



# วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 Vol. 16 No. 2 July - December 2023



## จริยธรรม/จรรยาบรรณวารสาร

### ผู้แต่ง (Authors)

1. ผู้แต่งต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยนำเสนอในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) หรือได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน รวมทั้งการไม่อยู่ระหว่างการส่งหรือรอเพื่อการตีพิมพ์บทความ
2. ผู้แต่งต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร ตามคำแนะนำของรายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ มิฉะนั้นทางบรรณาธิการวารสารจะไม่รับพิจารณาบทความนั้น ๆ
3. บทความต้องนำเสนอรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้แต่งต้องไม่นำผลงานของผู้อื่นมาอ้างเป็นผลงานของตัวเอง โดยบทความต้องมีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง หากมีการนำผลงานผู้อื่นมาอ้างอิง และจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงของผู้นั้นในรายการอ้างอิงท้ายบทความด้วย
5. ผู้แต่งที่มีชื่อปรากฏในบทความ จะต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง และผู้แต่งจะต้องระบุการไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน (กรณีที่เกี่ยวข้องกับการส่งบทความ)
6. ผู้แต่งต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยในกิตติกรรมประกาศ

### บรรณาธิการวารสาร (Editors)

1. มีหน้าที่พิจารณารูปแบบความครบถ้วนและคุณภาพของบทความ ก่อนเริ่มกระบวนการประเมินเพื่อตีพิมพ์ เผยแพร่ในวารสารที่รับผิดชอบ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความและการตีพิมพ์วารสารฉบับนั้น ๆ
2. เป็นผู้ประเมินเบื้องต้นในการตัดสินใจคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการประเมินบทความ และตัดสินใจรับตีพิมพ์โดยพิจารณาจากผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้บรรณาธิการวารสารจะต้องคำนึงถึงความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหา กับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
3. บรรณาธิการวารสารจะไม่รับตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่จากที่อื่นมาแล้ว ทั้งในรูปแบบของวารสารหรือบทความหลังการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการฉบับเต็ม (Proceedings) และต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่ยอมรับในทางวิชาการ และกรณีตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการวารสารต้องติดต่อผู้นิพนธ์หลักเพื่อขอคำชี้แจง และหากไม่มีข้อชี้แจงตามหลักวิชาการ บรรณาธิการจะ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเพียงด้วยข้อสงสัยความไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
5. บรรณาธิการวารสารจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใด ๆ กับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และทีมผู้บริหาร

### ผู้ประเมินบทความ (Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์ เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่จะทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ ซึ่งหากมีกรณีดังกล่าวผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลใด ๆ ของบทความและผู้นิพนธ์แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความ ควรมีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาของบทความที่ประเมิน โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ และการประเมินบทความโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน ความสอดคล้องของเนื้อหา และความเข้มข้นของบทความ ไม่ใช่ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจบทความ
3. ผู้ประเมินบทความสามารถเสนอแนะผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความได้ นอกจากนี้ หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือความซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ โดยมีหลักฐานชัดเจน ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ





**วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

**Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal**

**ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 Vol.16 No.2 July - December 2023**

**Institute of Research and Development**

**Rajamangala University of Technology Tawan-ok**

**ISSN 1906-1889**

# วารสารวิจัย

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



### วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวมเผยแพร่งานวิจัยด้าน (1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

### ผู้จัดพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

### กำหนดการเผยแพร่

ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็บไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

### การเผยแพร่

มอบให้หน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ThaiJO

### สำนักงาน

สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5

เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510

โทรสาร 0-3835-8142

E-mail : journal2rmutto@gmail.com



### ชลกิจการพิมพ์

47 ถ.ศรีราชนคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com



# วารสารวิจัย

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

Vol. 16 No. 2 July - December 2023

ISSN 1906-1889



### เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

### ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ฤกษ์ชัย พุประทีปศิริ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

### กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์

ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

ศ.ดร.สุวัจน์ ธีรสร

ศ.ดร.สนั่น จอกลอย

รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

ม.เกษตรศาสตร์

สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์

ม.สงขลานครินทร์

ม.ขอนแก่น

มทร.ศรีวิชัย

ม.ขอนแก่น

ม.สงขลานครินทร์

มจพ.

ม.สุโขทัยธรรมาธิราช

ม.เชียงใหม่

ม.ราชภัฏลำปาง

มทร.ธัญบุรี

ม.บูรพา

### บรรณาธิการ

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

### ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา

### คณะผู้จัดทำวารสาร

ผศ.ดร.ดวงสิริ สยมภาค

ผศ.ดร.นัจฉก สุธาสวัสดิ์

ผศ.ดร.สมทบ สันติเบญจกุล

อาจารย์ทรงวุฒิ บุญส่ง

นางสาวอชิษฐา บุญเสริม

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้  
เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่  
แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์  
การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

# บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 เป็นฉบับปลายปีส่งท้ายปี 2566 ที่มีสภาพอากาศหนาวเย็นมาเยือนเยือกเย็นกันบ้าง แม้ว่าจะปีเก่ากำลังจะหมดไป แต่งานวิจัยก็ยังคงต้องเดินหน้าต่อไป ดังนั้นวารสารวิจัยฯ ฉบับนี้จึงมีบทความวิจัยที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งในทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร วิทยาศาสตร์ และภูมิสถาปัตยกรรม เป็นต้น ตัวอย่างเช่นเรื่อง การทำนายค่า CBR ของดินโดยการโปรแกรมหลายนิพจน์ การออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์คอมโพสิตเพื่อการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลม เป็นต้น โดยทุกเรื่องได้ผ่านการตรวจพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรงกับสาขาวิชาของบทความวิจัยจำนวน 3 ท่าน ทางวารสารฯ จึงขอเชิญชวนคณาจารย์และนักวิจัยตลอดจนนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่สนใจได้ส่งบทความวิจัยมาลงตีพิมพ์เผยแพร่ โดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์แต่อย่างใด

ในศุภวารดิถีขึ้นปีใหม่ พุทธศักราช 2567 นี้ ทางกองบรรณาธิการและทีมงานของวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ขอกราบอาราธนาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก ได้โปรดอำนวยการให้ทุกท่านได้ประสบแต่ความสุข ความเจริญ สุขภาพแข็งแรง มีความเจริญก้าวหน้าในหน้าที่การงาน และมีความสุขในชีวิตครอบครัวตลอดไป สวัสดีครับ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



## สารบัญ

หน้า

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| การทํานายค่า CBR ของดินโดยการโปรแกรมหลายนิพจน์.....                                                                    | 1  |
| <b>ณรงค์เดช อินทรรัตน์ชัยกิจ</b>                                                                                       |    |
| สมการพยากรณ์ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ: กรณีศึกษาจังหวัดจันทบุรี.....                              | 14 |
| <b>เกศสุตา ขาวสร้อย วิรัตน์ ขาวสร้อย</b>                                                                               |    |
| การออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า.....                                            | 24 |
| <b>สุกัญญา ทองโยธี วิริยะ แดงทน วิรุทธ จีเพเซอร์ อารยันต์ วงษ์นิยม<br/>ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ และ ขวัญนันท ทองโยธี</b>    |    |
| การพัฒนาและทดสอบวัสดุปลูกกล้วยไม้จากทะเลสาบปาล์ม.....                                                                  | 35 |
| <b>โอม ศรีนวกรณ์ ปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช เกียรติกำจร อินตานี และ ศุภกิตต์ สายสุนทร</b>                                     |    |
| การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์คอมโพสิต<br>เพื่อกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย..... | 47 |
| <b>พิรพัฒน์ คำเกิด ดุษฎี คำบุญเรือง และ นเรนทร บุญส่ง</b>                                                              |    |
| การออกแบบและสร้างเครื่องปลูกเปลี่ยนกะป๋าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด.....                                                          | 58 |
| <b>วิฑูรย์ โคตรมณี สุประวิทย์ เมืองเจริญ และ อดิศักดิ์ ไสวอมร</b>                                                      |    |
| การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลม .....                                                                          | 66 |
| <b>สินีนารถ สุขทวนารักษ์ เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา และ วัฒนา อัจฉริยะโพธา</b>                                              |    |
| การพัฒนาคุณสมบัติและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ .....                                           | 75 |
| <b>دنุพล มากผ่อง</b>                                                                                                   |    |
| กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก.....                                                                                  | 87 |
| <b>บรรณารักษ์ แก้วจรรยา และ ชัยสิทธิ์ แก้วจรรยา</b>                                                                    |    |
| กลยุทธ์การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและการเติบโตอย่างยั่งยืนของ<br>รถโดยสารสาธารณะในเชียงราย .....                 | 99 |
| <b>หฤทัยรัตน์ จันตะคาด ขมพูนุท พ่วงทรัพย์สิน และ กาญจนาวรรณ วินิจพิทยากุล</b>                                          |    |

---

---

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การออกแบบชุดโดรนเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา.....113

สุวินัย อินทรศักดิ์ ยิ่งยง รุ่งฟ้า และพิสิทธิ์ ควรอนันต์

Assessment of the Positional Accuracy of Digital Elevation Model Derived

from Low-Cost UAV .....127

Phurith Meeprom, Narong Pleerux, Sawarin Lerk-u-suke  
and Wirote Laongmanee



# การทำนายค่า CBR ของดินโดยการโปรแกรมหลายนิพจน์

## Prediction of California Bearing Ratio by Multi-Expression Programming

ณรงค์เดช อินทร์ต้นชัยกิจ

Narongdej Intaratchaiyakit

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

E-mail: mydej456@yahoo.co.th โทร. 081-628-8063

### บทคัดย่อ

California Bearing Ratio (CBR) เป็นการทดลองที่สำคัญในงานด้านโยธา เช่น เขื่อน และผิวทาง เป็นต้น CBR มักจะได้รับการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูง และขั้นตอนที่ยากซึ่งมีอิทธิพลต่อความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้าง ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองได้ใช้การโปรแกรมหลายนิพจน์ (Multi-expression programming, MEP) จำนวน 6 รูปแบบจำลองซึ่งมีตัวแปรป้อนเข้าหลากหลาย แบบจำลอง I เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างสูงในชุดการฝึกฝน และชุดการทดสอบ และเมื่อนำแบบจำลอง MEP ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression, MLR) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) จะพบว่าแบบจำลอง MEP เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมมากที่สุด และแบบจำลอง MEP สามารถถูกนำมาใช้ได้เพราะค่าความเชื่อถือได้มีค่าสูง สมการคณิตศาสตร์ที่ได้จากแบบจำลอง MEP จะนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายค่า CBR สำหรับการออกแบบเบื้องต้นในงานด้านปฐพีเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่าย และเวลา

**คำสำคัญ :** ค่าซีบีอาร์ การโปรแกรมหลายนิพจน์ โครงข่ายประสาทเทียม ปัญญาประดิษฐ์

### Abstract

California Bearing Ratio (CBR) is a crucial experiment for civil work, such as dams and pavement. CBR is always experimental in the lab, using time-consuming, expensive, and challenging processes that have an effect on how quickly building projects move forward. Hence, the model development used six multi-expression programming (MEP) models that had diverse input variables. Model I was the most proper MEP model because Model 1's coefficients of determination were relatively high in the training and testing sets. When the MEP model is compared to the multiple linear regression (MLR) and artificial neural network (ANN) models, the MEP model is found to be the most suitable model, and the MEP model can be employed because of its high level of reliability. The mathematical equation from the MEP model is applied to predict the CBR values for preliminary design in geotechnical work to reduce cost and time.

**Keywords :** California Bearing Ratio, multi-expression programming, artificial neural network, artificial intelligence

### 1. บทนำ

งานถนนซึ่งเป็นงานดินอย่างหนึ่งที่ต้องมีชั้นรองพื้นทางที่ดีด้วยการพิจารณาค่าต่าง ๆ เช่น ค่าความสามารถรับแรงอัด การทรุดตัว และการบวมตัว เป็นต้น (Taskiran, 2010) องค์ประกอบของผิวทางแบบยึดหยุ่น ได้แก่ แอสฟัลต์ คอนกรีต (Asphalt concrete) ชั้นพื้นทาง (Base layer) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase layer) และชั้นดินเดิม (Subgrade

layer) แต่ละชั้นเหล่านี้มีความแตกต่างกันในสมบัติของวัสดุ และความแข็งแรงของผิวทาง (Taha, Gabr, and El-Badawy, 2019)

ค่าซีบีอาร์ (California Bearing Ratio, CBR) แสดงถึงค่าอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงของดินเดิมต่อความแข็งแรงของหินคลุกมาตรฐานมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ CBR เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงของดินเดิม (Taha et al., 2019) และความหนาของผิวทาง (Ramasubbarao and Sankar, 2013) ชั้นดินเดิมจะต้องแข็งแรงเพียงพอต่อการรองรับผิวทาง และน้ำหนักบรรทุกทุกล้อรถ การออกแบบและพฤติกรรมของผิวทางยึดหยุ่นขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของดินเดิม โดยเสถียรภาพของดินเดิมนั้นสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการบดอัดดินที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture content, OMC) ซึ่งเป็นจุดที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density, MDD) ค่า OMC และ MDD เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อค่า CBR (Lakshmi, Subramanian, Lalithambikhai, Vela, and Ashni, 2016) หลาย ๆ งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้รายงานไว้ว่า ชนิดของดิน และสมบัติของดินได้มีผลต่อค่า CBR (Zumrawi, 2012) ค่า CBR มักจะถูกนำมาใช้ในการทาง สนามบิน ที่จอดรถและการออกแบบงานผิวทาง รวมถึง CBR ได้มีอิทธิพลต่องานทางด้านวิศวกรรมปฐพี และโครงสร้างดิน เช่น เชื้อดิน คันทางถนน ตัวค้ำสะพาน และวัสดุหลังกำแพงกันดิน (Yildirim and Gunaydin, 2011) CBR ได้ถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับค่ามอดุลัสยึดหยุ่น และสมบัติของดินทางวิศวกรรม (Alawi and Rajab, 2013)

ข้อมูลดินที่ได้มาจากการสำรวจดินอาจมีปริมาณน้อยเพราะงบประมาณ และเวลาจำกัด รวมทั้งแผนงานไม่ดีพอ แต่การทดสอบ CBR ในห้องปฏิบัติการนั้นเป็นเรื่องที่กระทำได้ยาก ใช้เวลามาก ค่าใช้จ่ายสูง และความถูกต้องอาจต่ำ อาจเพราะการทดสอบที่ไม่ได้มาตรฐานและปัญหาของตัวอย่างดินถูกรบกวน ส่งผลทำให้เกิดการพัฒนาสมการประมาณค่า CBR (Wai, 2006) Agarwal and Ghanekar (1970) สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับพิกัดเหลว (Liquid limit, LL) พิกัดพลาสติก (Plastic limit, PL) หรือดัชนีพลาสติก (Plasticity index, PI) พบว่าไม่ได้มีนัยสำคัญในความสัมพันธ์ต่อกัน ส่วนสมการที่มีค่า CBR เป็นตัวแปรไม่อิสระ กับ OMC และ LL เป็นตัวแปรอิสระ จะพบว่ามีความสำคัญในความสัมพันธ์ต่อกัน กรวด (Gravel, G) ทราย (Sand, S) ดินเม็ดละเอียด (Fine content, FC) MDD, LL, PL และ OMC มีอิทธิพลต่อค่า CBR ของดินเม็ดละเอียด แต่ตัวแปร MDD เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis, SLRA) ท่ามกลางตัวแปร G, S, FC, LL, PL และ MDD การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression analysis, MLRA) มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงกว่า SLRA (Ramasubbarao and Sankar, 2013; Rehman, Farooq, Mujtaba, and Altaf, 2015)

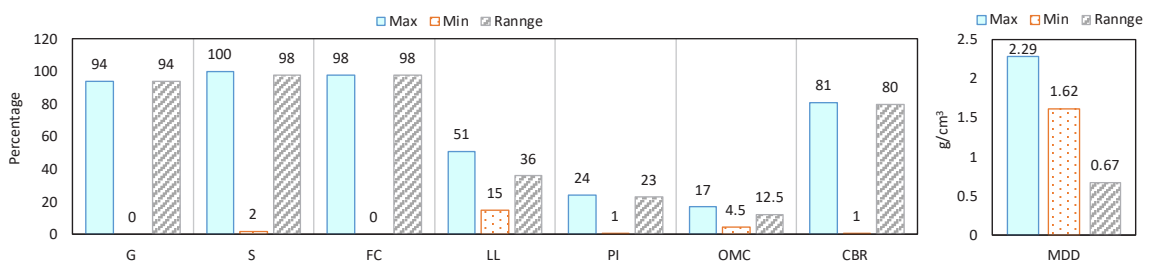
Rakaraddi and Gomarsi (2015) แสดงถึง MLRA จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวที่ดีมากกว่า SLRA Rehman, Farooq, and Mujtaba (2017) ประมาณค่า CBR, OMC และ MDD โดยตัวแปรป้อนเข้าที่มีประสิทธิภาพคือ สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of uniform,  $C_u$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่าน 30% ( $D_{30}$ ) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่าน 50% ( $D_{50}$ ) Roy, T.K., Chattopadhyay, and Roy, S.K. (2009) เสนอสมการเพื่อประมาณค่า CBR บนพื้นฐานของ MDD หน่วยน้ำหนักน้ำ (Water unit weight,  $\gamma_w$ ) และ OMC สำหรับดินเม็ดละเอียด Patel and Desai (2010) เสนอความสัมพันธ์ค่า CBR บนพื้นฐานของ OMC และ MDD Singh, Reddy, and Yadu (2011) ได้ทำนายค่า CBR โดยพิจารณาผลของระดับการบดอัด และปริมาณความชื้น Ferede (2010) ประมาณค่า CBR สำหรับดินเม็ดละเอียดได้ใช้ LL, PL, PI และเปอร์เซ็นต์ดินเม็ดละเอียด (Percentage of fines,  $F_{200}$ ) ส่วนการประมาณค่า CBR สำหรับดินเม็ดหยาบได้ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่าน 60% ( $D_{60}$ ), OMC และ MDD Sivrikaya, Kayadelen, and Cecen (2013) ทำนายค่า CBR บนพื้นฐานของพารามิเตอร์การบดอัดดินสำหรับดินเม็ดหยาบโดยใช้วิธี MLRA และการโปรแกรมจีพีนของยีน (Gene expression programming, GEP)

สาขาวิชาวิศวกรรมปฐพี และสาขาวิชาต่าง ๆ ได้มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) พร้อมกับการวิเคราะห์ด้วยหลาย ๆ ตัวแปร (Basma and Kallas, 2004; Das and Basudhar,

2008; Gunaydin, Gokoglu, and Fener, 2010; Najjar, Basheer, and Naouss, 1996; Rafiq, Bugmann, and Easterbrook, 2001) แบบจำลองที่มีความสลับซับซ้อนจะแก้ไขปัญหาด้วยวิธีที่ซับซ้อน แต่สามารถแก้ปัญหาโดยปราศจากการใช้สมการทางกายภาพด้วย ANN (Taskiran, 2010; Shahin, 2015) วิธีการทางสถิติอาจไม่สามารถใช้ประมาณค่า CBR ในหลาย ๆ งานวิจัยที่ผ่านมาได้เพราะค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำและพารามิเตอร์ที่นำมาเกี่ยวข้องกับค่า CBR มักจะน้อยกว่า 2 พารามิเตอร์ แต่พารามิเตอร์สมบัติพื้นฐาน MDD, PI, OMC, S, FC, LL และ G ได้มีความสัมพันธ์กับ CBR ของดินเม็ดละเอียดด้วยวิธี ANN และ GEP (Taskiran, 2010) การทำนายค่า CBR ด้วยตัวแปร G, S, OMC และ MDD โดยวิธี ANN จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี SLRA และ MLRA (Bhatt, Jain, and Pradesh, 2014) นอกจากนี้การทำนายค่า CBR โดยวิธี ANN จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression, MLR) (Erzin and Turkoz, 2016) การพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธี ANN และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis, RA) เป็นที่น่ายอมรับได้ (Taha et al., 2019)

