมสีในระดับต้นแบบกับการย้อมสีในห้องปฏิบัติการ

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า แท่งกราฟของ ค่า L a* และ b* ในห้องปฏิบัติการกับระดับต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า ค่าสีที่ได้จากการย้อมในระดับต้นแบบไม่แตกต่างจากการย้อมสีในห้องปฏิบัติการ

สรุป

จากการศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเพิ่มเฉดสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากขมิ้น สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. กระบวนการเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติบนเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นที่ดีที่สุด คือ วิธีที่ 3 ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้สีเส้นด้ายฝ้ายที่มีค่าสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด

2. ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมสีจากขมิ้นร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากขมิ้น สีเส้นด้ายฝ้ายที่ได้มีความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 45.73 – 67.64 ซึ่งตัวอย่างที่มีความสว่างมากที่สุด ค่าสีแดง – เขียว (a*) อยู่ระหว่าง 22.79 – 0.82 เป็นช่วงสีแดง และค่าสีเหลือง – น้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง 29.88 – 72.49 เป็นช่วงสีเหลือง

3. ศึกษาความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้าย หาความคงทนของสีต่อการซักโดยวิธี ISO 105 – C01 : 1989 และต่อแสง (แสงซีนอนอาร์ก) โดยวิธี ISO 105 – B02 : 1994 สีของเส้นด้ายฝ้ายมีความคงทนการซักส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี การเปื้อนติดสีดี สีเปื้อนติดเส้นด้ายฝ้ายค่อนข้างมาก ติดเซลลูโลสอาซิเตตดี และมีความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับพอใช้ค่อนข้างดี

4. การย้อมสีในระดับต้นแบบเปรียบเทียบกับการย้อมสีในห้องปฏิบัติการมีค่าสีใกล้เคียงกันจึงไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ขมิ้นสามารถนำมาเพิ่มจำนวนเฉดสีย้อมธรรมชาติได้ โดยการใช้สีย้อมทับจากวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นจะทำให้ได้เฉดสีที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้ย้อมเส้นด้ายฝ้ายในระดับครัวเรือน และสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ การเพิ่มเฉดสีเส้นด้ายฝ้ายจากขมิ้นควรย้อมทับจากวัสดุธรรมชาติร่วมกับสารส้ม จะทำให้เส้นด้ายฝ้ายมีความคงทนของสีดีที่สุด

การศึกษาครั้งต่อไป

1. การศึกษาการย้อมสีจากสีย้อมธรรมชาติ น่าจะใช้วิธีการวิจัยแบบมีส่วนร่วมเพื่อให้กลุ่มทอผ้ามีส่วนในการทำการศึกษา จนสามารถพึ่งตนเองได้

2. การศึกษาวิธีการเก็บรักษาสีที่ได้จากขมิ้น

3. การศึกษาสีจากพืชธรรมชาติในท้องถิ่นจากพืชชนิดอื่นๆ ที่นำมาใช้ทดแทนสีที่ได้จากสารเคมี

4. ควรศึกษาวิธีการเก็บรักษาสีน้ำย้อมจากธรรมชาติให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกต่อการใช้งาน เพื่อพัฒนาสู่การนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). **การย้อมสิ่งทอด้วยสีธรรมชาติ**. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: กรุงเทพฯ.

ชนาธินาถ ไชยภู. (2556). **การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าผ้ายมัดย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกสะตอ กรณีศึกษากลุ่มมัดย้อมสีธรรมชาติบ้านคีรีวง อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ตะวัน ตนยะแหละ รวิเทพ มุสิกะปาน และสิริมา สัตยาธาร. (2560). **การสร้างสรรค์สีย้อมธรรมชาติและลายผ้าเพื่อพัฒนาผ้าบาติกสู่ชุมชน.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

นุชนาถ มีพันธ์ ศศิประภา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต และศรันยา เผือกผ่อง. (2559). **การย้อมผ้าไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติจากเหง้ากระชายดำ.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรา ศรีสุโข. (2561). **การพัฒนาภูมิปัญญาการย้อมสีธรรมชาติจากพันธุ์พืชในท้องถิ่นสู่เครื่องประดับ ตำบลบ่อ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี.** จันทบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

ภาคผนวก

VRURDI–JO-04

ใบเสร็จรับเงินเลขที่ .....

ทะเบียนเลขที่ .....

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 ..... มือถือ .....
   E-mail .....
6. มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง
   ชื่อบทความ(ภาษาไทย) .....
   .....
   ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ) .....
   .....

เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร วิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ยังไม่เคยนำลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับใดๆ มาก่อน ทั้งนี้ ข้าพเจ้าได้ศึกษากฎเกณฑ์และคำแนะนำในการส่งบทความวิจัยเพื่อนำลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แล้ว และยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขทุกประการ พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาทเรียบร้อยแล้ว

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

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

ระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

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

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร

1. เป็นบทความวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
2. บทความวิจัยที่ส่งมาพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารต้องเป็นบทความวิจัยที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อนและไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกเลียนหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้ส่งบทความวิจัยต้องชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาท โดยสามารถโอนเงินผ่านบัญชี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนวนคร ชื่อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3 พร้อมส่งสำเนาหลักฐานการชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารฯ ได้ 3 ช่องทาง ดังนี้
   - 4.1 ไปรษณีย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 1 หมู่ที่ 20 กม.48 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180 โดยวงเล็บมุมซองว่า (ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์)
   - 4.2 โทรสาร 0 2909 3036
   - 4.3 E-mail address: rdi_journalsci@vru.ac.th
     หรือเว็บไซต์ https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index
5. ผู้เขียนบทความวิจัยต้องดำเนินการปรับแก้ไขบทความตามผลการอ่านประเมินของกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อย่างต่อเนื่องตลอดการตีพิมพ์ หากผู้เขียนบทความวิจัยซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าผู้นิพนธ์บทความไม่ปฏิบัติตามระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัยวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ กองบรรณาธิการมีสิทธิ์แจ้งยกเลิกการพิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยโดยไม่คืนเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
6. บทความวิจัยที่ส่งมาจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการประเมินเห็นสมควรให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แต่งตั้งขึ้น อย่างน้อย 2 ท่าน

คำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. **การเตรียมต้นฉบับ** ต้นฉบับบทความวิจัยต้องจัดทำสำหรับกระดาษขนาด B5(JIS) (18.2 ซม. X 25.7 ซม.) ความยาว 15 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word เวอร์ชัน 2007 ขึ้นไป
2. **การตั้งค่าหน้ากระดาษ** ระยะขอบกระดาษด้านบน (Top Margin) 2.54 เซนติเมตร ด้านซ้าย (Left Margin) ด้านขวา (Right Margin) และด้านล่าง (Bottom Margin) 2 เซนติเมตร
3. **รูปแบบตัวอักษร** ใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น ชื่อหัวข้อพิมพ์เป็นตัวหน้า 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 ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุคำนำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์บทความและใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้บนเลขยกเพื่อแสดงว่าเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความและอีเมลผู้นิพนธ์หลักในเชิงอรรถ

4.3 ที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความ ใส่รายละเอียดในเชิงอรรถข้อความที่เขียนไว้ส่วนล่างของหน้ากระดาษและมีเส้นคั่นระหว่างเชิงอรรถกับตัวบทคัดย่อ (Abstract) อย่างชัดเจน โดยขีดเส้นคั่นจากริมกระดาษด้านซ้าย ไปทางด้านขวาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 7 ตัวอักษร ใส่ตัวเลขกำกับไว้เหนือตัวอักษรตัวแรกเล็กน้อย ตัวเลขต้องตรงกับตัวเลขที่กำกับไว้กับชื่อผู้นิพนธ์บทความ ให้ระบุตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมล์แอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกท่าน เช่น นักศึกษาระดับ.... สาขา.... คณะ ..... มหาวิทยาลัย.... อีเมล์.... หรือ อาจารย์.... สาขา..... คณะ..... มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่... อีเมล์... 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 ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายใต้รูป จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้

4.6.5 สรุป เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยและควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

4.6.6 ข้อเสนอแนะ ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

4.6.7 กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ

4.6.8 เอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

4.7 การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างในระบบ APA (American Psychological Association)

4.7.1 ชื่อวารสาร ชื่อหนังสือ และปีที่ (Volume) ไม่ใช้ชื่อย่อ

4.7.2 ชื่อภาษาอังกฤษ เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วย Last name ตามด้วยจุลภาค (,) และชื่อย่อตามด้วยมหัพภาค (.)

4.7.3 ชื่อไทย เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วยชื่อตัว ตามด้วยนามสกุล

4.7.4 กรณีผู้แต่งมากกว่าหนึ่งคน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้งหมดทุกคน คั่นระหว่างชื่อด้วยจุลภาค (,) และมีคำว่า “and” หรือ “&” ในกรณีชื่อภาษาอังกฤษ หรือ “และ” ในกรณีชื่อภาษาไทยก่อนชื่อสุดท้าย

4.7.5 ถ้าไม่มีชื่อผู้แต่ง ให้ขึ้นต้นด้วยชื่อเรื่อง หรือชื่อวารสาร หรือชื่อหนังสือ ตามด้วยปีที่พิมพ์