ANN เป็นแขนงอย่างหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence, AI) ซึ่งจะพยายามทำงานคล้ายสมองและระบบประสาทของมนุษย์ ANN ประกอบด้วยจุดต่ออยู่ในชั้นป้อนเข้า ชั้นซ่อน และชั้นผลลัพธ์ โดยแต่ละจุดต่อของชั้นใด ๆ จะเชื่อมต่อกับจุดต่ออื่น ๆ ด้วยการเชื่อมต่อแบบถ่วงน้ำหนัก การป้อนเข้าจากแต่ละจุดต่อในชั้นล่าสุดคูณด้วยการแปรเปลี่ยนน้ำหนักเชื่อมต่อที่แต่ละจุดต่อ การป้อนเข้าที่ถูกถ่วงน้ำหนักจะถูกรวมเข้าด้วยกัน และเพิ่มความเอนเอียงแล้วผ่านฟังก์ชันกระตุ้นจึงได้ผลลัพธ์ของจุดต่อ ผลลัพธ์ของจุดต่อใด ๆ จะกลายเป็นค่าป้อนเข้าไปสู่จุดต่อในชั้นถัดไป (Shahin and Jaksa, 2002) Park, Kweon, and Lee (2009) ใช้ ANN เป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือในการประมาณค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของชั้นรองพื้นทางและชั้นดินเดิมจากสมบัติวัสดุเบื้องต้น เพราะการทดสอบจะมีราคาแพงและซับซ้อน

การโปรแกรมหลายนิพจน์ (Multi-expression programming, MEP) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมโยธาและอื่น ๆ เช่น การทำนายค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้ากลบโดย MEP (Amin et al., 2022) Ma and Liu (2016) ได้ใช้ MEP ทำนายค่าการผลิตของบ่อน้ำมันแล้วได้ผลที่น่าพอใจมากกว่าการใช้ ANN Wang and Yin (2020) ได้พัฒนาแบบจำลอง MEP เพื่อทำนายพารามิเตอร์การบดอัดดิน (ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และความหนาแน่นแห้งสูงสุด) ได้ผลลัพธ์ดีกว่า SLRA และ MLRA Fallahpour, Wong, Rajoo, and Tian (2021) ได้ใช้ MEP ทำนายการบริโภคไฟฟ้าในจีนได้ดีกว่า GEP Abdalla and Mohammed (2022) ได้ใช้ MEP ประมาณค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ซึ่งถูกดัดแปลงโดยเถ้าลอยแล้วได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ANN นอกจากนี้ Abdalla and Salih (2022) รายงานว่า MEP สามารถทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ซึ่งถูกดัดแปลงโดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้ผลที่น่าพอใจมากกว่า ANN Onyelowe et al. (2022) ได้ใช้ GEP และ MEP ในการทำนายค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของดินไม่อิ่มตัวเนื่องจากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของดินไม่อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการจะใช้เวลา นาน และยาก แล้วผลลัพธ์จากการทำนายด้วย GEP และ MEP เป็นที่น่าพึงพอใจมากกว่า MLRA



ภาพที่ 1 ช่วงของข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง MEP



## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษานี้ได้ใช้วิธีการโปรแกรมหลายนิพจน์ (Multi-expression programming, MEP) ในการประมาณค่า CBR ของดินโดยใช้ข้อมูลจำนวน 96 ตัวอย่าง จาก Farias, Araujo, and Ruiz (2018) ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสามชุด คือ ชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ รวมถึงชุดการทดสอบ โดยข้อมูลเพื่อการพัฒนาแบบจำลองเท่ากับ 80% ส่วนข้อมูลเพื่อตรวจสอบแบบจำลองเท่ากับ 10% และข้อมูลเพื่อทดสอบแบบจำลองเท่ากับ 10% ตัวแปรอิสระและตัวแปรไม่อิสระจะมีช่วงของข้อมูล ดังภาพที่ 1 ซึ่งจะนำมาใช้ทำให้ค่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรไม่อิสระให้เป็นค่ามาตรฐานอยู่ระหว่าง 0 และ 1

### 2.2 การโปรแกรมหลายนิพจน์

อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (Genetic algorithm, GA) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ทฤษฎีวิวัฒนาการเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนให้เหมาะสม (Goldberg, 2006) อัลกอริทึมนี้ใช้ในรูปของทศนิยมหรือเลขฐานสอง สำหรับการแก้ปัญหาซับซ้อนได้ไม่ยาก (Zhiyuan, Yongxian, and Lan, 2000) ส่วน Genetic programming (GP) คือ GA ที่พัฒนาขึ้นเพื่อสร้างนิพจน์สตริง เช่น tree (Koza, 1992) นอกจากนี้ การโปรแกรมหลายนิพจน์ (MEP) เป็นวิธี GP เชิงเส้นโดยใช้โครโมโซมเชิงเส้น (Oltean and Grosan, 2003) เพื่อให้ได้นิพจน์ที่ดีที่สุด กระบวนการอัลกอริทึม MEP จะดำเนินต่อไปจนกว่าได้ตามเป้าหมายเงื่อนไข โดยเริ่มต้นจากการ

สร้างประชากรแบบสุ่ม แล้วพ่อแม่สองคนได้รับเลือกโดยใช้กระบวนการแข่งขันแบบไบนารี (Binary tournament) และสลับสายพันธุ์ (Crossover) พ่อแม่อีกครั้งด้วยความน่าจะเป็นสลับสายพันธุ์ที่กำหนด (Crossover probability) จึงได้ลูกหลานสองคน ต่อมาลูกหลานจะกลายพันธุ์ (Mutation) ก่อนที่ตัวที่แย่ที่สุดจะถูกแทนที่ด้วยตัวที่ดีที่สุดจากประชากรปัจจุบัน

การเป็นตัวแทนของ MEP นั้นคล้ายคลึงกับ C และ Pascal compilers ที่แปลงนิพจน์ทางคณิตศาสตร์เป็นรหัสเครื่อง ยินต่อโครโมโซมซึ่งมีค่าคงที่ คือ ความยาวของโครโมโซม ยินแต่ละตัวจะให้คำแนะนำสำหรับการสร้างสัญลักษณ์เทอร์มินัล (Terminal sign) หรือสัญลักษณ์ฟังก์ชัน (Function sign) ยินที่เข้ารหัสฟังก์ชันจะประกอบด้วยตัวชี้ไปยังอาร์กิวเมนต์ของฟังก์ชัน พารามิเตอร์ของฟังก์ชันมักจะมีดัชนีของค่าน้อยกว่าตำแหน่งของฟังก์ชันนั้นของตัวมันเองในโครโมโซม สัญลักษณ์ตัวแรกในโครโมโซมจะต้องเป็นสัญลักษณ์เทอร์มินัล ส่วนตัวอย่างของโครโมโซมของ MEP ได้แสดงดังข้างล่างต่อไปนี้

- 1:  $x_1$
- 2:  $x_2$
- 3: /, 1, 2
- 4:  $x_3$
- 5: pow, 3, 4
- 6:  $x_4$
- 7: \*, 6, 5

ชุดฟังก์ชัน = {/, pow, \* etc.} และชุดเทอร์มินัล =  $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  ใช้เพื่อเข้ารหัสโปรแกรม MEP สัญลักษณ์เทอร์มินัลระบุนิพจน์พื้นฐาน และสัญลักษณ์ฟังก์ชันระบุนิพจน์ที่ซับซ้อน ยิน 1, 2, 4, 6 เข้ารหัสนิพจน์พื้นฐานที่สร้างโดยสัญลักษณ์เทอร์มินัลเดียวดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E_1 &= x_1 \\ E_2 &= x_2 \\ E_4 &= x_3 \end{aligned}$$

$$E_6 = x_4$$

ยีน 3 แสดงการทำงานหาร (/) บนตัวถูกดำเนินการที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ของโครโมโซม ดังนั้นการเข้ารหัสยีน  $E_3$  จะได้ว่า

$$E_3 = (x_1 / x_2)$$

ยีน 5 แสดงการทำงานยกกำลัง (pow) บนตัวถูกดำเนินการที่ตำแหน่ง 3 และ 4 ของโครโมโซม ดังนั้นการเข้ารหัสยีน  $E_5$  จะได้ว่า

$$E_5 = (x_1 / x_2)^{x_3}$$

ยีน 7 แสดงการทำงานคูณ (\*) บนตัวถูกดำเนินการที่ตำแหน่ง 3 และ 4 ของโครโมโซม ดังนั้นการเข้ารหัสยีน  $E_7$  จะได้ว่า

$$E_7 = x_4 (x_1 / x_2)^{x_3}$$

นิพจน์ทั้งหมดเหล่านี้จะสามารถใช้แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ความเหมาะสมของแต่ละนิพจน์ถูกคำนวณเพื่อหานิพจน์ที่มีการเข้ารหัสที่ดีที่สุดในโครโมโซม MEP ในการถดถอยเชิงสัญลักษณ์ (Oltean and Grosan, 2003)

### 2.3 การพัฒนาแบบจำลอง MEP

ในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อหาสูตรสำหรับการประมาณค่า CBR ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรป้อนเข้าในตารางที่ 1 การพัฒนาแบบจำลอง MEP จำนวน 6 รูปแบบจำลอง ซึ่งมีตัวแปรป้อนเข้าหลากหลาย จะต้องพิจารณาหลาย ๆ พารามิเตอร์ เช่น ชุดฟังก์ชัน ชุดเทอร์มินัล จำนวนของประชากรกลุ่มย่อย ขนาดประชากรกลุ่มย่อย และความยาวโครโมโซม เป็นต้น พารามิเตอร์เหล่านี้ได้จากการลองผิดลองถูก (Trial and error) แสดงดังตารางที่ 2 ข้อมูลที่นำมาใช้กับการพัฒนาแบบจำลอง MEP จะทำให้เป็นค่ามาตรฐานระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อลดปัญหาของมิติ และเพื่อฝึกฝนแบบจำลอง MEP โดยสมการแปลงข้อมูลให้เป็นค่ามาตรฐานจะมีค่าดังต่อไปนี้

$$X_n = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

การวิเคราะห์ที่ใช้ Python 3.8.5 และ MEPX Software เพื่อใช้ทำนายค่า CBR ที่เหมาะสมมากที่สุด ประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลอง MEP ที่พัฒนาขึ้น สามารถประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination,  $R^2$ ) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute error, MAE) ระหว่างค่า CBR ที่วัดได้และที่ถูกทำนายไว้ สำหรับชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ

### 2.4 ความเชื่อถือได้

ความเชื่อถือได้ (Reliability) คือ สิ่งที่ใช้วัดความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้วัดตัวอย่าง เมื่อนำเครื่องมือไปวัดตัวอย่าง 2 ครั้ง แล้วผลจากการวัดจะต้องมีลักษณะคล้ายกัน (วิธีการวัดซ้ำ) สำหรับงานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการวัดซ้ำโดยวัดความสัมพันธ์ระหว่าง CBR ที่ประมาณค่า และ CBR ที่วัดได้ จากข้อมูลตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 96 กรณี ที่ระดับความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.95 การหาค่าความเชื่อถือได้ถูกดำเนินการใน Python 3.8.5 โดยความสัมพันธ์กันในลักษณะเดียวกันและสูง จะบ่งชี้ว่าเครื่องมือ (แบบจำลอง) มีความน่าเชื่อถือสูง

### ตารางที่ 1 ตัวแปรป้อนเข้าสำหรับแบบจำลอง MEP ซึ่งถูกใช้ประมาณค่า CBR

| แบบจำลอง | ตัวแปรป้อนเข้า             |
|----------|----------------------------|
| I        | G, S, FC, LL, PI, OMC, MDD |
| II       | S, FC, LL, PI, OMC, MDD    |
| III      | S, PI, OMC, MDD            |
| IV       | LL, PI, OMC, MDD           |
| V        | FC, PI, OMC, MDD           |
| VI       | G, S, PI, MDD              |

### ตารางที่ 2 พารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง MEP ซึ่งถูกใช้ประมาณค่า CBR

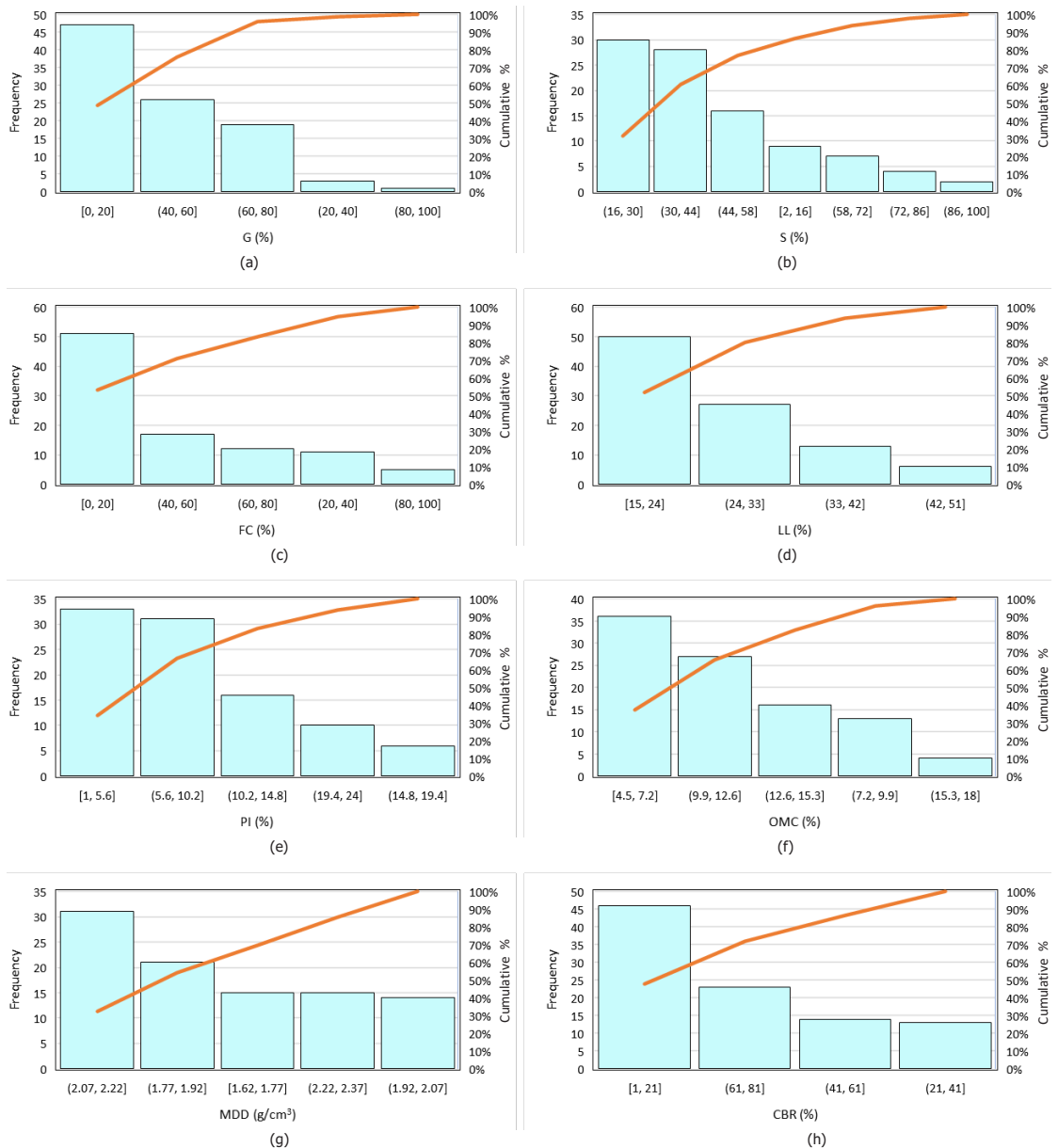
| พารามิเตอร์                   | กำหนดค่า                                          |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| ชุดฟังก์ชัน                   | + , - , * , / , $\sqrt{\quad}$ , exp , pow10 , ln |
| ชุดเทอร์มินัล                 | ตัวแปรป้อนเข้าในแต่ละแบบจำลอง (ตารางที่ 1)        |
| จำนวนของประชากรกลุ่มย่อย      | 10                                                |
| ขนาดประชากรกลุ่มย่อย          | 500                                               |
| ความยาวโครโมโซม               | 50                                                |
| ความน่าจะเป็นการสลับสายพันธุ์ | 0.9                                               |
| ชนิดการสลับสายพันธุ์          | สมำเสมอ                                           |
| ความน่าจะเป็นกลายพันธุ์       | 0.01                                              |
| ขนาดกระบวนการแข่งขันแบบไบนารี | 2                                                 |
| จำนวนรุ่น                     | 700                                               |

## 3. ผลการศึกษา

### 3.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายข้อมูล

ภาพที่ 2 แสดงการกระจายของข้อมูลของตัวแปรในลักษณะความถี่ ดินส่วนใหญ่จะมีค่า G จาก 0 และ 20 % (ภาพที่ 2a) และจะมี S จาก 16 ถึง 44% (ภาพที่ 2b) ขณะที่ FC ในดินส่วนใหญ่จะมีค่าระหว่าง 0 และ 20% (ภาพที่ 2c) ส่วนมากดินจะมี LL ระหว่าง 15 และ 24% (ภาพที่ 2d) ส่วน PI จะมีค่าส่วนมากจาก 1 ถึง 10.2% (ภาพที่ 2e) OMC จะมีค่าส่วนใหญ่จาก 4.5 ถึง 7.2% (ภาพที่ 2f) MDD และ CBR จะมีความถี่สูงสุดในระหว่าง 2.07 และ 2.22 g/cm<sup>3</sup> และ 1 ถึง 21% ตามลำดับ (ภาพที่ 2g และ 2h)





ภาพที่ 2 การกระจายข้อมูลของข้อมูลป้อนเข้า และผลลัพธ์

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ MEP

ประสิทธิภาพของแบบจำลอง MEP สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3  $R^2$  ของแบบจำลอง I และ II ในชุดการฝึกฝน ได้มีค่าสูงเกือบเท่ากัน ส่วนในชุดการตรวจสอบจะพบว่าแบบจำลอง II จะมีค่า  $R^2$  มากกว่าแบบจำลอง I อย่างไรก็ตาม ค่า  $R^2$  ของแบบจำลอง II จะมีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง I ในชุดการทดสอบ นั่นคือ แบบจำลอง II จะมีความถูกต้องสูงในชุดการฝึกฝน แต่ความถูกต้องน้อยในชุดการทดสอบ ขณะที่แบบจำลอง I มีค่า  $R^2$  สูง และ MAE ต่ำทั้งสามชุดข้อมูล (ชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ) ดังนั้นแบบจำลอง MEP ที่เหมาะสม คือ แบบจำลอง I หรือสมการ (2) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง MEP ซึ่งถูกใช้ประมาณค่า CBR

| แบบจำลอง | ชุดการฝึกฝน    |       | ชุดการตรวจสอบ  |       | ชุดการทดสอบ    |        |
|----------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|--------|
|          | R <sup>2</sup> | MAE   | R <sup>2</sup> | MAE   | R <sup>2</sup> | MAE    |
| I        | 0.906          | 5.138 | 0.975          | 3.339 | 0.705          | 8.322  |
| II       | 0.905          | 5.173 | 0.985          | 2.397 | 0.535          | 11.368 |
| III      | 0.836          | 7.363 | 0.882          | 5.447 | 0.607          | 9.717  |
| IV       | 0.702          | 9.763 | 0.931          | 5.896 | 0.597          | 11.369 |
| V        | 0.886          | 6.051 | 0.978          | 3.605 | 0.579          | 11.137 |
| VI       | 0.856          | 6.787 | 0.970          | 2.967 | 0.136          | 14.082 |

$$\text{โดย} \quad \text{CBR} = 80D_6 + 1 \quad (2)$$

$$D_1 = 10^{0.08 \cdot \text{OMC} - 0.36} + \frac{G}{47} - \frac{2\text{PI}}{23} + \frac{2}{23} \quad (3)$$

$$D_2 = \left( \frac{2\text{PI} - 2}{23} \right) D_1 \quad (4)$$

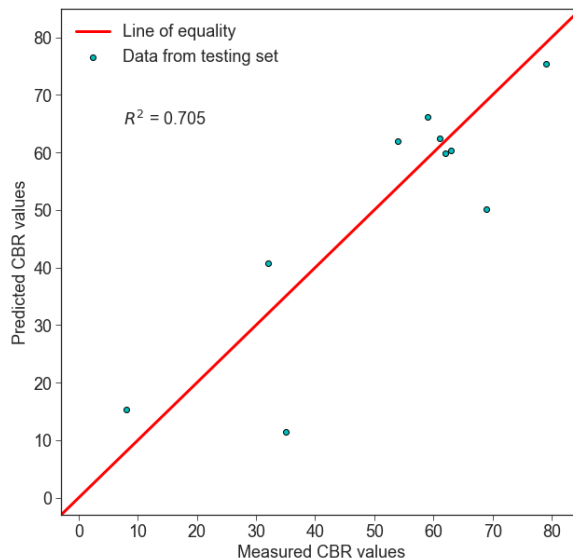
$$D_3 = \frac{\text{LL}}{36} - \frac{103}{276} + \frac{G}{94} - \frac{\text{PI}}{23} \quad (5)$$

$$D_4 = D_2 * D_3 \quad (6)$$

$$D_5 = \frac{D_4 + \frac{G}{94}}{10^{\frac{\text{PI}-1}{23}}} \quad (7)$$

$$D_6 = \frac{D_5 + \frac{S}{98} - \frac{1}{49}}{10^{0.08 \cdot \text{OMC} - 0.36}} \quad (8)$$

ค่าฟังก์ชัน  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$  และ  $D_6$  ได้มีตัวแปรอิสระ  $G$ ,  $S$ ,  $\text{LL}$ ,  $\text{PI}$  และ  $\text{OMC}$  ในสมการ (3) - (8) การใช้ฟังก์ชัน  $D_1$  ถึง  $D_6$  ในสมการ (2) เพื่อหาค่า CBR โดยตัวแปรป้อนเข้าจะต้องมีค่าอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดตามที่กำหนดในภาพที่ 1 ผลการทำนายค่าด้วยแบบจำลอง MEP จะมีค่าเบี่ยงเบนน้อยด้วยการใช้ตัวแปรป้อนเข้าที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด (Pala, 2006) ค่า CBR ที่คำนวณจากแบบจำลอง I หรือสมการ (2) ได้ถูกเปรียบเทียบกับค่า CBR ที่วัดได้ในชุดการทดสอบจะถูกพล็อตจุดในภาพที่ 3 แล้วจะพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก



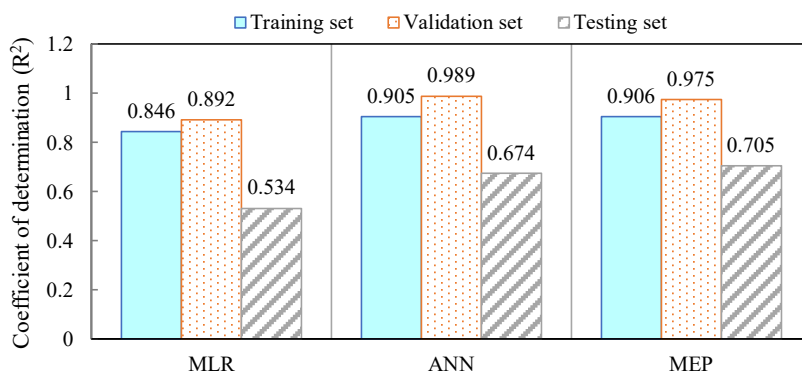
ภาพที่ 3 ค่า CBR ซึ่งถูกประมาณค่าจากแบบจำลอง I เปรียบเทียบกับค่า CBR ที่วัดได้ในชุดทดสอบ

### 3.3 ความเชื่อถือได้

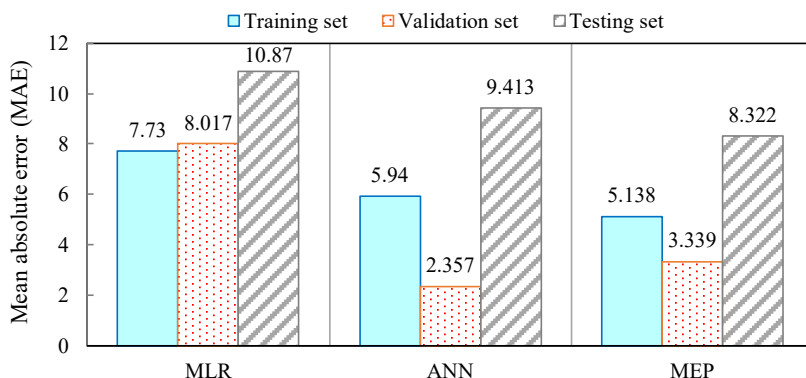
เมื่อพิจารณาแบบจำลอง I หรือสมการ (2) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.95 จะหาค่าความเชื่อถือได้จากข้อมูลตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 96 กรณี มีค่าเท่ากับ 0.953 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ทำให้แบบจำลองมีความเชื่อถือได้สูง และได้อยู่ในขอบเขตของช่วงความเชื่อมั่น ซึ่งมีค่าขอบเขตล่าง 0.93 และค่าขอบเขตบน 0.968

### 3.4 อภิปรายผลการวิจัย

การประเมินค่า CBR โดยใช้แบบจำลอง MLR และแบบจำลอง ANN (แบบจำลอง 5) จาก Intaratchaiyakit (2023) ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง MEP (แบบจำลอง I) ในการวิจัยครั้งนี้ด้วยค่า  $R^2$  จากภาพที่ 4 จะพบว่า ค่า  $R^2$  ของแบบจำลอง MLR จะน้อยที่สุดในบรรดาแบบจำลอง MLR, ANN และ MEP ในทั้งสามชุดข้อมูล (ชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ) ขณะที่แบบจำลอง MEP จะให้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจมากที่สุดเนื่องจากในชุดการฝึกฝน ค่า  $R^2$  ของแบบจำลอง MEP ( $R^2 = 0.906$ ) ได้มีค่ามากกว่าแบบจำลอง ANN ( $R^2 = 0.905$ ) นอกจากนี้ ในชุดการทดสอบ ค่า  $R^2$  ของแบบจำลอง MEP ( $R^2 = 0.705$ ) ได้มีค่ามากกว่าแบบจำลอง ANN ( $R^2 = 0.674$ ) ขณะที่ภาพที่ 5 แสดงค่า MAE ของแบบจำลอง MLR, ANN และ MEP โดยแบบจำลอง MLR จะมีค่า MAE มากที่สุดในบรรดาแบบจำลอง MLR, ANN และ MEP ในทั้งสามชุดข้อมูล (ชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ) ขณะที่แบบจำลอง MEP จะให้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจมากที่สุดเนื่องจากในชุดการฝึกฝน ค่า MAE ของแบบจำลอง MEP (MAE = 5.138) มีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง ANN (MAE = 5.94) นอกจากนี้ ในชุดการทดสอบ ค่า MAE ของแบบจำลอง MEP (MAE = 8.322) ได้มีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง ANN (MAE = 9.413) จากเหตุผลดังกล่าว ดังนั้นแบบจำลอง MEP ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพที่มากกว่าแบบจำลอง MLR และ ANN ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่ได้กล่าวถึงว่าแบบจำลอง ANN มีประสิทธิภาพที่มากกว่าแบบจำลอง MLR (Bhatt et al., 2014; Erzin and Turkoz, 2016) และแบบจำลอง MEP ได้มีประสิทธิภาพที่มากกว่าแบบจำลอง ANN สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ แบบจำลอง MEP ได้มีความเชื่อถือได้เท่ากับ 0.953 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 จึงทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมาก



ภาพที่ 4 ค่า  $R^2$  ของแบบจำลอง MLR, ANN และ MEP



ภาพที่ 5 ค่า MAE ของแบบจำลอง MLR, ANN และ MEP

#### 4. สรุป

การทำนายค่า CBR โดยใช้แบบจำลอง MEP จำนวน 6 รูปแบบ ซึ่งมีพารามิเตอร์ป้อนเข้าที่แตกต่างกัน จะพบว่า แบบจำลอง I มีค่า  $R^2$  สูง และ MAE ต่ำทั้งสามชุดข้อมูล (ชุดการฝึกฝน ชุดการตรวจสอบ และชุดการทดสอบ) จึงทำให้แบบจำลอง I ถูกเลือกให้เป็นแบบจำลอง MEP ที่เหมาะสม ซึ่งแบบจำลอง MEP ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพที่มากกว่าแบบจำลอง MLR และ ANN นอกจากนี้ แบบจำลอง MEP ได้มีความน่าเชื่อถือมากเนื่องจากค่าความเชื่อถือได้มีค่าสูง ดังนั้นสมการคณิตศาสตร์ใหม่จึงได้จากแบบจำลอง MEP (แบบจำลอง I) แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายค่า CBR สำหรับการออกแบบเบื้องต้นในด้านงานปฐพีเพื่อลดค่าใช้จ่าย และเวลา

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- Abdalla, A., & Mohammed, A. S. (2022). Surrogate Models to Predict the Long-Term Compressive Strength of Cement-Based Mortar Modified with Fly Ash. *Arch. Computat Methods Eng.*, 29: 4187-4212. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09734-7>
- Abdalla, A., & Salih, A. (2022). Implementation of multi-expression programming (MEP), artificial neural network (ANN), and M5P-tree to forecast the compression strength cement-based mortar modified by calcium hydroxide at different mix proportions and curing ages. *innov. Infrastruct. Solut.*, 7(2): 153. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00761-8>
- Agarwal, K.B. & Ghanekar, K.D. (1970). Prediction of CBR from plasticity characteristics of soil. In: *Proceeding of 2<sup>nd</sup> south-east Asian conference on soil engineering, Singapore. June 11-15. Bangkok: Asian Institute of Technology.* 571-576.



- Alawi, M. & Rajab, M. (2013). Prediction of California bearing ratio of subbase layer using multiple linear regression models. **Road Mater. Pavement Des.**, **14**(1): 211-219. DOI: 10.1080/14680629.2012.757557
- Amin, M.N., Khan, K., Javed, M.F., Ewais, D.Y.Z., Qadir, M.G.; Faraz, M.I., Alam, M.W., Alabdullah, A.A., & Imran, M. (2022). Forecasting Compressive Strength of RHA Based Concrete Using Multi-Expression Programming. **MATLS.**, **15**: 3808. <https://doi.org/10.3390/ma15113808>
- Basma, A. A. & Kallas, N. (2004). Modeling soil collapse by artificial neural networks. **Geotech.**, **22**: 427-438.
- Bhatt, S., Jain, P. K., & Pradesh, M. (2014). Prediction of California bearing ratio of soils using artificial neural network. **AJRSTEM.**, **8**(2): 156-161.
- Das, S. K. & Basudhar, P. (2008). Prediction of residual friction angle of clay artificial neural network. **Eng Geol.**, 142-145.
- Erzin, Y. & Turkoz, D. (2016). Use of neural networks for the prediction of the CBR value of some Aegean sands. **Neural Comput.**, **27**: 1415-1426.
- Fallahpour, A., Wong, K. Y., Rajoo, S., & Tian, G. (2021). An evolutionary-based predictive soft computing model for the prediction of electricity consumption using multi expression programming. **J. Clean. Prod.**, **283**: 125287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125287>
- Ferede, Z.W. (2010). **Prediction of California Bearing Ratio (CBR) value from Index Properties of Soil**. M.Sc. dissertation, Department of Civil Engineering, Addis Ababa Institute of Technology (AAIT).
- Gandomi, A. H., Alavi, A. H., & Yun, G. J. (2011). Formulation of uplift capacity of suction caissons using multi expression programming. **KSCE J. Civ. Eng.**, **15**(2): 363-373. <https://doi.org/10.1007/s12205-011-1117-9>
- Goldberg, D.E. 2006. **Genetic Algorithms**, Pearson Education India: London, UK.
- Gunaydin, O., Gokoglu, A. & Fener, M. (2010). Prediction of artificial soil's unconfined compression strength test using statistical analyses and artificial neural networks. **Adv. Eng. Softw.**, **41**: 1115-1123.
- González Farias, I., Araujo, W., & Ruiz, G. (2018). Prediction of California Bearing Ratio from Index Properties of Soils Using Parametric and Non-parametric Models. **Geotech.**, **36**: 3485-3498.
- Intaratchaiyakit, N. (2023). Estimation of California Bearing Ratio by Artificial Neural Network. **RMUTTO RJ.**, **16**(1): 1-10. (In Thai).
- Koza, J.R. (1992). **Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection**. MIT Press: Cambridge, MA, USA, Volume 1.
- Lakshmi, S.M., Subramanian, M. S., Lalithambikhai, P., Vela, A. M. & Ashni, M. (2016). Evaluation of soaked and unsoaked CBR values of soil based on the compaction characteristics. **MJCE.**, **28**(2): 172-182.
- Ma, X. & Liu, Z-b. (2016). Predicting the Oil Well Production Based on Multi Expression Programming. **The Open Petroleum Engineering Journal**, **9**(1): 21-32.

- MEPX software. (2022). **MEPX software**. Access 5 Jan 2022, from [https://mepx.org/mepx\\_software.html](https://mepx.org/mepx_software.html).
- Najjar, Y. M., Basheer, I. A., & Naouss, W. A. (1996). On the identification of compaction characteristics by neuronets. **Comput Geotech.**, **18**(3): 167-187.
- Oltean, M. & Grosan, C. (2003). A comparison of several linear genetic programming techniques. **Complex Syst.**, **14**: 285-314.
- Onyelowe, K.C., Jalal, F.E., & Iqbal, M. (2022). Intelligent modeling of unconfined compressive strength (UCS) of hybrid cement-modified unsaturated soil with nanostructured quarry fines inclusion. **Innov. Infrastruct. Solut.**, **98**(7). <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00682-y>
- Pala, M. (2006). A new formulation for distortional buckling stress in cold-formed steel members. **J Constr Steel Res.**, **62**: 716-722.
- Park, H. I., Kweon, G. C., & Lee, S. R. (2009). Prediction of resilient modulus of granular subgrade soils and subbase materials using artificial neural network. **Road Mater. Pavement Des.**, **10**(3): 647-665.
- Patel, R. S. & Desai, M.D. (2010). CBR Predicted by Index Properties of Soil for Alluvial Soils of South Gujarat. **IGC, Proc. IGC**, **1**: 79-82.
- Ramasubbarao, G. V. & Sankar, G. S. (2013). Predicting Soaked CBR Value of Fine Grained Soils Using Index and Compaction Characteristics. **Jordan J. Civ. Eng.**, **7**(3): 354-360.
- Rafiq M. Y., Bugmann, G., & Easterbrook, D. J. (2001). Neural network design for engineering applications. **Comput Struct.**, **79**: 1541-1552.
- Rakaraddi, P. G. & Gomarsi, V. (2015). Establishing relationship between CBR with different soil properties. **Int. Res. J. Eng. Technol.**, **4**(2): 182-188.
- Rehman, A.U., Farooq, K., Mujtaba, H., & Altaf, O. (2015). Estimation of California bearing ratio (CBR) from index properties and compaction characteristics of coarse-grained soil. **Sci. Int. Lahore**, **27**(6): 6207-6210.
- Rehman, A.U., Farooq, K., & Mujtaba, H. (2017). Prediction of California bearing ratio (CBR) and compaction characteristics of granular soils. **Acta Geotech. Slov.**, **14**(1): 62-72.
- Roy, T.K., Chattopadhyay, B.C., & Roy, S.K. (2009). Prediction of CBR from Compaction Characteristics of Cohesive Soil. **highw. res. J.**, July-Dec 2009. 77-88.
- Shahin, M.A. & Jaksa, M. (2002). Artificial neural network-based settlement prediction formula for shallow foundations on granular soils. **Aust. Geomech.**, 45-52.
- Shahin, M.A. (2015). A review of artificial intelligence applications in shallow foundations. **Int. J. Geotech.**, **9**: 49-60.
- Singh, D., Reddy, K.S., & Yadu, L. (2011). Moisture and Compaction Based Statistical Model for Estimating CBR of Fine-Grained Sub grade Soils. **Int. J. Earth Sci. Eng.**, **4**(6): 100-103.
- Sivrikaya, O., Kayadelen, C., & Cecen, E. (2013). Prediction of the compaction parameters for coarse-grained soils with fines content by MLR and GEP. **Acta Geotech.**, **2**: 29-41.
- Taha, S., Gabr, A. & El-Badawy, S. (2019). Regression and Neural Network Models for California Bearing Ratio Prediction of Typical Granular Materials in Egypt. **Arab J Sci Eng.**, **44**: 8691-8705.

- Taskiran, T. (2010). Prediction of California bearing ratio (CBR) of fine-grained soils by AI methods. **Adv. Eng. Softw.**, **41**(6): 886-892.
- Wai, K. M. (2006). **California bearing ratio correlation with soil index properties master of engineering (civil-geotechnics)**. Faculty of Civil Engineering, University Teknologi Malaysia.
- Wang, H.-L., & Yin, Z.-Y. (2020). High performance prediction of soil compaction parameters using multi expression programming. **Eng. Geol.**, **276**, 105758. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105758>.
- Yildirim, B. & Gunaydin, O. (2011). Estimation of California bearing ratio by using soft computing systems. **Expert Syst. Appl.**, **38**(5): 6381-6391.
- Zhiyuan G., Yongxian W., & Lan N. (2000). Genetic algorithms based on bin tree structure encoding. **J Tsinghua Univ.**, **40**(10): 125-128.
- Zumrawi, M. (2012). Prediction of CBR from index properties of cohesive soils. **Conference: 2<sup>nd</sup> International Conference on Civil Engineering and Building Materials (CEBM 2012)**, 17-18 Nov, 2012. At: Hong Kong Volume: Adv. Civ. Eng. - Edited by Shuenn - Yih Chang, Suad Khalid Al Bahar & Jingying Zhao.

(Received: 6/Feb/2023, Revised: 2/Oct/2023, Accepted: 22/Dec/2023)

## สมการพยากรณ์ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ: กรณีศึกษาจังหวัดจันทบุรี

### Prediction Equation for Estimating COVID-19 Vaccination Intentions among Older Adults: A Case Study of Chanthaburi Province

เกศสุดา ขวสร้อย<sup>1</sup> และ วิรัตน์ ขวสร้อย<sup>2\*</sup>  
Kessuda Khowsroy<sup>1</sup> and Viratn Khowsroi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี

<sup>2</sup> โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<sup>1</sup> Faculty of Nursing, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi

<sup>2</sup> Establishment Project Faculty of Integration Engineering and Technology, Chanthaburi Campus,

Rajamangala University of Technology Tawan-Ok

\*E-mail: virat\_kh@rmutto.ac.th Tel. 080-4455396

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบการถดถอยลอจิสติกทวิภาค ในการทำนายโอกาสการฉีดหรือไม่ฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ กลุ่มประชากรที่ศึกษาคือผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีที่มีอายุ 60 ปี ขึ้นไป จำนวน 272 คน โดยสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอนเพื่อรวบรวมข้อมูลทั้งในรูปแบบกระดาษและแบบออนไลน์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามผู้วิจัยสร้างขึ้นภายใต้กรอบแนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนเกี่ยวกับทัศนคติที่มีต่อวัคซีนโควิด-19 อิทธิพลจากสังคมเกี่ยวกับพฤติกรรมกรรมการรับวัคซีนโควิด-19 การรับรู้การควบคุมตนเองในการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 และความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 โดยแบบสอบถามมีค่าดัชนีความตรงตามเนื้อหา (CVI) ระหว่าง 0.87-1.00 และตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficients) มีค่าระหว่าง 0.80-0.84 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติการถดถอยลอจิสติกทวิภาค (binary logistic regression) โดยการนำเข้าตัวแปรแบบ enter method ผลการวิจัยพบว่า ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจเข้ารับการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุมีทั้งหมด 6 ตัว ได้แก่ 1) ความเชื่อว่าวัคซีนมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ 2) ความเชื่อว่าวัคซีนจะทำให้ทุกคนสามารถกลับมาใช้ชีวิตได้ตามเดิม 3) อิทธิพลจากสมาชิกภายในครอบครัว 4) การเห็นคล้อยตามบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข 5) การรับรู้ว่าการฉีดวัคซีนมีประสิทธิภาพดี และ 6) การรับรู้ว่าการฉีดวัคซีนช่วยลดความรุนแรงต่อการติดเชื้อ ผลทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบลอจิสติกมีค่า Cox & Snell  $R^2 = 0.502$  และค่า Nagelkerke  $R^2 = 0.736$  แสดงว่า ตัวแปรสามารถร่วมกันอธิบายความผันแปรของความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้ร้อยละ 50.2 และ 73.6 ตามลำดับ โดยสมการสามารถทำนายได้ถูกต้องโดยรวมร้อยละ 84.6

**คำสำคัญ :** ผู้สูงอายุ วัคซีนโควิด-19 ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ตัวแบบลอจิสติก

#### Abstract

The study aims to determine the logistic regression equation to predict among older adults whether to receive the COVID-19 vaccination or not. The study population comprised 272 respondents who were above 60 years of age and resided in Chanthaburi Province. Using multi-stage cluster sampling, the data were gathered via paper and online platforms. Structured questionnaire based on the components of theory of planned behavior to assess the attitudes towards COVID-19 vaccine, subjective norm, perceived behavioral control, and COVID-19 vaccination intention. The results of content validity index (CVI) showed between 0.87-1.00, the reliability value of the alpha coefficient of

Cronbach is between 0.80-0.84. Then Binary logistic regression was employed to analyze the data by using Enter method. There are 6 significant variables associated with the COVID-19 vaccine decision making for older adults as follows: 1) The belief that an elderly person needs a vaccination. 2) The belief that if people obtain the vaccine, their lives would return to normal. 3) Influence of family members 4) Medical professionals's recommendation. 5) The belief in the effectiveness of vaccines. 6) The belief lowering the chance of getting severe COVID-19. The model could predict overall correctly at 84.6% with Cox & Snell  $R^2 = 0.502$  and Nagelkerke  $R^2 = 0.736$ . It could account for the COVID-19 vaccine intention's variation, which is 50.2% and 73.6%, respectively.