4.7.6 ถ้าผู้แต่งเป็นหน่วยงาน หรือองค์กร ให้ใช้ชื่อหน่วยงานหรือองค์กรแทนชื่อผู้แต่ง

4.7.7 เรียงลำดับรายการตามตัวอักษรชื่อผู้แต่ง รายการที่มีทั้งเอกสารภาษาไทยและอังกฤษ ให้นำข้อมูลภาษาไทยขึ้นก่อน
ตามด้วยข้อมูลภาษาอังกฤษ พิมพ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างบรรทัด อย่างน้อย (At least) 12 Point

4.7.8 บรรทัดที่สองและบรรทัดต่อๆ ไปของแต่ละรายการให้ย่อหน้าเข้ามา 7 ตัวอักษร หรือ 1.25 เซ็นติเมตร

4.7.9 การอ้าง – อ้างโดย(ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)

4.7.10 ไม่อ้างโดยใช้คำว่า “และคณะ” หรือ “และคนอื่นๆ” หรือ et al. ยกเว้นกรณีอ้างในเนื้อเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่สามคนขึ้นไปและหลังจากได้มีการอ้างครั้งแรกไว้ก่อนหน้านั้นแล้ว หรือการอ้างที่มีผู้แต่งตั้งแต่หกคนขึ้นไป

4.7.11 การอ้างจากวารสารและนิตยสารให้ระบุหน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย โดยไม่ใช้คำย่อ “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 วรรค

4.7.16 หลัง จุลภาค “,” (comma) เว้น 1 วรรค

4.7.17 หลัง อัฒภาค “;” (semicolon) เว้น 1 วรรค

4.7.18 หลัง ทวิภาค “:” (colons) เว้น 1 วรรค

4.7.19 รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงจากสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ

1. หนังสือหรือตำรา

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//**ชื่อหนังสือ.**/ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี). //เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.

ตัวอย่างเช่น ไพรัช ธัชยพงษ์, 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 อดุลย์ วิริยเวชกุล, (บก.). (2541). **คู่มือจัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา**. นครปฐม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

Gibbs, J. T., & Huang, L. N. (Eds.). (1991). **Children of color: Psychological interventions with minority youth**. San Francisco: Jossey-Bass.

3. วิทยานิพนธ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//(ปีที่พิมพ์).//**ชื่อวิทยานิพนธ์**.//ระดับวิทยานิพนธ์,/มหาวิทยาลัย.

ตัวอย่างเช่น พรพิมล เฉลิมพลานุภาพ. (2535). **พฤติพรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ วารสารศาสตรมหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Almeida, D.M. (1990). **Fathers' participation in family work: Consequences for fathers' stress and father-child relations**. Unpublished master's thesis, University of Victoria, Victoria British Columbia, Canada.

4. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//**ชื่อเรื่อง**.//ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม,/วัน เดือน ปี สถานที่จัด. เมืองที่พิมพ์:/สานักพิมพ์.

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: นานมีบุ๊คพับลิ เคชัน.

Shorter Oxford English dictionary (5 th ed.). (2002). New York: Oxford University Press.

6. วารสาร/นิตยสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//(ปีที่พิมพ์).//ชื่อเรื่อง.//**ชื่อวารสารหรือนิตยสาร**,/ปีที่ (ฉบับที่),/หน้าแรก–หน้าสุดท้าย.

ตัวอย่างเช่น ชำนิ กิ่งแก้ว, และอุษา คะเณ. (2551). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์, **วารสารเทคโนโลยีภาคใต้**, 1 (2), 27-35.

Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. **Consulting Psychology Journal: Practice and Research**, 45(2), 10-36.

7. บทความจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.//(ปีที่พิมพ์, เดือน, วันที่).//ชื่อเรื่อง.//**ชื่อหนังสือพิมพ์**,/หน้าที่นามาอ้าง.

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.//(ปีที่พิมพ์).//**ชื่อเรื่อง**.//สืบค้นจาก//URL

Author, A. A. (Year). **Title of post**. Retrieved from URL

ตัวอย่างเช่น สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ กระทรวงวัฒนธรรม. (2545). **ประเพณีใส่กระจาดชาวไทยพวนสอนให้รู้จักแบ่งปัน มีน้ำใจ**. สืบค้นจาก http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight_id=114&lang=th

Lynch, T. (1996). **DS9 trials and tribble-ations review**. Retrieved from http://www.bradley.edu/psiphi/ DS9/ep/503r.html

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

6. **การประเมินบทความวิจัย และลิขสิทธิ์ในการตีพิมพ์เผยแพร่**

6.1 การอ่านประเมินต้นฉบับ บทความวิจัยต้นฉบับที่ส่งเข้ามาเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะได้รับการอ่านประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ อย่างน้อยจำนวน 2 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้นิพนธ์บทความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้นิพนธ์บทความจะได้รับหนังสือแจ้งพิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

6.2 ลิขสิทธิ์บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร

6.3 ความรับผิดชอบ เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์บทความหรือผู้เขียนเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

รูปแบบบทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2.54 ซม.