**Keywords :** older adults, COVID-19 vaccine, theory of planned behavior, logistic models

## 1. บทนำ

เชื้อไวรัสซาร์ส-โควิ-2 (SARS-CoV-2) ก่อให้เกิดโรคโควิด-19 (Coronavirus 2009; COVID-19) ได้แพร่ระบาดลุกลามไปทั่วโลกส่งผลต่อการหยุดชะงักทางเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากมาตรการการเฝ้าระวังป้องกันและควบคุมการติดต่อโรคอันตราย ได้แก่ เว้นระยะทางสังคม ลดเวลาเปิดกิจการร้านค้าและสถานบันเทิง หลีกเลี่ยงกิจกรรมสังสรรค์ ชุมชนงดการเดินทาง เน้นอยู่บ้าน รวมทั้งการเร่งผลิตและจัดสรรวัคซีน จัดระบบบริการฉีดวัคซีนให้กลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับเชื้อ เนื่องจากการได้รับวัคซีนอย่างเพียงพอและเร่งด่วนถือเป็นมาตรการทางการแพทย์ที่ได้ประโยชน์คุ้มทุนเพื่อควบคุมการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 (Wang et al., 2023) ความลังเลใจในการได้รับวัคซีนโควิดกลายเป็นประเด็นสำคัญด้านความปลอดภัย และประสิทธิภาพของวัคซีนในสื่อสังคมออนไลน์ เนื่องจากกระบวนการพัฒนาวัคซีนที่ใช้เวลาอย่างรวดเร็ว และยังไม่ทราบผลข้างเคียงในระยะยาว (Wilson et al., 2020) นับตั้งแต่ปลายปี 2562 จนถึงปัจจุบันนี้ เชื้อไวรัสซาร์ส-โควิ-2 ยังคงกลายพันธุ์ และมีการแพร่ระบาดซ้ำเป็นระลอก หลายประเทศได้ทำการศึกษาประเด็นความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวางแผน และปรับปรุงการสื่อสารเพื่อรณรงค์ให้ประชาชนเข้ารับการฉีดวัคซีน สร้างความตระหนักถึงสำคัญ และทำความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้สึกกลัว กังวลวัคซีน โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัวจะมีความกังวลเกี่ยวกับผลข้างเคียงของวัคซีนเข็มกระตุ้น (Fadda et al. 2021) ในขณะนั้นทฤษฎีการแพทย์เชื่อว่า วัคซีนชนิดเอ็มอาร์เอ็นเอ (mRNA-based vaccine) สามารถลดความเสี่ยงในการติดเชื้อโควิด-19 ซ้ำ และมีประสิทธิภาพต่อสายพันธุ์โอมิครอน (Omicron variants) หรือ B.1.1.529 และสายพันธุ์อาร์คตัส (Arcturus variants) หรือ XBB.1.16 (Berger, 2023; O'Mary 2023) นับเป็นช่วงสำคัญของการศึกษาตัวแปรทางจิตสังคมที่ส่งผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนโควิด-19 ทั้งในรูปแบบการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร การสร้างโมเดลเชิงโครงสร้างวิเคราะห์ปัจจัยทำนาย ตลอดจนการสร้างแบบจำลองหรือสมการทำนาย โดยใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาค (binary logistic regression analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์หรือไม่เกิดเหตุการณ์ของเหตุการณ์หนึ่ง ๆ โดยอาศัยตัวแบบลอจิสต์ที่สร้างขึ้นจากชุดตัวแปรทำนาย ( $x$ 's) ซึ่งมีข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์กล่าวโดย กำหนดตัวแปรตาม ( $y$ ) 2 ค่า คือ ไม่เกิดเหตุการณ์ ( $y=0$ ) กับ เกิดเหตุการณ์ ( $y=1$ ) หรือที่เรียกว่า dichotomous ข้อมูล หรือตัวแปรทุกตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน และตัวแปรทำนาย หรือตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันต่ำ เพราะจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) สูงเกินความเป็นจริงเรียกว่า ปัญหาความสัมพันธ์พหุร่วมเชิงเส้น (multicollinearity) (Harris, 2021; Charoensit, 2017) โดยระบุค่าสหสัมพันธ์ ( $r$ ) ไม่เกิน 0.80 (Charoensit, 2017) ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรทำนายกับตัวแปรตามจะปรับฟังก์ชันให้อยู่ในรูปเชิงเส้น (logistic transformation) เพื่อให้อยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น คือ  $\text{logit}(y) = \text{Constant}(B) + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p$  (Charoensit, 2017) ประโยชน์ของสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาคทำให้ทราบถึงอิทธิพลในเชิงปริมาณของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มหรือลดโอกาสของการเกิดพฤติกรรมที่สนใจได้ (Charoensit, 2017)



จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสมการพยากรณ์เพื่อทำนายการตัดสินใจฉีดวัคซีนโควิด-19 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาคพบว่า ประเทศไทยมีสมการทำนายปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนโควิด-19 เพิ่มกระตุนของบุคลากรในโรงพยาบาลตำรวจ (Boontawee, 2022) แต่ยังไม่พบการศึกษาดังกล่าวในกลุ่มผู้สูงอายุ สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศพบว่า มีการสร้างสมการทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาคของประชาชนที่อาศัยอยู่ในฉนวนกาซาของประเทศปาเลสไตน์ (Abusaleem et al., 2022) ฟิลิปินส์ (Caple et al., 2022) สหรัฐอเมริกา (Al Janabi, 2021) อินเดีย (Vivek Raj, 2022) โดยพบงานวิจัยจากหลายประเทศที่วิเคราะห์ปัจจัยที่สามารถทำนายโอกาสในการฉีดหรือไม่ฉีดวัคซีนโควิด-19 โดยนำทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) มากำหนดเป็นตัวแปรอิสระพบว่า แนวคิด 3 ด้าน กล่าวคือ ทักษะคติ อิทธิพลทางสังคม และการรับรู้ในการควบคุมพฤติกรรม สามารถทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Chu et al., 2021; Dratzkowski et al., 2022; Hayashi et. al., 2022; Husain et al., 2021; Wang et al., 2023; Zaid et. al., 2022) ซึ่งทฤษฎีตามแผนอธิบายว่า พฤติกรรมที่แสดงออกของบุคคลนั้นเป็นผลมาจากเจตนา (intention) ประกอบด้วย 1) ทักษะคติต่อพฤติกรรม (Attitudes towards the behavior) หมายถึง การประเมินทางบวกหรือลบของบุคคลต่อภาพรวมของพฤติกรรมนั้น เกิดจากความเชื่อของบุคคลเกี่ยวกับผลที่ตามมาจากการกระทำ เมื่อมีทักษะคติบวกจะเกิดความตั้งใจที่จะแสดงพฤติกรรมนั้น ๆ 2) การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (Subjective norm หรือ normative beliefs) หรืออิทธิพลทางสังคม เป็นการรับรู้ หรือความเชื่อว่าบุคคล หรือกลุ่มคนที่มีความสำคัญสำหรับตนเองคิดว่าตนเองควรทำพฤติกรรมนั้น บุคคลก็จะมีแนวโน้มทำพฤติกรรมนั้น การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (Perceived behavioral control) หมายถึง ความรู้สึกยาก หรือง่ายในการแสดงพฤติกรรมใด ๆ เกิดจากความเชื่อของบุคคลที่มีต่อปัจจัยอาจส่งเสริมหรือขัดขวางการแสดงพฤติกรรม (Ajzen, 1991, 2006) สอดคล้องกับการนำมาอธิบายพฤติกรรมที่เกิดจากความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้อย่างชัดเจน

การศึกษานี้จึงเป็นการสร้างตัวแบบการถดถอยลอจิสติกทวิภาคมาทำนายความน่าจะเป็นที่จะไปฉีดวัคซีนหรือไม่ไปฉีดวัคซีนของผู้สูงอายุในจังหวัดจันทบุรี โดยให้ความสำคัญตามกรอบแนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ประโยชน์ในการทำนายจะช่วยให้บุคลากรทางด้านสาธารณสุขที่เกี่ยวข้องกับการณรงค์วัคซีนนำมาวางแผนกระตุ้นการเข้ารับบริการฉีดวัคซีนโควิด-19 ประจำปีต่อไป

## 2. วิธีการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบเชิงทำนาย (predictive research) เพื่อสร้างสมการพยากรณ์จากข้อมูลของโครงการวิจัยเรื่อง “ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ในผู้สูงอายุ จังหวัดจันทบุรี” ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จังหวัดจันทบุรี/เขตสุขภาพที่ 6 COA no. 062/64 รับรองวันที่ 12 กรกฎาคม 2564

### 2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา คือ ผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีที่มีอายุ 60 ปี ขึ้นไป ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (multi-stage sampling) โดยขั้นแรกแบ่งพื้นที่การศึกษาตามอำเภอ สุ่มเลือกแบบง่ายมา 3 แห่ง เลือกตำบล 1 แห่งมาแต่ละอำเภอ และเลือกตัวอย่างแบบสะดวกโดยกำหนดคุณสมบัติเกณฑ์คัดเข้า คือ ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป ทั้งชายและหญิง สัญชาติไทย อาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี สามารถติดต่อสื่อสารภาษาไทยได้ รวมทั้งยินดีและให้ความยินยอมเข้าร่วมการศึกษา หลังได้รับฟังคำชี้แจงเกณฑ์กำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับใช้โปรแกรม G\*Power กำหนดค่า  $r = 0.3$  ค่าอำนาจการทดสอบ (effect size) เท่ากับ 0.80 ค่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 พบว่าต้องใช้กลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่า 257 คน (Thato, 2018)

### 2.2 การรวบรวมข้อมูล

ประกอบด้วย 2 วิธี 1) แบบกระดาษแจกเองโดยผู้วิจัย หรือผู้ช่วยวิจัยซึ่งผ่านการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับวัตถุประสงค์การวิจัย แบบสอบถาม และขั้นตอนการเก็บข้อมูล ซึ่งผู้ช่วยวิจัยเป็นบุคลากรทางสาธารณสุขทำหน้าที่

เก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเช่นเดียวกับผู้วิจัยในวันที่ผู้วิจัยไม่สามารถเดินทางไปเก็บข้อมูลได้ โดยแนะนำตนเอง อธิบายวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล หลังจากนั้นเชิญเข้าร่วมการวิจัย ให้ผู้ที่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยลงชื่อในหนังสือยินยอมการเข้าร่วมวิจัย และแจกแบบสอบถามรวมถึงชี้แจงรายละเอียดในการตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที ในกรณีที่ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่เข้าใจในข้อคำถามใด ผู้วิจัย หรือผู้ช่วยวิจัยจะอธิบายซ้ำเป็นรายบุคคล ซึ่งผู้วิจัยอยู่บริเวณใกล้ ๆ โดยห่างจากกลุ่มตัวอย่าง อย่างน้อย 2 เมตร เพื่อให้คำอธิบายเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีข้อสงสัย จากนั้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างทำแบบสอบถามครบแล้วนำส่งคืนผู้วิจัย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะใส่หน้ากากอนามัย และล้างมือด้วยแอลกอฮอล์เจลทุกครั้งก่อนและหลังจากการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน ผู้สูงอายุที่เข้าร่วมตอบแบบสอบถามจะได้รับชุดของที่ระลึกซึ่งบรรจุเจลแอลกอฮอล์ และหน้ากากอนามัยเป็นการตอบแทน และ 2) แบบ Google Form platform จัดทำเป็นรูป QR Code ส่งต่อผ่านสื่อสังคมออนไลน์เชื่อมต่อ social media เช่น ไลน์ เฟซบุ๊ก หลังจากผู้สูงอายุอ่านและกดยอมรับเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการแล้ว แบบสอบถามจะปรากฏ โปรแกรมจะบังคับตอบหมดทุกข้อ ผู้สูงอายุที่ตอบคำถามจะได้รับข้อความแสดงความขอบคุณ โดยไม่ได้รับค่าตอบแทนใด ๆ เพิ่มเติม

## 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

พัฒนามาจากทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ประกอบด้วย (1) แบบวัดทัศนคติ (2) แบบวัดอิทธิพลทางสังคม (3) แบบวัดการรับรู้การควบคุมตนเอง เป็นคำถามเกี่ยวกับการฉีดวัคซีนโควิด-19 ทั้งหมด 16 ข้อ ซึ่งทั้ง 3 แบบวัด ใช้มาตราวัดแบบอันดับ 3 ระดับ (เห็นด้วย เฉย ๆ ไม่เห็นด้วย) โดยการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือผ่านผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญ 5 ท่าน ได้แก่ ด้านการวิจัยวัคซีนภาคสนาม 2 ท่าน ด้านการพยาบาล ผู้สูงอายุ 1 ท่าน และด้านสถิติ 2 ท่าน ได้ค่าความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.87-1.00 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าความเที่ยง (reliability) นำไปทดลองใช้กับผู้สูงอายุที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน โดยหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (cronbach's alpha coefficient) พบว่า ชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.83 ชุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.81 ชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.80

## 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาคเพื่อทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ ผู้วิจัยดัดแปลงให้คำตอบมีลักษณะเป็นตัวแปรแบ่งสอง (dichotomous variable) ให้ 1 คะแนน ถ้าตอบว่า “เห็นด้วย” และให้ 0 คะแนน ถ้าตอบว่า “เฉย ๆ” กับ “ไม่เห็นด้วย” (0 = ไม่เห็นด้วย 1 = เห็นด้วย) โดยคำถาม 16 ข้อเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรทำนาย (X) คือ ด้านทัศนคติที่มีต่อวัคซีนโควิด-19 จำนวน 5 ข้อ (เห็นด้วย ไม่เห็นด้วย) ด้านอิทธิพลทางสังคมที่มีต่อการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 จำนวน 6 ข้อ (เห็นด้วย ไม่เห็นด้วย) และด้านการรับรู้การควบคุมตนเองในการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 จำนวน 5 ข้อ (เห็นด้วย ไม่เห็นด้วย) ตัวแปรตาม หรือตัวแปรเกณฑ์ (Y) คือ ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ กำหนดเป็นตัวแปร 2 ค่า โดย 0 = ไม่ตั้งใจ และ 1 = ตั้งใจ

## 3. ผลการศึกษา

### 3.1 การวิเคราะห์ตัวแปรทำนายที่มีผลต่อความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านทัศนคติ ด้านอิทธิพลทางสังคม และด้านการรับรู้การควบคุมพฤติกรรมกับความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ อธิบายได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทุกคู่มีค่าระหว่าง 0.251 - 0.629 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยทุกตัวแปรทดสอบผ่านเกณฑ์ค่าสหสัมพันธ์ไม่เกิน 0.70 ( $r < 0.70$ )

### 3.2 สร้างสมการพยากรณ์ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SPSS ผู้วิจัยนำตัวแปรทำนายทั้ง 16 ตัว วิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาคด้วยวิธี enter method โดยเลือกตัวแปรเข้าสมการในขั้นตอนเดียว เนื่องจากตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงทฤษฎีชัดเจน

### ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบเข้าพร้อมกัน (Enter multiple regression)

| ตัวแปร                                              | B      | S.E.  | Wald   | df | p-value  | Exp(B) |
|-----------------------------------------------------|--------|-------|--------|----|----------|--------|
| จำเป็นต่อผู้สูงอายุ (AT1)                           | 2.036  | .645  | 9.961  | 1  | 0.002**  | 7.663  |
| ลดความรุนแรงโรค (AT2)                               | -.313  | .533  | .346   | 1  | 0.556    | .731   |
| ข้อดีมากกว่าข้อเสีย (AT3)                           | .626   | .530  | 1.394  | 1  | 0.238    | 1.869  |
| ไม่กังวลถึงผลข้างเคียง (AT4)                        | .030   | .456  | .004   | 1  | 0.947    | 1.031  |
| ช่วยให้ใช้ชีวิตได้ปกติ (AT5)                        | -2.117 | .692  | 9.364  | 1  | 0.002**  | .120   |
| ลูกหลาน ครอบครัว (SO1)                              | 1.545  | .472  | 10.727 | 1  | 0.001**  | 4.689  |
| แพทย์ พยาบาล เจ้าหน้าที่สาธารณสุขฯ (SO2)            | 1.748  | .588  | 8.822  | 1  | .003*    | 5.742  |
| ญาติพี่น้อง คนรู้จัก (SO3)                          | -1.449 | .794  | 3.333  | 1  | 0.068    | .235   |
| เพื่อนสนิท (SO4)                                    | .672   | .673  | .999   | 1  | 0.318    | 1.959  |
| บุคคลที่นับถือ (SO5)                                | -.562  | .643  | .764   | 1  | 0.382    | .570   |
| ภาพผู้สูงอายุได้รับการฉีดวัคซีนผ่านสื่อต่าง ๆ (SO6) | -.275  | .500  | .303   | 1  | .582     | .760   |
| ฉีดแม้มีปฏิกิริยาหลังฉีด (SC1)                      | -.565  | .552  | 1.050  | 1  | .306     | .568   |
| ฉีดเพราะประสิทธิภาพ (SC2)                           | 1.038  | .451  | 5.291  | 1  | 0.021*   | 2.822  |
| ฉีดเพราะลดความรุนแรง (SC3)                          | 2.096  | .552  | 14.396 | 1  | 0.000*** | 8.135  |
| ฉีดแม้จะกลัวเข็ม/เลือด (SC4)                        | .065   | .632  | .011   | 1  | 0.918    | 1.068  |
| ฉีดเพราะฟรี (SC5)                                   | -.266  | .461  | .333   | 1  | 0.564    | .766   |
| ค่าคงที่                                            | -5.867 | 1.224 | 22.994 | 1  | 0.000*** | .003   |

\*p-value < 0.05, \*\*p-value < 0.01, \*\*\*p-value < 0.001

ในตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบเข้าพร้อมกันพบว่า ตัวแปรทำนาย 6 ตัวที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ตัวแปรด้านทัศนคติ คือ AT1 (เชื่อว่าวัคซีนมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ) AT5 (เชื่อว่าวัคซีนจะทำให้ทุกคนกลับมาใช้ชีวิตเหมือนเดิมได้) ตัวแปรอิทธิพลทางสังคม คือ SO1 (ลูกหลาน และคนในครอบครัว) SO2 (หมอ พยาบาล หรือเจ้าหน้าที่สาธารณสุข) และตัวแปรการรับรู้การควบคุมตนเอง คือ SC2 (การรับรู้ว่ามีประสิทธิภาพดี) SC3 (การรับรู้ว่ามีวัคซีนช่วยลดความรุนแรงต่อการติดเชื้อโควิด-19)

เมื่อสร้างสมการถดถอยลอจิสติกทวิภาค โดยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยลอจิสติกจากตัวแปร 6 ตัว ด้วยเทคนิคของความน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood estimation; MLE) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบเวียนซ้ำ (iterative process) ทั้งหมด 6 รอบ พบค่า -2 log likelihood (-2LL) สั้นรอบที่หกได้ค่าสูงสุด คือ 179.156 แล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงหยุด iteration โดยจะเห็นว่าค่า -2LL ลดลงแสดงว่าตัวแปรในสมการมีความเหมาะสม

## ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้จากการวิเคราะห์ถดถอยลอจิสติกทวิภาค

| ตัวแปรที่มีผลต่อความตั้งใจฉีดวัคซีนโควิด-19    | B      | S.E. | Wald   | df | p-value | Exp(B) |
|------------------------------------------------|--------|------|--------|----|---------|--------|
| วัคซีนจำเป็นต่อผู้สูงอายุ (AT1)                | 2.022  | .529 | 14.589 | 1  | .000*** | 7.555  |
| วัคซีนทำให้ทุกคนกลับมาใช้ชีวิตเหมือนเดิม (AT5) | -2.423 | .604 | 16.084 | 1  | .000*** | .089   |
| อิทธิพลจากลูกหลาน และคนในครอบครัว (SO1)        | 1.409  | .424 | 11.063 | 1  | .001**  | 4.093  |
| อิทธิพลจากหมอ พยาบาลฯ (SO2)                    | .922   | .454 | 4.114  | 1  | .043*   | 2.514  |
| การรับรู้วัคซีนมีประสิทธิภาพดี (SC2)           | 1.160  | .419 | 7.679  | 1  | .006**  | 3.189  |
| การรับรู้วัคซีนช่วยลดความรุนแรง (SC3)          | 1.702  | .445 | 14.655 | 1  | .000*** | 5.483  |
| ค่าคงที่                                       | -6.475 | .971 | 44.512 | 1  | .000*** | .002   |

\*p-value < 0.05, \*\*p-value < 0.01, \*\*\*p-value < 0.001

จากตารางที่ 2 ทดสอบความเหมาะสมสัมประสิทธิ์การถดถอยลอจิสติกของตัวแปรทำนายแต่ละตัวด้วยสถิติทดสอบของวอลด์ (wald statistic) พบว่าตัวแปรทั้งหมดมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกอยู่ 5 ตัวแปร แสดงว่ามีโอกาสไปฉีดวัคซีนโควิด-19 เพิ่มขึ้น ยกเว้น หักคนที่เชื่อว่าวัคซีนทำให้ทุกคนกลับมาใช้ชีวิตเหมือนเดิม (AT5) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ แสดงว่าลดโอกาสไปฉีดวัคซีนโควิด-19 แต่เป็นตัวแปรสำคัญต่อการทำนายความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 มากที่สุด (B = -2.423) เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุ พบว่า ผู้สูงอายุที่มีความเชื่อว่าวัคซีนมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีโอกาสที่จะไปฉีดวัคซีนโควิด-19 เพิ่มขึ้น 7.5 เท่า (Exp(B) = 7.555) รองลงมา ผู้สูงอายุที่รับรู้วัคซีนจะช่วยลดความรุนแรงต่อการติดเชื้อโควิด-19 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนเพิ่มขึ้น 5.4 เท่า (Exp(B) = 5.483) ผู้สูงอายุที่ได้รับการสนับสนุนจากลูกหลานและคนในครอบครัวเพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนเพิ่มขึ้น 4.0 เท่า (Exp(B) = 4.093) ผู้สูงอายุที่รับรู้วัคซีนมีประสิทธิภาพดีเพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนเพิ่มขึ้น 3.1 เท่า (Exp(B) = 3.189) และผู้สูงอายุที่เห็นคล้อยตามแพทย์ พยาบาล เจ้าหน้าที่สาธารณสุขเพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนเพิ่มขึ้น 2.5 เท่า (Exp(B) = 2.514) และผู้สูงอายุที่เชื่อว่าวัคซีนทำให้ทุกคนกลับมาใช้ชีวิตเหมือนเดิมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย มีความตั้งใจในการไปฉีดวัคซีนลดลง 91.1% (Exp(B) = 0.089)

จากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้สามารถเขียนสมการถดถอยลอจิสติกทวิภาคเพื่อทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุได้ดังนี้

$$Y_{\text{ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด 19 ของผู้สูงอายุ}} = -6.475 + 2.022(AT1^{***}) - 2.423(AT5^{***}) + 1.409(SO1^{**}) + 0.922(SO2^{*}) + 1.160(SC2^{**}) + 1.702(SC3^{***})$$

\*p-value < 0.05, \*\*p-value < 0.01, \*\*\*p-value < 0.001

โดยผลการทดสอบความเหมาะสมสัมประสิทธิ์ของสมการโดยใช้ Omnibus Tests of Model Coefficients พบว่า Chi-square ใน Step Block และ Model มีค่าเท่ากัน คือ 133.171 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเป็นรูปแบบสมการที่มีลักษณะคงตัว เมื่อทดสอบความเหมาะสมของสมการทำนายโดยใช้ Hosmer and Lemeshow Test แสดงค่า Chi-Square = 7.589 ค่า df=7 และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงว่าตัวแปรทำนายที่เพิ่มเข้าไปในรูปแบบสมการนั้นยอมรับได้เพราะค่าที่พยากรณ์กับค่าจริงไม่แตกต่างกัน สามารถนำไปใช้ทำนายโอกาสไปฉีดหรือไม่ฉีดวัคซีนโควิด-19 สำหรับผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการทำนาย โดยพิจารณา goodness of fit จากค่า -2LL = 122.556 ส่วนการวิเคราะห์ค่าอำนาจในการทำนายพบว่า ตัวแปรทำนายทั้ง 6 ตัว สามารถอธิบายความผันแปรของความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ร้อยละ 50.2 (Cox & Snell  $R^2$  = 0.502) และมีค่าอำนาจการทำนายที่ปรับใหม่ได้ร้อยละ 73.60 (Nagelkerke  $R^2$  = 0.736) สมการพยากรณ์ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุมีโอกาสถูกต้องโดยรวม

ร้อยละ 84.6 โดยในกลุ่มที่ตั้งใจไม่ฉีดวัคซีน มีโอกาสถูกต้องร้อยละ 64.5 และในกลุ่มที่ตั้งใจฉีดวัคซีน มีโอกาสถูกต้องร้อยละ 91.5

### 3.3 อภิปรายผลการศึกษา

ปัจจัยที่สามารถทำนายความตั้งใจในการไปฉีด และไม่ฉีดวัคซีนโควิด-19 ของผู้สูงอายุในจังหวัดจันทบุรี ได้แก่ 1) ความเชื่อว่าวัคซีนมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ 2) ความเชื่อว่าวัคซีนจะทำให้ทุกคนสามารถกลับมาใช้ชีวิตได้ตามเดิม 3) อิทธิพลจากสมาชิกภายในครอบครัว 4) การเห็นคล้อยตามบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข 5) การรับรู้ว่ามีวัคซีนมีประสิทธิภาพดี และ 6) การรับรู้ว่ามีวัคซีนช่วยลดความรุนแรงของอาการเมื่อติดเชื้อ โดยเฉพาะความเชื่อว่าวัคซีนมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุเป็นตัวแปรที่สามารถทำนายโอกาสที่จะไปฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้ดีที่สุดในสมการนี้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในหลายประเทศที่พบว่า ปัจจัยที่พัฒนาจากแนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 มากที่สุด คือ ทศนคติ ได้แก่ อินโดนีเซีย (Zaid et al., 2022) โปแลนด์ (Drazkowski et al., 2022) มอลตา (Cordina et al., 2021) เยอรมนี (Seddig et al., 2022) จีน (Fan et al., 2021) และสหรัฐอเมริกา (Chu et al., 2021) เช่นเดียวกับในประเทศไทยพบว่า ทศนคติที่มีต่อวัคซีนด้านบวกส่งผลต่อความตั้งใจในการฉีดวัคซีนของผู้สูงอายุ (Kittipimpanon et al. 2022) นอกจากนี้ยังมีหลายการศึกษาพบว่า ทศนคติที่มีต่อวัคซีนโควิด-19 ตามแนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการฉีดวัคซีน (Limbu et al., 2022) ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบควบคุมการระบาดของโรคโควิด-19 จึงควรให้ความสำคัญในการสื่อสาร และเผยแพร่ความรู้เรื่องระบบภูมิคุ้มกันของผู้สูงอายุที่ลดลงตามวัย ถ้าได้รับเชื่อการดำเนินของโรคจะรุนแรงมากกว่าวัยอื่น โดยถ่ายทอดผ่านบุคลากรทางด้านการแพทย์ และสมาชิกในครอบครัวซึ่งเป็นกลุ่มบุคคลที่ผู้สูงอายุให้ความไว้วางใจ สอดคล้องกับงานวิจัยพบว่า การให้ความเชื่อถือในคำแนะนำของแพทย์ และความคิดเห็นจากลูกหลาน สมาชิกในครอบครัวของผู้สูงอายุ เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกในการไปฉีดวัคซีนโควิด-19 (Callow et al., 2021; Cordina et al., 2021) สำหรับตัวแปรการรับรู้การควบคุมตนเอง คือ การรับรู้ว่ามีประสิทธิภาพดี และการรับรู้ว่ามีวัคซีนช่วยลดความรุนแรงของอาการเมื่อติดเชื้อ เป็นปัจจัยสำคัญสามารถชี้ชัดได้ว่าผู้สูงอายุตั้งใจฉีด หรือไม่ฉีดวัคซีนโควิด-19 เช่นเดียวกับงานวิจัยหลายเรื่องที่กำหนดตัวแปรภายใต้ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนที่พบว่า ทศนคติ อิทธิพลทางสังคม และการรับรู้ในการควบคุมพฤติกรรม สามารถทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Chu et al., 2021; Drazkowski et al., 2022; Hayashi et al., 2022; Husain et al., 2021; Wang et al., 2023; Zaid et al., 2022) อาจกล่าวได้ว่า แนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้เป็นอย่างดี และได้รับการทดสอบอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในช่วงสถานการณ์แพร่ระบาดโรคโควิด-19 นำมาใช้อธิบายพฤติกรรมตัดสินใจเข้ารับการฉีดวัคซีนโควิด-19 ได้อย่างชัดเจน และเหมาะสมต่อการใช้สถิติการวิเคราะห์ถดถอยตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างตัวแปร อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้พบตัวแปรทำนายที่เชื่อว่าผู้สูงอายุตัดสินใจเข้ารับการฉีดวัคซีนเป็นเพราะต้องการกลับไปใช้ชีวิตในรูปแบบเดิมนั้นกลายเป็นปัจจัยขัดขวางต่อการตัดสินใจเข้ารับการฉีดวัคซีนโควิด-19 อาจเป็นเพราะในการศึกษานี้ กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 80 เคยเข้ารับการฉีดวัคซีนโควิด-19 แล้ว และมากกว่าครึ่งได้รับวัคซีนโควิด-19 อย่างน้อย 2 เข็มขึ้นไป (Khowsroy et al., 2022) ขณะเดียวกันระหว่างเก็บข้อมูลเริ่มมีกระแสข่าวว่า วัคซีนที่ฉีดไม่สามารถทำให้เกิดภูมิคุ้มกันได้ตามความมุ่งหมายของการณรงค์ฉีดวัคซีนระยะแรกที่ต้องการให้สังคมกลับมาดำเนินชีวิตเหมือนเดิม เนื่องจากหลังฉีดภูมิคุ้มกันลดลงตลอดเวลา และไม่สามารถป้องกันการติดเชื้อได้ ทุกคนจะต้องสร้างภูมิคุ้มกันขึ้นมาจากการฉีดวัคซีน หรือหลังได้รับเชื้อ (Manageronline, 2022) จึงอาจมีผลต่อความรู้สึกไม่เชื่อมั่นว่าการฉีดวัคซีนโควิด-19 จะทำให้ทุกคนสามารถกลับมาใช้ชีวิตเช่นเดิมได้ และไม่ใช้เหตุผลประกอบการตัดสินใจฉีดวัคซีนอีกต่อไป อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาข้อมูลสถิติการเข้ารับการฉีดวัคซีนของประชากรทั่วโลก เห็นได้ว่าตัวเลขลดลงอย่างเด่นชัด เช่นเดียวกับประเทศไทยพบว่า นับตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนธันวาคม ปี 2564 มีผู้เข้ารับบริการฉีดวัคซีนสูงขึ้นเรื่อย ๆ สูงสุดเกือบ 4 แสนคนต่อวัน ต่อมาเริ่มไต่ระดับลดลงมาเรื่อย ๆ จนถึงเดือนกันยายน ปี 2565 ประมาณ 2 หมื่นคนต่อวัน (Mathieu et al., 2020) สอดคล้องกับงานวิจัยหลายเรื่อง ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับ



ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 พบว่า ยอดผู้เข้ารับบริการฉีดวัคซีนโควิด-19 จะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับวัคซีนเพื่อลดความสงสัย คลายข้อกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัย ผลข้างเคียง ประสิทธิภาพ ของวัคซีนที่ไม่แน่นอน และสถานการณ์แพร่ระบาดในช่วงเวลานั้น ๆ (Adu et al., 2023) รวมทั้งความอ่อนล้าจาก การแพร่ระบาดซ้ำ ความเชื่อมั่นในบริษัทผู้ผลิตวัคซีน อิทธิพลจากสังคม และทัศนคติด้านลบที่มีต่อวัคซีน ล้วนเป็นปัจจัย ส่งผลต่อความยินยอมในการเข้าร่วมรับวัคซีนโควิด-19 (Ali-Saleh, 2023) โดยปัจจุบันประเทศไทยได้ปรับให้โรคโควิด-19 จากโรคติดต่ออันตรายเป็นโรคติดต่อเฝ้าระวัง ให้บริการฉีดวัคซีนโควิด-19 ประจำปีเช่นเดียวกับวัคซีนไข้หวัดใหญ่นับตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม ปี 2566

#### 4. สรุป

การสร้างสมการพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาค พบว่าปัจจัยที่สามารถทำนาย ความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 1) ความเชื่อว่าวัคซีนมีความจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ 2) ความเชื่อว่าวัคซีนจะทำให้ทุกคนสามารถกลับมาใช้ชีวิตได้ตามเดิม 3) อิทธิพลจากสมาชิกภายในครอบครัว 4) การเห็น คล้อยตามบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข 5) การรับรู้ว่ามีประสิทธิภาพดี และ 6) การรับรู้ว่ามีวัคซีนช่วยลด ความรุนแรงของอาการเมื่อติดเชื้อ ซึ่งผู้สูงอายุที่ตอบเห็นด้วยทั้ง 6 ข้อค่านั้น มีแนวโน้มไปฉีดวัคซีนมากกว่ากลุ่มที่ ตอบไม่เห็นด้วย โดยความเชื่อว่าการฉีดวัคซีนจะทำให้ทุกคนสามารถกลับมาใช้ชีวิตได้ตามเดิมกลายเป็นปัจจัยที่ทำให้ ไม่ตั้งใจไปฉีดวัคซีน การจัดกิจกรรมส่งเสริมให้ผู้สูงอายุยอมรับการฉีดวัคซีนโควิด-19 จึงควรปรับเปลี่ยนทัศนคติที่มีต่อ วัคซีนโควิด-19 โดยเฉพาะเรื่องความจำเป็นของการฉีดวัคซีนโควิด-19 ในกลุ่มผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นปัจจัยส่งผลต่อการตัดสินใจ ไปฉีดวัคซีนที่สำคัญที่สุด และผลการวิจัยครั้งนี้ได้สนับสนุนการประยุกต์ใช้แนวคิดทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนสร้างสมการ พยากรณ์ทำนายความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19

ข้อจำกัดการวิจัยและข้อเสนอแนะครั้งต่อไป ควรเปรียบเทียบการวิเคราะห์รูปแบบสมการเปรียบเทียบกับ จังหวัดอื่น ๆ หรือในระดับประเทศ ซึ่งอาจพบความแตกต่างของรูปแบบสมการความตั้งใจในการฉีดวัคซีนโควิด-19 ใน แต่ละบริบทแวดล้อม รวมถึงปัจจัยอื่นที่วัคซีนที่ได้รับ และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลงด้วยสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณิ เตียววิเศษ คณะบดีคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี และขอขอบคุณทุนวิจัยจากสมาคมพยาบาล แห่งประเทศไทยฯ สาขาภาคตะวันออก

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- Abusaleem, S., Abuhammad, S., Sha, S., Mar, M.M., Aljeesh, Y. & Eldeirawi, K.M. (2022). Intentions to Receive COVID-19 Vaccination among People in Gaza Strip. *Electronic Journal of General Medicine*, 19(6): em412.
- Adu, P., Poopola, T., Medvedev, O.N., Collings, S., Mbinta, J., Aspin, C. & Simpson, C.R. (2023). Implications for COVID-19 Vaccine Uptake: A Systematic Review. *Journal of Infection and Public Health*, 16(3): 441-466.
- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organ Behav Hum Decis Process.*, 50(2): 179-211.
- Ajzen, I. (2006). *Behavioral Interventions Based on the Theory of Planned Behavior*. Retrieved 30 May 2021, from [https://www.researchgate.net/publication/245582784\\_Behavioral\\_Interventions\\_Based\\_on\\_the\\_Theory\\_of\\_Planned\\_Behavior](https://www.researchgate.net/publication/245582784_Behavioral_Interventions_Based_on_the_Theory_of_Planned_Behavior).

- Al Janabi, T. & Pino, M. (2021). Predictors for Actual COVID-19 Vaccine Uptake and Intended Booster Dosage among Medical Students of an Osteopathic Medical School in New York. **Epidemiologia**, 2(4): 553-563.
- Ali-Saleh, O., Khatib, M. & Hadid, S. (2023). Factors Predicting Compliance with the Uptake of the Third COVID-19 Vaccine among the Arab Minority in Israel. **Health & Social Care in the Community**, 2023: 1-10.
- Berger, E. (2023). Covid Officials Say New ‘Arcturus’ Variant Could Be Linked to Conjunctivitis | **Coronavirus | The Guardian**. Retrieved 8 June 2023, from <https://www.theguardian.Com/world/2023/may/09/covid-variant-arcturus-conjunctivitis>.
- Boontawee, C. (2022). Factors Affecting the Decision to Vaccinate Booster Shots of the Coronavirus (COVID-19) among the Personnel of Nursing Department, Police General Hospital. **Journal of Research for Health Improvement and Quality of Life**, 12(2):49-60.
- Callow, M.A & Callow, D.D. (2021). Older Adults’ Behavior Intentions Once a COVID-19 Vaccine Becomes Available. **J Appl Gerontol.**, 40(9): 943-952.
- Caple, A., Dimaano, A., Sagolili, M.M., Uy, A.A., Aguirre, P.M., Alano, D.L., Camaya, G.S., Ciriaco, B.J., Clavo, P.J.M., Cuyugan D., Fermo, C.F.G., Lanete, P.J., La Torre A.J., Loteyro, T., Lua, R.M., Manansala, N.J., Mosquito, R.W., Orfanel A.E., Pascual G.M., Sale A.J., Tendenilla S.L., Trinidad, M.S.L., Trinidad, N.J., Verano D.L., Austriaco, N. (2022). Interrogating COVID-19 Vaccine Intent in the Philippines with a Nationwide Open-Access Online Survey. **PeerJ.**, 10: e12887.
- Charoensit, O. (2017). Binary Logistic Regression Analysis for Social Science Research. **SAU Journal of Social Sciences & Humanities**, 1(2): 1-9. (in Thai)
- Chu, H. & Liu, S. (2021). Integrating Health Behavior Theories to Predict American’s Intention to Receive a COVID-19 Vaccine. **Patient Educ Couns.**, 104(8): 1878-1886.
- Cordina, Maria, Mary A. Lauri, & Josef Lauri. (2021). Attitudes towards Covid-19 Vaccination, Vaccine Hesitancy and Intention to Take the Vaccine. **Pharm Pract (Granada)**, 19(1): 2317.
- Drazkowski, D. & Trepanowski, R. (2022). Reactance and Perceived Disease Severity as Determinants of COVID-19 Vaccination Intention: An Application of the Theory of Planned Behavior. **Psychol Health Med.**, 27(10): 2171–2178.
- Ezati Rad, R., Kahnouji, K., Mohseni, S., Shahabi, N., Noruziyan, F., Farshidi, H., Hosseinpoor, M., Kashani, S., Takhti, K., Azad, M.H., & Teamur Aghamolaei. (2022). Predicting the COVID-19 Vaccine Receive Intention Based on the Theory of Reasoned Action in the South of Iran. **BMC Public Health**, 22(1): 229.
- Fadda, M., Suggs L.S. & Albanese, E. (2021). Willingness to Vaccinate against Covid-19: A Qualitative Study Involving Older Adults from Southern Switzerland. **Vaccine: X**, 8:100108.
- Fan, C.W., Chen, I.H., Ko, N.Y., Yen, C.F., Lin, C.Y., Griffiths M.D. & Pakpour, A.H. (2021). Extended Theory of Planned Behavior in Explaining the Intention to COVID-19 Vaccination Uptake among Mainland Chinese University Students: An Online Survey Study. **Hum Vacc and Immunother**, 17(10): 3413-3420.
- Harris, J. K. (2021). Primer on Binary Logistic Regression. **Fam Med Com Health**, 9: e001290.