ย่อหน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร

ชื่อเรื่องภาษาไทย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)

(เว้น 14 point)

ชื่อผู้นิพนธ์ภาษาไทย[1*]//ชื่อผู้นิพนธ์ภาษาไทย[2]//ชื่อผู้นิพนธ์ภาษาไทย[3]// (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)

(เว้น 14 point)

บทคัดย่อ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

บทคัดย่อควรจะสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยมีเนื้อหาครอบคลุมถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ผลวิจัยและสรุปผลของการวิจัย กำหนดให้มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ เพื่อให้บทความของท่านได้รับการจัดพิมพ์อย่างถูกต้อง ครบถ้วน ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

หมายเหตุ เครื่องหมาย / หมายถึง การเว้นวรรค 1 วรรค

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2 ซม. ..... 2 ซม.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เชิงอรรถ สำหรับระบุสถานะและที่อยู่ของผู้นิพนธ์บทความ

..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

คำสำคัญ: .... (3 -5 คำ) (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

(เว้น 14 point)

---

[1](ระบุสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้นิพนธ์บทความที่ 1 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย) ตัวอย่างเช่น
นักศึกษาหลักสูตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
อีเมล: rdi_journalsci@vru.ac.th

[2](ระบุสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้นิพนธ์บทความที่ 2 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย)

[3](ระบุสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้นิพนธ์บทความที่ 3 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย)

[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล:

2 ซม.

2.54 ซม.

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)

(เว้น 14 point)

ชื่อผู้นิพนธ์ภาษาอังกฤษ[1*]//ชื่อผู้นิพนธ์ภาษาอังกฤษ[2]//ชื่อผู้นิพนธ์ภาษาอังกฤษ[3]// (ตัวหนาขนาด 12 point จัดกึ่งกลาง)

(เว้น 14 point)

Abstact (ตัวหนาขนาด 14 point ชิดซ้าย)

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

ย่อหน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร

2 ซม. 2 ซม.

..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

เชิงอรรถ สำหรับระบุสถานะและที่อยู่ของผู้นิพนธ์บทความ

(เว้น 14 point)

Keyword: ....., ..., ..., ..., ... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

(เว้น 14 point)

---

[1]Position, Office address, Email address: author 1

[2]Position, Office address, Email address: author 2

[3]Position, Office address, Email address: author 3

[*]Corresponding author, e-mail:

2 ซม.

2.54 ซม.

บทนำ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

วิธีดำเนินการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายใต้รูป กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

2 ซม. 2 ซม.

สรุป (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

ข้อเสนอแนะ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

กิตติกรรมประกาศ(ถ้ามี) (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

เอกสารอ้างอิง (ตัวหนาขนาด 14 point ชิดซ้าย)

การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

2 ซม.

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

[ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย][1*] [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย][2] [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย][3]

บทคัดย่อ

บทคัดย่อ ควรจะสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยใช้สำนวนให้กระชับ 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 ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุคำนำหน้าชื่อ 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 อีมล : .....

[3] เจ้าหน้าที่การเงิน บริษัท ธุรกิจการพิมพ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี อีเมล : .....

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : .....*

[RESEARCH TITLE (TH SARABUNPSK, 14 POINT, BOLD, CENTER)]

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

Abstract

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

Keywords: Keyword, Keyword, Keyword

[1] *Doctor of Education Program in Educational Admimistration, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail : .....*

[2] *Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail : .....*

[3] *Finance Officer, Business Printing Company Limited, Nonthaburi, e-mail: kr_printting@hotmail.com*

** Corresponding author, e-mail : .....*

บทนำ

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

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

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

วิธีดำเนินการวิจัย

[วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

[ผลการวิจัยและอภิปรายผล ควรเสนอผลที่ชัดเจน ตรงประเด็น เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย] ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและด้านขวา 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(ระบุในเชิงอรรถ)	TH SarabunPSK, 12	เอียง, ปกติ
บทคัดย่อ / Abstract	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
คำสำคัญ / Keywords	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
หัวข้อหลัก	TH SarabunPSK, 14	หนา
หัวข้อรอง	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เนื้อความทั่วไป	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร (ต่อ)

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

สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจน มีขนาดของรูปภาพที่เหมาะสมและมีคำบรรยายใต้รูปภาพ

รูปภาพ

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

สรุป

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

ข้อเสนอแนะ

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

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

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

ขั้นตอนการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์