- Hayashi, Y., Romanowich, P. & Hantula, D.A. (2022). Predicting Intention to Take a COVID-19 Vaccine in the United States: Application and Extension of Theory of Planned Behavior. **Am J Health Promot.**, **36**(4): 710-713.
- Husain, F., Shahnawaz, M.G., Khan, N.H., Parveen, H. & Savani, K. (2021). Intention to Get COVID-19 Vaccines: Exploring the Role of Attitudes, Subjective Norms, Perceived Behavioral Control, Belief in COVID-19 Misinformation, and Vaccine Confidence in Northern India. **Hum Vaccin Immunother.** **17**(11): 3941-3953.,
- Khowsroy, K., Yajai, S., Khowsai, V., Khaojang, C., Tookaew, R., Wongsangnoi, P. & Limcharoen, S. (2022). COVID-19 Vaccination Intention and Related Factors among Older Adults in Chanthaburi Province. **J Prapokklao Hosp Clin Med Educat Center**, **39**(4): 466-474. (in Thai)
- Kittipimpanon, K., Maneesriwongul, W., Butsing, N., Visudtibhan, J. & Leelacharas, S. (2022). COVID-19 Vaccine Literacy, Attitudes, and Vaccination Intention Against COVID-19 Among Thai Older Adults. **Patient Preference and Adherence**, **16**: 2365-2374.
- Limbu, Y. B., Gautam, R.K. & Zhou, W. (2022). Predicting Vaccination Intention against COVID-19 Using Theory of Planned Behavior: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Vaccines**, **10**(12): 2026.
- Manageronline. (2022). ‘MorYong’ We Will Not Achieve Herd Immunity as Everyone Have to Be Vaccinated. September 4. Retrieved 4 June 2023, from <https://mgronline.com/uptodate/detail/9640000087584>. (in Thai)
- Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., Roser, M., Hasell, J., Appel, C., Giattino, C. & Rod  s-Guirao, C. (2020). Coronavirus Pandemic (COVID-19). **Our World in Data**, **5**(7): 947-953.
- O’Mary, L. (2023). **Bivalent Booster Helps Prevent Symptoms from XBB.1.5: Study**. Retrieved 8 June 2023, from <https://www.medscape.com/viewarticle/987565>.
- Seddig, D., Maskileyson, D., Davidov, E., Ajzen, I. & Schmidt, P. (2022). Correlates of COVID-19 Vaccination Intentions: Attitudes, Institutional Trust, Fear, Conspiracy Beliefs, and Vaccine Skepticism. **Soc Sci Med.**, **302**: 114981.
- Shmueli, L. (2021). Predicting Intention to Receive COVID-19 Vaccine among the General Population Using the Health Belief Model and the Theory of Planned Behavior Model. **BMC Public Health**, **21**(1): 804.
- Thato, R. (2018). **Nursing Research: Concepts to Application**. 4<sup>th</sup> ed. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai)
- Vivek Raj, S.N. & Manivann, S.K. (2022). Machine Learning Models to Predict COVID-19 Vaccination Intention: An INdian Study. **Intern Journal of Profess Bus Review**, **7**(6): 1-16.
- Wang, J., Li, T., Ge, J., Zhou, M., Walker, A.N., Chen, J., Zhang, T., Zhang, K., Gu, S., & You, H. (2023). Applying Two Behavioral Theories to Predict the Willingness to Receive COVID-19 Vaccine Booster in the Elderly: A Cross-Sectional Study. **Res Social Adm Pharm.**, **19**(3): 495-501.
- Wilson, S.L. & Wiysonge, C. (2020). Social Media and Vaccine Hesitancy. **BMJ Global Health**, **5**(10): 4206.
- Zaid, S.A. & Al Bahy, M.P. (2022). Exploring the Role of Theory of Planned Behavior on Covid-19 Vaccination Intention. **JEHCP.**, **11**(3): 608-24.

# การออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

## Design of Temperature and Relative Humidity Test Kit for Grey Oyster Mushrooms Cultivation

สุกัญญา ทองโยธี<sup>1\*</sup>, วิริยะ แดงทน<sup>1</sup>, วีรยุทธ จีเพชร<sup>1</sup>, อารยันต์ วงษ์นิยม<sup>1</sup>  
ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ<sup>2</sup> และ ชวนันท์ ทองโยธี<sup>3</sup>

Sukanya Thongyothee<sup>1\*</sup>, Wiriya Dangton<sup>1</sup>, Veerayut Jeepetch<sup>1</sup>,  
Arayan Wongniyom<sup>1</sup>, Chainarong Lomchangkum<sup>2</sup> and Chawanant Thongyothee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร <sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ <sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

<sup>1</sup> Agricultural Machinery Engineering, <sup>2</sup> Food and Biological Engineering, <sup>3</sup> Metallurgical Engineering  
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Isan Khon Kaen Campus

\*E-mail: Sukanya.tn@rmu.ac.th, jelly\_to@hotmail.com โทร: +66-8-1444-0833

### บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์ ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์การออกแบบและสร้างตลอดจนประเมินผลชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้ามี 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า ใช้ระบบควบคุมการทำงาน 2 ส่วนประกอบหลัก ๆ คือ Digital Temperature Controller และเซนเซอร์ DHT11 ผลการทดสอบและประเมินผลการทำงานชุดทดสอบมีขนาดความกว้าง 95 เซนติเมตร ความยาว 95 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ใช้ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าจำนวน 130 ก้อน พบว่าในช่วงวันที่ 1-5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุด 27.6°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 85.7% ปริมาณการใช้น้ำต่ำสุด 25 ลิตร/วัน และช่วงวันที่ 6-15 มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 28.4°C ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด 89.3% และปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 32 ลิตร/วัน จากการควบคุมอุณหภูมิโดยการพ่นหมอก และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในชุดทดสอบที่ 28.07°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 87.65% และปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 28.4 ลิตร/วัน ผลการเปรียบเทียบพบว่าผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่เพาะแบบไม่มีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 5,067 กรัม และผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่เพาะแบบมีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 10,387 กรัม โดยมีผลผลิตต่างกัน 48.78 เปอร์เซ็นต์ การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีจุดคุ้มทุน 123 กิโลกรัม/ปี และระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 3 เดือน

**คำสำคัญ :** การเจริญเติบโตเห็ดนางฟ้า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ น้ำหนักเห็ดนางฟ้า

### Abstract

This research aims to investigate the growth patterns of oyster mushrooms, analyzing the design and implementation of controlled temperature and humidity conditions for mushroom cultivation. The study also evaluates the economic viability of the proposed controlled environment. The study identified temperature and humidity as two key factors that affect the growth of oyster mushrooms. The controlled environment utilized a system consisting of two main components: a Digital Temperature Controller and a DHT11 sensor. The testing and evaluation apparatus had dimensions of 95 cm width, 95 cm length, and 120 cm height, accommodating 130 mushroom spawn. The experimental results indicated that during the first 5 days, the minimum temperature recorded

was 27.6°C, with a corresponding minimum humidity of 85.7% and a water consumption of 25 liters/day. In contrast, from days 6 to 15, the maximum temperature reached 28.4°C, with a peak humidity of 89.3% and a water consumption of 32 liters/day. It achieved temperature control by misting, resulting in an average internal temperature of 28.07°C, average humidity of 87.65%, and an average water consumption of 28.4 liters/day. A comparative analysis of mushroom yields revealed a weight of 5,067 grams for the non-controlled environment and 10,387 grams for the controlled environment, indicating a 48.78% increase in production. The economic assessment demonstrated a break-even point of 123 kilograms/year and a pay-back period of 2 years and 3 months.

**Keywords :** Mushroom Growth, Temperature and Humidity, Oyster Mushroom Weight

## 1. บทนำ

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่อยู่ในสกุลเดียวกันกับเห็ดนางรมและเห็ดเป๋าฮื้อ มีลักษณะคล้ายเห็ดนางรมแต่ดอกมีสีขาวนวลถึงน้ำตาลอ่อน หมวกดอกหนาและเนื้อแน่นกว่าเห็ดนางรม ชื่อ “เห็ดนางฟ้า” เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นในเมืองไทย แต่คนไทยบางคนเรียกว่าเห็ดแขก เพราะเห็ดชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดแถบภูเขาหิมาลัย ประเทศอินเดีย ในสภาพธรรมชาตินั้นเห็ดนางฟ้าชอบเจริญอยู่ตามตอไม้ผุ ๆ ในบริเวณที่มีอากาศชื้นและเย็นแตเมื่อนำมาเพาะเห็ดนางฟ้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในชี้อ้อยไม่เนื่ออ่อน ฟางข้าวสับละเอียด ชังข้าวโพดป่น ใสนุ่น ใส่ฝ้าย ปุ๋ยหมัก หรือแม้แต่เศษฟางที่ใช้เพาะเห็ดฟางไปแล้วยังสามารถนำมาตากให้แห้งและปนให้ละเอียด แล้วนำไปใช้เพาะเห็ดนางฟ้าได้ (Sudkaew, 2019) เห็ดนางฟ้าถูกนำมาเลี้ยงในอาหารวุ้นเป็นครั้งแรกโดย Jandaik ในปี ค.ศ. 1974 ต่อมา Rangaswami และ Nadu แห่ง Agricultural, University, Coimbatore India เป็นผู้นำเชื้อบริสุทธิ์ของเห็ดนางฟ้าเข้ามาฝากไว้ที่ American type culture collection (ATCC) USA. ในปี ค.ศ. 1975 เห็ดนางฟ้าได้ถูกนำเข้ามาทดลองเพาะในประเทศไทย ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย ปรากฏว่าสามารถเจริญได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ต่อมามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้นำมาทดลองเพาะเลี้ยงในอาหารชนิดต่าง ๆ ปรากฏว่าเห็ดนางฟ้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารหลายชนิดคล้ายกับเห็ดนางรม (Aramphongpan, 2000) เพาะได้ง่ายและให้ผลผลิตเร็วประกอบกับเห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่มีขนาดของดอกปานกลาง เนื้อแน่น รสชาติดี อร่อย มีคุณค่าทางอาหารสูง มีไขมันต่ำ ปลอดภัยจากสารพิษ อีกทั้งเก็บไว้ในตู้เย็นได้หลายวันและสามารถปรุงอาหารได้หลายอย่างเช่นเดียวกับเห็ดชนิดอื่น ซึ่งตลาดมีความต้องการจึงนิยมบริโภคกันทำให้เห็ดชนิดนี้แพร่หลายมากขึ้น (Saengpakornkit, 2019) อีกทั้งกรรมวิธีการเพาะก็สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากต่อการปฏิบัติใช้ระยะเวลาสั้นและสามารถเพาะได้ตลอดทั้งปี แต่ในปัจจุบันเกษตรกรหรือครัวเรือนในการดูแลและจัดการฟาร์มหรือทางเกษตรมีปัญหาค่อนข้างมากในการควบคุมดูแลงบประมาณที่จะต้องเสียไป ทั้งค่าน้ำหรือค่าจ้างแรงงาน วงจรชีวิตของเห็ดนางฟ้ามีการเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิที่เหมาะสมมากต่อเส้นใยคือ 32°C และสร้างดอกเห็ดได้ดีที่ 28°C เหตุผลนี้จึงได้นำเทคโนโลยีเข้ามาควบคุมและดูแลจัดการในด้านการวัดอุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศ การให้น้ำของเห็ด ปัญหาภัยแล้งที่รบกวนหัวใจเกษตรกรและครัวเรือนจะบรรเทาลงด้วยการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อควบคุมและดูแลจัดการในด้านการให้น้ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของดอกเห็ดนางฟ้า ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยที่สำคัญหลายประการเหล่านี้ทำได้ยาก (Dulyrat, 2019)

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้า ส่งผลให้ความสะดวกสบายแก่เกษตรกรสามารถเพาะเห็ดได้ภายในบ้านหรือผู้ที่มีพื้นที่น้อยเพื่อเพิ่มคุณภาพของดอกเห็ดนางฟ้าและผลตอบแทนที่สูงขึ้นแก่ผู้สนใจในการเพาะปลูกเห็ดนางฟ้า

## 2. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิธีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเห็ดนางฟ้า โดยการออกแบบชุดควบคุมในการเพาะเห็ดนางฟ้าเพื่อทดสอบวิธีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเห็ดนางฟ้า และศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า



โดยมีรายละเอียดดัง Figure 1

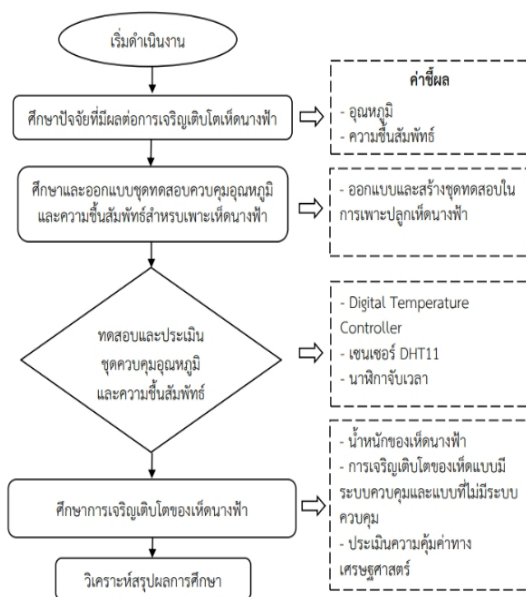


Figure 1 Action Plan

## 2.1 ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยพื้นฐานของสภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งในบทความ หนังสือ วารสาร และอินเทอร์เน็ต เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ ชุดควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า คือ 28 - 35°C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด 20 - 30°C เห็ดจะเจริญเติบโตได้เร็วและระยะที่กำลังเจริญเติบโตเป็นดอกเห็ดต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 70 - 90% (Kalarod, 2018)

## 2.2 ออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษา จึงออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า ใช้ระบบควบคุมการทำงานโดยใช้ Digital Controller ในการพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ (Mountain, 2020) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และบรรจุก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าใช้ทดสอบได้ ดัง Figure 2

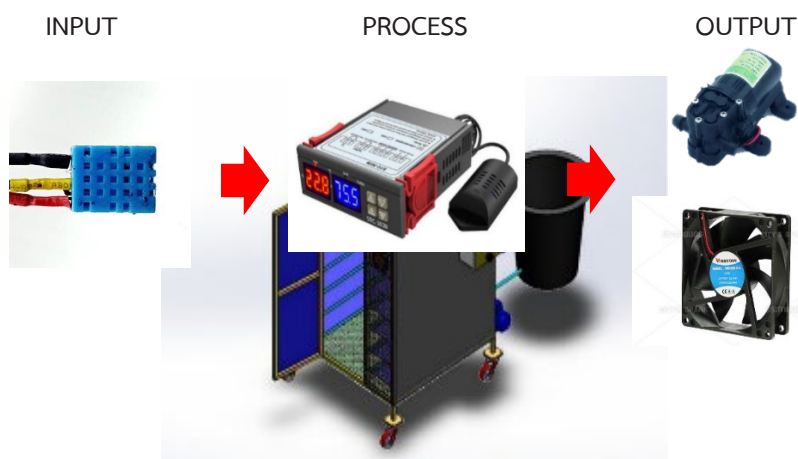


Figure 2 Equipment set relation of oyster mushrooms production

## 2.3 ทดสอบและประเมินชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

2.3.1 ชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงวันทำการเพาะเห็ดระยะเวลาเติบโต 15 วัน ตลอดการทดสอบทุก 6 ชั่วโมง โดยบันทึกค่าอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

1) อุปกรณ์ใช้ในการทดสอบ

- ก) เครื่อง Digital Temperature Controller จำนวน 1 เครื่อง
- ข) เซนเซอร์ DHT11 วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จำนวน 1 ตัว
- ค) นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 เครื่อง

2) วิธีการทดสอบ

- ก) นำเซนเซอร์ DHT 11 ไปติดตั้งภายในชุดทดสอบ
- ข) ทำการตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิที่ 28°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90%
- ค) ตั้งนาฬิกาในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในชุดทดสอบ โดยแบ่งเวลาการวัดอุณหภูมิออกเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ 06:00, 12:00, 18:00 และ 00:00 น. ระยะเวลาการเจริญเติบโต 15 วัน เนื่องจากการทดสอบในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อหาความแม่นยำในการวัดความชื้นสัมพัทธ์  $\pm 5\%$  ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่สามารถวัดได้ 20 - 90% และความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้ 0 - 50°C (Mountain, 2020)

- ง) บันทึกผล ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากหน้าจอที่วัดค่าได้จากเซนเซอร์ DHT11 ดัง Figure 3

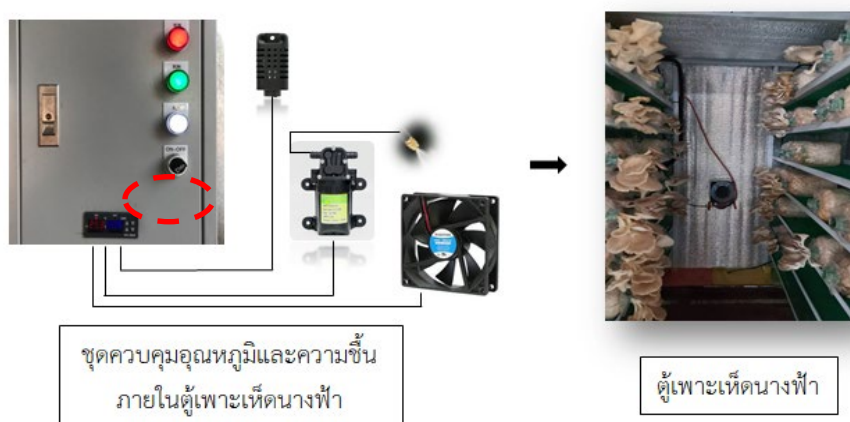


Figure 3 Temperature and Humidity from the measured screen DHT11 sensor

2.3.2 ทดสอบปริมาณการใช้น้ำต่อวัน ปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงเวลา 15 วันทำการเพาะเห็ดนางฟ้าตลอดการทดสอบ โดยบันทึกค่าปริมาณการใช้น้ำต่อวัน ซึ่งเป็นรูปแบบของการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) ประกอบด้วยปั๊มน้ำ ท่อน้ำ และหัวพ่นหมอก (Fogging Nozzle) ซึ่งเป็นละอองน้ำเล็กมากถูกพ่นให้กระจายทั่วทั้งชุดทดสอบ ขณะละอองหมอกระเหยจะดึงความร้อนจากอากาศภายในชุดควบคุมส่งผลให้โรงเรือนอุณหภูมิลดลงและค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น (Saowaraj, 2018) การใช้น้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า มีอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ ดังนี้

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- ก) หัวพ่นหมอกทองเหลือง ความละเอียด 0.3 มิลลิเมตร จำนวน 8 หัว
- ข) ปั๊มน้ำรุ่น GREEN-01 แรงดัน 4.8 บาร์ จำนวน 1 ตัว
- ค) ถังบรรจุน้ำ 18 ลิตร จำนวน 1 ถัง

2) วิธีการทดสอบ

- ก) ตั้งค่าชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 28°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90%

- ข) เติมน้ำเต็มถังบรรจุ เมื่อปั้มน้ำเริ่มทำงานน้ำในถังจะลดลง จากนั้นทำการบันทึกค่าน้ำในถังบรรจุ  
 ค) บันทึกค่าปริมาณการใช้น้ำถังบรรจุ ดัง Figure 4

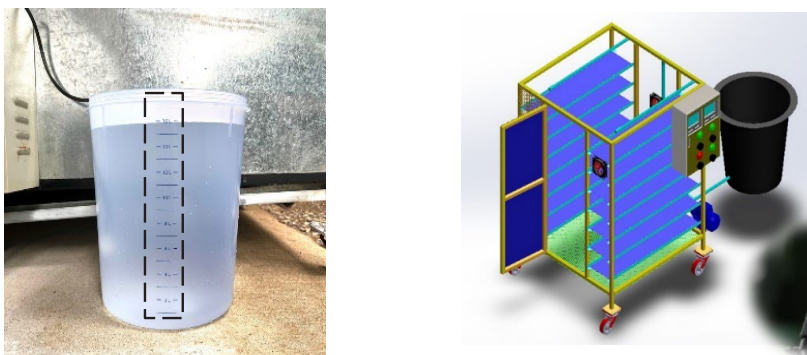


Figure 4 Water tank and Fogging Nozzle

## 2.4 ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดทดสอบควบคุม

**2.4.1 ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า** โดยติดตั้งแบบไม่มีชุดทดสอบและแบบมีชุดทดสอบควบคุมควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าที่เกษตรกรเพาะในโรงเรือนที่มีความชื้นสูงประมาณ 60 - 80% ขึ้นไปใช้โรงเรือนขนาด  $4 \times 6 \text{ m}^2$  เป็นขนาดพื้นที่และความต้องการของผู้ผลิต ใช้ผ้าพลาสติกคลุมที่ทึบแสงแต่มีรูระบายอากาศข้างปิดโดยรอบ ด้านหนึ่งคลุมให้เปิด - ปิด สามารถรดน้ำและเก็บเห็ดได้สะดวก ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงในการกักเก็บความชื้น ต้นทุนการผลิตต่ำ ดัง Figure 5 การเจริญเติบโตที่เพาะแบบไม่มีชุดควบคุมและแบบมีชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่  $28^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% มีการเก็บค่าตัวอย่างดังนี้



Figure 5 Preparation to open the spawned oyster mushrooms at farm and test set

### 2.4.2 ศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าเกษตรกรเพาะในโรงเรือน และชุดทดสอบควบคุม

#### 1) อุปกรณ์การทดสอบ

- ก) เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ค่าความละเอียด 0.2 มิลลิเมตร จำนวน 1 อัน  
 ข) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 1 ตำแหน่ง รุ่น C305 จำนวน 1 เครื่อง

#### 2) วิธีการทดสอบ เกณฑ์การเก็บตัวอย่าง (Piwphan et al., 2023)

- ก) นับจำนวนดอกเห็ดนางฟ้าต่อหนึ่งก้อนเชื้อเห็ด ดัง Figure 6 (a)  
 ข) ชั่งน้ำหนักช่อดอกเห็ดนางฟ้า ดัง Figure 6 (b)  
 ค) วัดขนาดความกว้างของช่อดอกเห็ดนางฟ้าของช่อที่กว้างที่สุดจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ดัง

Figure 6 (c)

- ง) วัดขนาดความสูงของช่อดอกเห็ดนางฟ้าจากบริเวณโคนต้นขึ้นไปถึงยอดสูงสุด ดัง Figure 6 (d)

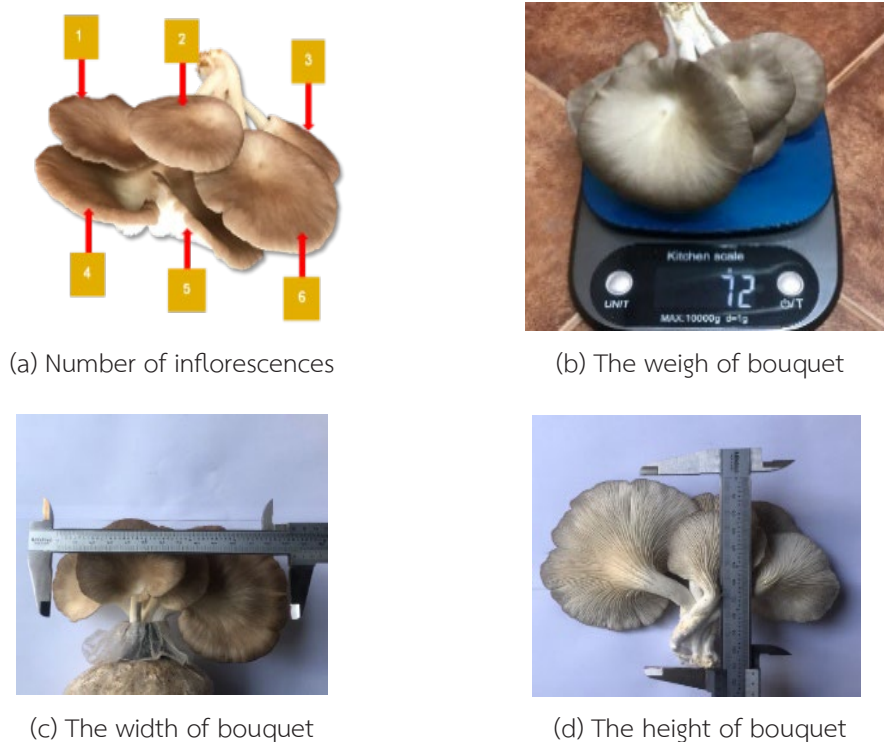


Figure 6 Physical characteristics of mushroom

**2.4.3 การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์** (Langkapin, 2022) เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย ระยะเวลาคืนทุน และ จุดคุ้มทุนในการที่จะนำชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้ามาใช้ ซึ่งการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของชุดทดสอบ และค่าเสียโอกาสของเงินทุน สำหรับต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการทำงาน ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับชุดทดสอบ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม ส่วนการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) จะได้ผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไป โดยคิดจากราคาในการลงทุนสร้างชุดทดสอบหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับ ดังสมการที่ 1

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (1)$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

P = ราคาชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิ (บาท)

R = กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

N = อายุการใช้งาน (ปี)

ส่วนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point) จะคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบ  $\frac{Fc}{B-VC}$  ระหว่างต้นทุนในการทำงานกับแรงงานคน ดังสมการที่ 2 (Langkapin, 2022)

$$BEP = \frac{Fc}{B-VC} \quad (2)$$

เมื่อ BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมง/ปี)

Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

B = อัตราการรับจ้าง (บาท/ชั่วโมง)

VC = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/ชั่วโมง)



### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า โดยออกแบบและประเมินชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ผลดังนี้

#### 3.1 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

ผลการศึกษาสภาพอากาศพื้นฐานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า จากบทความ หนังสือ วารสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอินเทอร์เน็ต (Pratumthin, 2021) พบว่าโรงเรือนระบบอัตโนมัติสามารถทำงานตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยภายในโรงเพาะเห็ดจะมีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิในโรงเพาะเห็ดสูงเกินกว่า  $32^{\circ}\text{C}$  ระบบจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า  $32^{\circ}\text{C}$  ระบบจะสั่งให้ปั๊มน้ำหยุดการทำงาน ส่วนภายนอกโรงเพาะเห็ดระบบอัตโนมัติจะมีโมดูลอัลตราโซนิกเซนเซอร์คอยตรวจวัดระดับน้ำในถัง เมื่อระดับน้ำในถังหมดระบบจะส่งค่าไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 เพื่อแจ้งเตือนไปยัง Line Notify ให้ผู้ใช้งานทราบและมีการแสดงผลผ่านจอ LCD แสดงค่าอุณหภูมิและระดับน้ำในถัง ซึ่งได้ผลประเมินความพึงพอใจ และจากงานวิจัย (Kalarod, 2018) พบว่าการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้ามี 2 คุณสมบัติ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยคือ  $28 - 35^{\circ}\text{C}$  ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด  $20 - 30^{\circ}\text{C}$  และส่วนในระยะเวลาออกดอกต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ  $70 - 90\%$  หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไปจะชะงักการเจริญเติบโต ดอกเห็ดจะมีขนาดเล็กและบาง ผิวแห้งแตกช่วงระยะเวลาเจริญเติบโตเป็นดอกเห็ดสมบูรณ์

#### 3.2 ผลการออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

ผลการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์หน้าจอบูแบบดิจิทัล รุ่น STC 3028 พร้อมเซนเซอร์ DHT11 วัดอุณหภูมิได้ระหว่าง  $0 - 50^{\circ}\text{C}$  วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ระหว่าง  $20 - 90\%$  ความถี่ในการวัด 1 เฮิรตซ์ อ่านค่าได้วินาทีละครั้ง เพื่อรับค่าและอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า ซึ่งขนาดตู้ควบคุมมีขนาดความกว้าง 95 เซนติเมตร ความยาว 95 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ภายในชั้นวางก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่ทดสอบจำนวน 130 ก้อน ดัง Figure 7

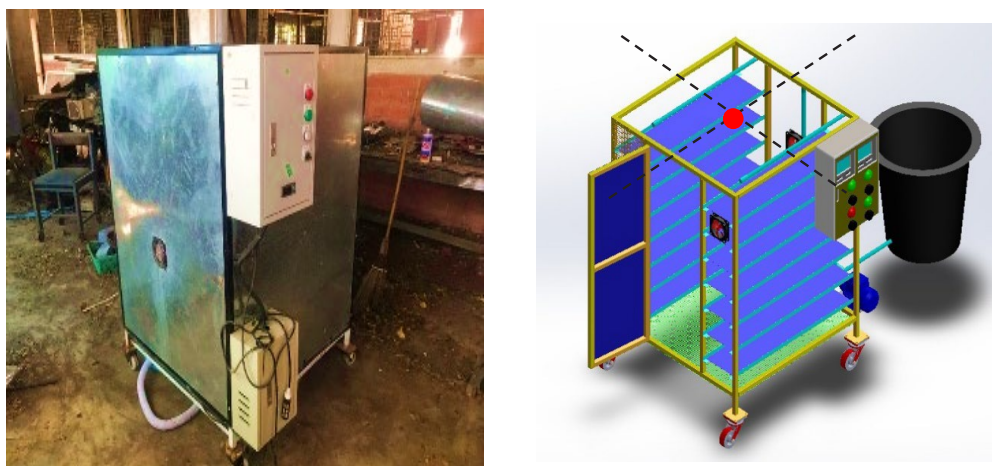


Figure 7 Type Control Test set

#### 3.3 ผลการทดสอบและประเมินชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

##### 3.3.1 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เมื่อหน่วยประมวลผลรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ DHT11 จะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มาแสดงค่าที่หน้าจอ Digital Temperature Controller โดยมีการตั้งค่าอุณหภูมิอยู่ที่  $28^{\circ}\text{C}$  และ



ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 90% หากอุณหภูมิมากกว่าที่ตั้งค่าไว้จะเริ่มทำงานโดยสั่งระบบพ่นหมอก เมื่ออุณหภูมิลดลงน้อยกว่าที่ตั้งค่าไว้ระบบพ่นหมอกจะหยุดการทำงาน ขณะเดียวกันระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์จะทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าค่าที่ตั้งไว้ โดยจะสั่งพัดลมดูดอากาศทำงาน เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า และหยุดการทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ดัง Figure 8

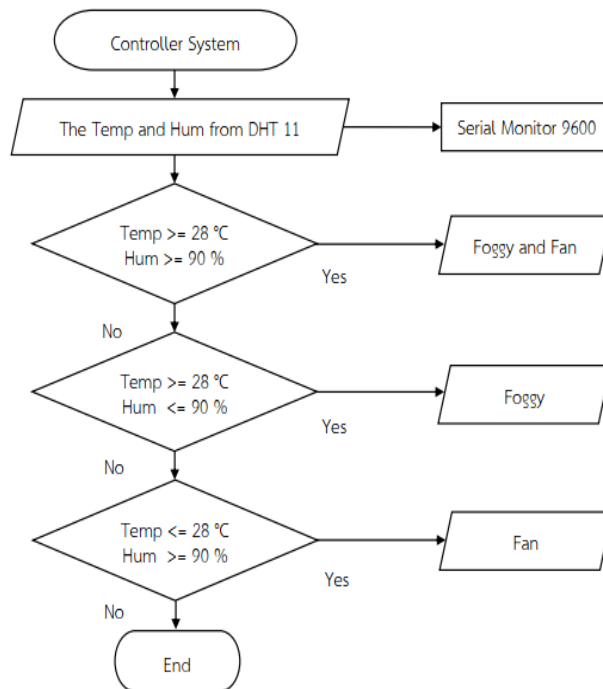


Figure 8 Process of control system

ผลจากอุณหภูมิภายในชุดทดสอบพบว่า ในช่วงวันที่ 1-5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุด 27.6°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 85.7% ปริมาณการใช้น้ำต่ำสุด 25 ลิตร/วัน ซึ่งอาจเกิดจากการควบคุมอุณหภูมิ โดยการพ่นหมอกในช่วงเวลานั้น หรืออุณหภูมิภายนอกไม่สูงมาก และช่วงวันที่ 6-15 มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 28.4°C ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด 89.3% และปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 32 ลิตร/วัน จากการควบคุมอุณหภูมิโดยการพ่นหมอก และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในชุดทดสอบที่ 28.07°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 87.65% และปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 28.4 ลิตร/วัน เป็นช่วงวันที่มีอุณหภูมิสูง อาจเกิดจากความร้อนระหว่างวัน

จากข้อมูลข้างต้นมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งเอาไว้ที่ 28°C ซึ่งอาจจะเกิดจากการบันทึกค่าในระหว่างช่วงระบบกำลังควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งเอาไว้

### 3.3.2 ผลการศึกษาปริมาณการใช้น้ำต่อวัน

ผลจากศึกษาการใช้น้ำช่วง 15 วันทำการเพาะเห็ดนางฟ้า โดยหัวพ่นหมอกเป็นละอองน้ำเล็กมากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางละอองประมาณ 2-60 ไมโครเมตรภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า ใช้หัวพ่นหมอกทองเหลือง 8 ตัว ค่าความละเอียดสามารถปรับระดับได้ 0.3-1.2 มิลลิเมตร รัศมี 0.5-3 เมตร อัตราการไหลสูงสุด 3.5 ลิตร/นาที เพื่อให้ น้ำที่พ่นออกจากหัวพ่นหมอกเกิดเป็นละอองน้ำครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดภายในชุดทดสอบเพาะเห็ดนางฟ้า ปริมาณการใช้น้ำต่อวันภายในชุดทดสอบ พบว่าปริมาณการใช้น้ำสูงสุด 32 ลิตร/วัน ต่ำสุด 25 ลิตร/วัน และค่าเฉลี่ยที่ 28.4 ลิตร/วัน ซึ่งการใช้น้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในชุดทดสอบ หากอุณหภูมิสูงปริมาณการใช้น้ำจะเพิ่มสูง และอุณหภูมิภายในชุดทดสอบต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ที่ 28°C ปริมาณการใช้น้ำก็จะลดลงตามไปด้วยผลการศึกษาดัง Figure 9

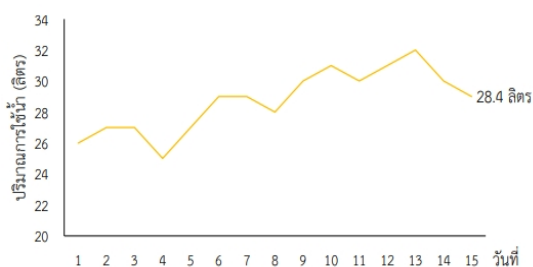


Figure 9 Graph showing daily water test set

### 3.4 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้าและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดทดสอบ

3.4.1 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า โดยติดตั้งแบบไม่มีชุดทดสอบและแบบมีชุดทดสอบควบคุมควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีชุดทดสอบ และแบบมีชุดทดสอบ โดยอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของเส้นใย 28 - 35°C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด 20 - 30°C เห็ดจะเจริญเติบโตเร็วและช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 10°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% หากอากาศมีความชื้นต่ำจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต ดัง Figure 10



Figure 10 Farmer's mushroom greenhouse and test set

#### 3.4.2 ผลการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า

ผลการศึกษาลักษณะจำนวนดอกเห็ด น้ำหนัก ขนาดความกว้าง ความสูงของช่อดอกเห็ดนางฟ้าที่เพาะในโรงเรือน ตัวอย่างจำนวน 130 ก้อน โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 28°C และ 90% พบว่าจำนวนช่อดอกเฉลี่ยในก้อนเชื้อเห็ด 8.03 ดอก น้ำหนักต่ำสุด 30 กรัม อาจเกิดจากการสร้างเส้นใยภายในก้อนเชื้อเห็ดช้า หรือความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมภายในก้อนเชื้อเห็ดต่ำ จึงทำให้เชื้อเห็ดหยุดชะงักการเจริญเติบโต ดอกเห็ดมีขนาดเล็กและบาง ผิวแห้งแตก มีน้ำหนักสูงสุด 119 กรัม และน้ำหนักเฉลี่ย 79.52 กรัม Figure 11 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่สูงสามารถยอมรับได้ในการเพาะปลูก ดัง Table 2 โดยทั่วไปก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าสูตรธรรมดาขนาด 1 กิโลกรัม จะให้ผลผลิตครั้งละ 50 - 60 กรัม แต่แต่ละก้อนจะให้ผลผลิตประมาณ 4 - 6 รุ่น แต่ละรุ่นมีช่วงห่างระหว่างการเกิดดอกประมาณ 10 - 15 วัน (Piwphan et al., 2023)

Table 1 The results of testing weight that oyster mushroom

| ก่อนเชื้อเห็ด | จำนวน<br>(ดอก) | ขนาดช่อดอก (มิลลิเมตร) |         | น้ำหนักช่อดอกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (กรัม) |                     |
|---------------|----------------|------------------------|---------|-------------------------------------------------|---------------------|
|               |                | ความกว้าง              | ความยาว | แบบไม่มีชุดควบคุมทดสอบ                          | แบบมีชุดควบคุมทดสอบ |
| ค่าต่ำสุด     | 4              | 80                     | 72      | 24                                              | 30                  |
| ค่าสูงสุด     | 12             | 131                    | 96      | 55                                              | 119                 |
| ค่าเฉลี่ย     | 8.03           | 104.86                 | 80.41   | 38.97                                           | 79.52               |



Figure 11 The weight of the oyster mushrooms at farm and test set

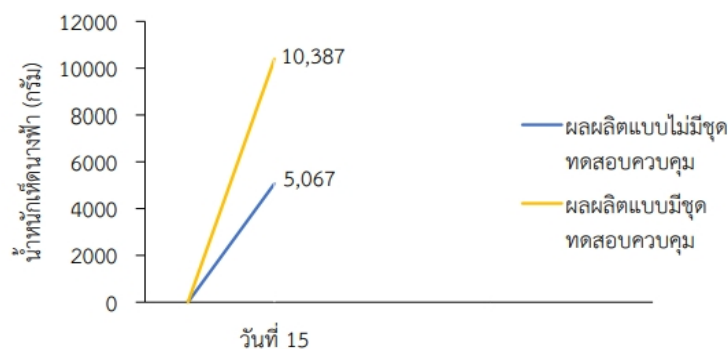


Figure 12 Comparative graph of oyster mushroom

จาก Figure 12 แสดงการเปรียบเทียบผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าแบบไม่มีชุดทดสอบควบคุม ได้น้ำหนักทั้งหมดอยู่ที่ 5,067 กรัม และแบบมีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนักทั้งหมดอยู่ที่ 10,387 กรัม ซึ่งมีผลผลิตต่างกันอยู่ที่ 5,320 กรัม คิดเป็น 48.78%

**3.4.3 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม** สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงานจากต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร จากการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) แบบ Straight-line method DP ได้ค่าเสื่อมราคา 1,278 บาท/ปี และต้นทุนผันแปร 14,417.5 บาท/ปี สำหรับระยะเวลาการคืนทุนเก็บผลผลิตได้ 10.38 กิโลกรัม/ครั้ง สามารถเก็บผลผลิตได้ไม่น้อยกว่า 24 ครั้ง ซึ่งราคารับซื้อขายเห็ดนางฟ้ากิโลกรัมละ 70 บาท (Kasetprice Agricultural Fair, 2022) มีจุดคุ้มทุน 123.4 กิโลกรัม/ปี และระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 3 เดือน ในการออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเพาะเห็ดนางฟ้า

#### 4. สรุป

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตโดยการออกแบบชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับเห็ดนางฟ้าที่อุณหภูมิ 20 - 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 90% จะเห็นได้ว่าการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมระหว่างอากาศกับน้ำและการถ่ายเทความร้อนจากน้ำสู่อากาศ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำซึ่งในระบบพ่นหมอกข้อควรระวังคือคุณภาพของน้ำเนื่องจากสิ่งสกปรกสามารถทำให้หัวพ่นหมอกอุดตัน ใช้ระบบควบคุมการทำงาน STC-3028 Digital Temperature Controller ใช้พัดลมดูดอากาศและระบบพ่นหมอก สามารถบรรจุก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าได้จำนวน 130 ก้อน และใช้เซนเซอร์ DHT 11 เป็นตัววัดอุณหภูมิเฉลี่ย 28.07°C ความชื้นสัมพัทธ์ 87.65% โดยมีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 28.4 ลิตร/วัน และผลผลิตของเห็ดนางฟ้าที่เพาะแบบไม่มีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 5,067 กรัม และแบบมีชุดทดสอบควบคุมได้น้ำหนัก 10,387 กรัม ผลผลิตต่างกัน 48.78% ระยะเวลาต้นทุน 2 ปี 3 เดือน

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- Aramphongpan, P. (2000). **General Knowledge about Mushrooms**. Economic Mushroom Cultivation. Training Supplementary Documents, Microbiology and Applied Biology Group, Plant Pathology and Microbiology Division, Department of Agriculture. (in Thai)
- Dulyarat, K. (2022). **Automated Mushroom Cultivation Project**. Retrieved 13 Aug 2023, from <https://fit.ssrui.ac.th/useruploads/files/>. (in Thai)
- Kalarod, A. (2018). **Nature and Environment of Fairy Mushrooms**. Retrieved 11 Aug 2023, from [http://kalarod.blogspot.com/2009/09/blog-post\\_8327.html](http://kalarod.blogspot.com/2009/09/blog-post_8327.html). (in Thai)
- Langkapin, J. (2022). **Economic Analysis of Engineering Aspects in Preliminary Agricultural Machinery Usage**. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Mountain. (2020). **Temperature and Humidity Control System for Greenhouses**. Retrieved 16 Aug 2023, from [https://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project\\_IdDoc305\\_IdPro734](https://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc305_IdPro734). (in Thai)
- Pratumthin, A. (2021). **Design and Construction of Automated Mushroom Cultivation System**. Computer Technology Department, Rajabhat University Kamphaeng Phet Campus Mae Sot. (in Thai)
- Piwphan, U. Chaisuchot, S. & Thongme, R. (2018). **Mushroom Maintenance**. Retrieved 11 Aug 2023, from <http://cddata.cdd.go.th/cddkm/prov>. (in Thai)
- Saengpakornkit, T. (2019). **Origin and Significance of Fairy Mushrooms**. Retrieved 10 Aug 2023, from <https://it.nation.ac.th/studentresearch/files/>. (in Thai)
- Saowaraj, C. (2018). **Temperature Reduction and Humidity Increase Process**. Retrieved 20 Aug 2023, from <https://li01.tcithaijo.org/index.php/TSAEJ>. (in Thai)
- Sathatphan, S. (2019). **Characteristics of Fairy Mushroom Mycelium Suitable for Blooming**. Retrieved 11 Aug 2023, from <https://www.gotoknow.org/posts/423736>. (in Thai)
- Sudkaew, N. (2019). **Fairy Mushroom**. [Online]. Retrieved 10 Aug 2023, from <https://uc.thailis.or.th/Catalog/Bibltem.aspx>. (in Thai)

(Received: 30/Jul/2023, Revised: 10/Dec/2023, Accepted: 22/Dec/2023)

## การพัฒนาและทดสอบวัสดุปลูกกล้วยไม้จากทะลายปาล์ม

### Development and Testing of Orchid Planting Materials Using Oil Palm Empty Fruit Bunches

โอม ศรีนวกรณ์ ปิยะพงษ์ ศรีวงศ์ราช เกียรติกำจร อินตานี และ ศุภกิตต์ สายสุนทร\*

Ohm Srinawakron, Piyapong Sriwongras, Kiatkamjon Intani  
and Supakit Sayasoonthorn\*

ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

\*Email: agrspks@ku.ac.th Tel. 081-9224525

#### บทคัดย่อ

ประเทศไทยส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกเมืองร้อนมากเป็นอันดับต้นของโลก และวัสดุปลูกมีความสำคัญและเป็นปัจจัยหลักในการผลิตกล้วยไม้ในประเทศไทย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา และทดสอบวัสดุปลูกสำหรับกล้วยไม้จากสิ่งเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมการหีบน้ำมันปาล์ม โดยทดสอบวัสดุปลูกที่มีส่วนผสม ทะลายปาล์ม : ปูน จำนวน 3 อัตราส่วน (2.5 : 10.5, 2.5 : 10, 2.5 : 9.5) ผสมกับทะลายปาล์ม 2 ขนาด ได้แก่ 0.2 และ 2.0 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติทางเคมี และกายภาพ ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง, ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ, ค่าความสามารถของสารในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวก, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด, โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้, ค่าการสลายตัวในน้ำ, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็งแรงจากการทดสอบการปล่อยตก โดยทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ซ้ำ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ทะลายปาล์ม : ปูน อัตราส่วน 2.5 : 10 ที่ขนาด 2 เซนติเมตร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้และเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้ต้นทุนต่ำได้

**คำสำคัญ :** วัสดุปลูก ทะลายปาล์ม น้ำมัน กล้วยไม้

#### Abstract

Thailand is the world's leading exporter of cut flowers, particularly tropical orchids. Planting materials play a crucial role in orchids production in Thailand. This study aims to study, develop, and test planting materials for orchids planting using waste materials from the oil palm industry. The planting materials were combined and tested with 3 different proportions of oil palm empty fruit bunches and cement (ratios: 2.5 : 10.5, 2.5 : 10, 2.5 : 9.5) and two sizes of oil palm crunch of 0.2 and 2.0 centimeter. Chemical and physical properties, including pH, electrical conductivity, cation exchange capacity, total nitrogen, total phosphorus, and exchangeable potassium content, slake, water absorption, density, and strength from free fall drop testing were tested. The test conditions were repeated three times each. The tested results found that the combination of oil palm empty fruit bunches and cement with a ratio of 2.5 : 10 with of 2 centimeter of crunch size is suitable and can be a guideline further developed as a low-cost planting material for orchids.

**Keywords :** planting materials, oil palm fruit bunches, orchid



## 1. บทนำ

ปัจจุบันต้นทุนและปัจจัยการผลิตของการผลิตกล้วยไม้ทั้งระบบมีราคาสูงมากขึ้น ในขณะที่ราคามูลผลิตตกต่ำหรือเพิ่มขึ้นไม่มากซึ่งเป็นวิกฤติที่เกษตรกรกำลังประสบปัญหาอยู่ การลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งมีได้หลายแนวทางรวมถึงการนำสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า ช่วยทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตและมีรายได้เพิ่มมากขึ้น

คุณสมบัติของเครื่องปลูก โดยทั่วไปวัสดุปลูกที่นำมาใช้ได้มีลักษณะที่ต้องพิจารณา คือ มีความแน่นเพียงพอที่ทำให้ต้นพืชยืนต้นอยู่ได้ไม่โคนล้มและอยู่ในตำแหน่งคงที่ตลอดระยะเวลาที่ปลูก ปริมาณวัสดุปลูกค่อนข้างคงที่ไม่ว่าจะแห้งหรือเปียก อุ่นน้ำได้ดีและพืชสามารถนำน้ำนั้นไปใช้ได้ สามารถแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างรากกับวัสดุปลูก หรือระหว่างวัสดุปลูกกับบรรยากาศเหนือดิน สามารถเก็บสะสมธาตุอาหารพืชและพืชสามารถนำไปใช้ได้ (Suriyapananon, 1985) คุณสมบัติที่ดีในด้านต่าง ๆ ของวัสดุปลูกหากมีคุณสมบัติที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันก็จะเป็นสิ่งที่เหมาะสม สำหรับพืชมักจะพบวัสดุปลูกเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของพืชได้อย่างเพียงพอ จึงได้มีการนำเอาวัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน จะทำให้ต้นไม้ที่ปลูกมีการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีได้นั้น ก็ขึ้นอยู่กับวัสดุปลูกที่ต้องการนั้นใช้สำหรับปลูกพืชชนิดใด ซึ่งควรเลือกให้เหมาะสมกับพืช (Kanjanaikul, 2008)

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีวัสดุเหลือใช้ในรูปแบบของแข็ง ได้แก่ ทะลายปาล์ม (Oil palm empty fruit bunches) เส้นใยปาล์ม (Palm pericarp fiber) กากเนื้อผลปาล์ม (Palm kernel cake) กะลาปาล์ม (Palm shell) กากตะกอนสลัดจ์ (Sludge) และส่วนที่เป็นของเหลวคือ น้ำทิ้ง (Palm oil mill effluent)

ทะลายปาล์ม เป็นส่วนของทะลายที่สลัดผลปาล์มออกหมดแล้วซึ่งในอดีตทะลายปาล์มนั้นก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นที่วางไข่ของด้วงแรด ซึ่งเป็นแมลงที่กัดกินยอดปาล์มและมะพร้าว ดังนั้นโรงงานจะต้องเผาทะลายเปล่า ซึ่งทำได้ยากเนื่องจากความชื้นสูง แต่ปัจจุบันได้ใช้ทะลายเปล่าเป็นวัสดุในการเพาะเห็ด แต่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าได้มากกว่าการเผาเห็ด เนื่องจากในส่วนแกนทะลายปาล์มจะมีเส้นใยที่เหนียวสามารถนำมาใช้ทดแทนเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวได้ นอกจากนั้นทะลายเปล่ายังมีปริมาณธาตุอาหารสูง (ไนโตรเจน 1.0% ฟอสฟอรัส 0.7% และโพแทสเซียม 3.0%) ซึ่งสามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพได้ (Piakong, 2014)

ปัจจุบันประเทศไทยมีทะลายปาล์มที่เหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มจำนวนมาก และคาดว่าจะมีเพิ่มขึ้นอีกสำหรับประเทศไทยที่ครองอันดับส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกเมืองร้อนมากเป็นอันดับต้น ๆ ของโลกมาเป็นเวลานาน และมูลค่าการส่งออกมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงทศวรรษที่ผ่านมา แต่ปัจจุบันปัจจัยการผลิตมีราคาสูงขึ้นพร้อมกับวัสดุปลูกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีจำนวนที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาวัสดุปลูกจากสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการหีบน้ำมันปาล์มเพื่อลดปัญหาการสะสมทะลายปาล์มเหลือทิ้ง และพัฒนาให้กลับมาใช้ประโยชน์ได้และยังเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้อีกด้วย

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ทะลายปาล์ม 2) ปูนปอร์ตแลนด์ (เป็นปูนซีเมนต์ทั่วไปประเภทหนึ่ง ที่นิยมใช้แพร่หลายทั่วโลกในงานก่อสร้าง ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตหรือวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานและสะดวกต่อการใช้งาน มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด 3) แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปวัสดุปลูกรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอก 7 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร (Figure 1) ใช้กับเครื่องไฮดรอลิค เพรส

### 2.2 วิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial ใน CRD (Completely Randomized Design) โดยมีปัจจัยการทดลอง 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนผสมของวัสดุปลูก มี 3 อัตราส่วน ได้แก่ ทะลายปาล์ม : ปูน ที่ 2.5 : 10.5, 2.5 : 10, และ 2.5 : 9.5 (อัตราส่วนได้จากการทดสอบขึ้นรูปเบื้องต้นมาก่อน) ปัจจัยที่ 2 คือ ขนาดของทะลายปาล์ม มี 2 ขนาด

คือ 0.2 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร มีขั้นตอนในการทดสอบ ดังนี้

1) เก็บตัวอย่างทะลายปาล์มจากแปลงทดลองโครงการปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดสระบุรี และลานปาล์มน้ำมันบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี นำมาย่อยด้วยเครื่องย่อย (Hammer mill) สับให้ได้ตัวอย่าง มีขนาด 0.2 เซนติเมตร และ 2.0 เซนติเมตร



Figure 1 Mold for forming planting material

2) การขึ้นรูป ทำได้โดยนำทะลายปาล์มทั้ง 2 ขนาด มาผสมกับปูนตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้และอัดขึ้นรูป เมื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกแล้ว ปล่อยให้เกิดการแข็งตัวเป็นเวลา 7 วัน จึงนำมาทดสอบ

3) การนำวัสดุปลูกไปทดสอบ โดย ก) ทดสอบสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง, ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ, ค่าความสามารถของสารในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวก (Attanandana and Chanchareonsook, 2008) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ส่งตรวจที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน พืช น้ำ ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) และ ข) ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

ค่าการสลายตัวในน้ำ (Modified from Yavichai, 2007; Nukaew, 2011) ทำได้โดยชั่งน้ำหนักวัสดุปลูกแห้ง (หลังจากการตากแดด) จากนั้นนำวัสดุปลูกแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน (Figure 2a) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของวัสดุปลูก เมื่อแช่วัสดุปลูกครบตามจำนวนเวลา ตรวจสอบว่าวัสดุปลูกเกิดการสลายยุ่ยตัวหรือไม่ จากนั้นนำวัสดุปลูกไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, UNB 100 Oven) และชั่งน้ำหนักแห้งวัสดุปลูกเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง (Figure 2b) คำนวณค่าการสลายตัวในน้ำจากสมการที่ 1



a) Soak the plant material in water for 7 days.



b) Weigh the planting material.

Figure 2 Slake testing

$$\text{การสลายตัวในน้ำ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักแช่น้ำ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)})}{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างวัสดุปลูกหลังแช่น้ำ (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างวัสดุปลูกก่อนแช่น้ำ (กรัม)})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างวัสดุปลูกก่อนแช่น้ำ (กรัม)}} \times 100 \quad (2)$$

ค่าการดูดซึมน้ำ (Modified from Yavichai, 2007; Nukaew, 2011) ทำได้โดยนำวัสดุปลูกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักไว้เป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ จากนั้นนำวัสดุแช่น้ำไว้ 72 ชั่วโมง และหาค่าการดูดซึมน้ำ จากสมการที่ 2

ค่าความหนาแน่น (Nukaew, 2011) นำวัสดุปลูกไปอบให้แห้ง ด้วยตู้อบลมร้อน 105 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักวัสดุปลูก และหาปริมาตรจากการแทนที่ด้วยน้ำ ค่าความหนาแน่นคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{ค่าความหนาแน่น (D)} = \frac{M}{V} \quad (3)$$

เมื่อ D = ความหนาแน่นของวัสดุปลูก (กรัม มิลลิเมตร-1)

M = น้ำหนักของวัสดุปลูก (กรัม)

V = ปริมาตรของวัสดุปลูก (มิลลิเมตร)

ค่าความแข็งแรงจากการทดสอบปล่อยตก โดยปล่อยอย่างอิสระ (Free fall drop test) ด้วยความระมัดระวังและไม่ให้มีการหมุนระหว่างปล่อยตกที่ระดับความสูงจากพื้น 70 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะของชั้นวางสำหรับปลูกกล้วยไม้ (Figure 3)



Figure 3 Free fall drop test of planting material

### 3. ผลการศึกษา

#### 3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางเคมี

##### 1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 11.25 อัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่า pH เท่ากับ 11.00 และอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 11.1

ส่วนผลของขนาดของทะเลาะปาล์มทั้งสองขนาดต่อความเป็นกรดต่าง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % กล่าวคือ ขนาดของทะเลาะปาล์ม 2.0 เซนติเมตร มีค่า pH เฉลี่ยมากกว่าขนาดของ

ทะเลสาบ 0.2 เซนติเมตร โดยมีค่า pH เฉลี่ย 11.27 และ 10.97 ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะเลสาบที่ใช้ในการผสมมีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก (Table 1)

## 2) ค่าการนำไฟฟ้า

การเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 9.3 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup> และอัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 10.15 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup> และอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 10.3 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup>

ส่วนขนาดของทะเลสาบทั้งสองขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะเลสาบ 0.2 เซนติเมตร มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าขนาดของทะเลสาบ 2.0 เซนติเมตร โดยมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ย 10.20 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ 9.63 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup> ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะเลสาบที่ใช้ในการผสมไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก (Table 1)

## 3) ค่าความสามารถของสารในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวก

การเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ย เท่ากับ 27.1 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup> อัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup> และอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ย เท่ากับ 29.2 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup>

ส่วนขนาดของทะเลสาบทั้งสองขนาด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะเลสาบ 0.2 เซนติเมตร มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ยมากกว่าขนาดของทะเลสาบ 2.0 เซนติเมตร โดยมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ย 29.73 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup> และ 27.40 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup> ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะเลสาบที่ใช้ในการผสมไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก (Table 1)

## 4) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Table 2)

การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย เท่ากับ 3.84 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 5 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย เท่ากับ 4.15 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup>

ส่วนขนาดของทะเลสาบทั้งสองขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะเลสาบ 2 เซนติเมตร มีค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยมากกว่าขนาดของทะเลสาบ 0.2 เซนติเมตร โดยมีค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย เท่ากับ 4.43 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และ 4.23 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะเลสาบที่ใช้ในการผสมไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก

การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย เท่ากับ 2.99 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย เท่ากับ 2.87 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 2.87 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup>

**Table 1 Chemical properties of orchid planting materials using oil palm empty fruit bunches**

| Treatment                                           | pH                 | Electrical conductivity (EC)<br>(ms cm <sup>-1</sup> ) | Cation exchange capacity (CEC)<br>(cmol kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Planting material (A)</b>                        |                    |                                                        |                                                            |
| 2.5 : 10.5 (A1)                                     | 11.25 <sup>a</sup> | 9.3 <sup>b</sup>                                       | 27.1 <sup>b</sup>                                          |
| 2.5 : 10 (A2)                                       | 11.00 <sup>c</sup> | 10.15 <sup>ab</sup>                                    | 29.5 <sup>a</sup>                                          |
| 2.5 : 9.5 (A3)                                      | 11.10 <sup>b</sup> | 10.3 <sup>a</sup>                                      | 29.2 <sup>a</sup>                                          |
| F-test                                              | *                  | *                                                      | *                                                          |
| <b>Size of palm bunch (cm) (B)</b>                  |                    |                                                        |                                                            |
| 0.2 (B1)                                            | 10.97 <sup>b</sup> | 9.63                                                   | 29.73 <sup>a</sup>                                         |
| 2 (B2)                                              | 11.27 <sup>a</sup> | 10.20                                                  | 27.40 <sup>b</sup>                                         |
| F-test                                              | *                  | ns                                                     | *                                                          |
| <b>Planting material x Size of palm bunch (AxB)</b> |                    |                                                        |                                                            |
| A1B1                                                | 10.97 <sup>b</sup> | 9.63                                                   | 29.73                                                      |
| A1B2                                                | 11.27 <sup>a</sup> | 10.20                                                  | 27.40                                                      |
| A2B1                                                | 10.97 <sup>b</sup> | 9.63                                                   | 29.73                                                      |
| A2B2                                                | 11.27 <sup>a</sup> | 10.2                                                   | 27.4                                                       |
| A3B1                                                | 10.97 <sup>b</sup> | 9.63                                                   | 29.73                                                      |
| A3B2                                                | 11.27 <sup>a</sup> | 10.20                                                  | 27.40                                                      |
| F-test                                              | *                  | ns                                                     | ns                                                         |
| CV                                                  | 0.42               | 7.68                                                   | 5.24                                                       |

\* = Statistically significant difference at the 95% confidence level

ns = No statistically significant difference at the 95% confidence level

ส่วนขนาดของทะลายปาล์มทั้งสองขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะลายปาล์ม 0.2 เซนติเมตร มีค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ กับขนาดของทะลายปาล์ม 2 เซนติเมตร โดยมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 2.87 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> ซึ่งขนาดของทะลายปาล์มที่ใช้ในการผสมไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก

การเปรียบเทียบโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย เท่ากับ 4.40 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย เท่ากับ 7.40 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย เท่ากับ 6.50 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup>

ส่วนขนาดของทะลายปาล์มทั้งสองขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะลายปาล์ม 2 เซนติเมตร มีค่าค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ยมากกว่าขนาดของทะลายปาล์ม 0.2 เซนติเมตร โดยมีค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 6.20 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> และ 6.00 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup> ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะลายปาล์มที่ใช้ในการผสมไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก



**Table 2 Total N, total P, exchangeable K of orchid planting materials using oil palm empty fruit bunches**

| Treatment                                           | Total N (g kg <sup>-1</sup> ) | Total P (g kg <sup>-1</sup> ) | Exchangeable K (g kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <u>Planting material (A)</u>                        |                               |                               |                                      |
| 2.5 : 10.5 (A1)                                     | 3.84 <sup>b</sup>             | 2.90                          | 4.40 <sup>b</sup>                    |
| 2.5 : 10 (A2)                                       | 5.00 <sup>a</sup>             | 2.85                          | 7.40 <sup>a</sup>                    |
| 2.5 : 9.5 (A3)                                      | 4.15 <sup>b</sup>             | 2.85                          | 6.50 <sup>a</sup>                    |
| F-test                                              | *                             | ns                            | *                                    |
| <u>Size of palm bunch (cm) (B)</u>                  |                               |                               |                                      |
| 0.2 (B1)                                            | 4.23                          | 2.87                          | 6.00                                 |
| 2 (B2)                                              | 4.43                          | 2.87                          | 6.20                                 |
| F-test                                              | ns                            | ns                            | ns                                   |
| <u>Planting material x Size of palm bunch (AxB)</u> |                               |                               |                                      |
| A1B1                                                | 4.226                         | 2.87                          | 6.00                                 |
| A1B2                                                | 4.433                         | 2.87                          | 6.20                                 |
| A2B1                                                | 4.226                         | 2.87                          | 6.00                                 |
| A2B2                                                | 4.433                         | 2.87                          | 6.20                                 |
| A3B1                                                | 4.226                         | 2.87                          | 6.00                                 |
| A3B2                                                | 4.433                         | 2.87                          | 6.20                                 |
| F-test                                              | ns                            | ns                            | ns                                   |
| CV                                                  | 13.4                          | 4.27                          | 22.66                                |

\* = Statistically significant difference at the 95% confidence level

ns = No statistically significant difference at the 95% confidence level

### 3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

#### 1) ลักษณะปรากฏภายนอก

เมื่อผสมอัตราส่วนวัสดุปลูก (2.5 : 10.5 , 2.5 : 10 , 2.5 : 9) และขนาดทะลายปาล์ม 0.2 เซนติเมตร เมื่อนำไปอัดขึ้นรูป ผิวของวัสดุปลูกเรียบไม่ขรุขระ เนื้อทะลายปาล์มกับปูนผสมผสานกันได้ดี ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 อัตราส่วน (Figure 4a) วัสดุปลูก (2.5 : 10.5 , 2.5 : 10 , 2.5 : 9) ขนาดทะลายปาล์ม 2.0 เซนติเมตร เมื่อนำไปอัดขึ้นรูป ผิวของวัสดุปลูกขรุขระ เนื้อทะลายปาล์มกับปูนผสมผสานกันแต่ไม่เรียบเนียนยังมีช่องว่างของเนื้อทะลายปาล์มที่อาจจะไม่ติดกัน ซึ่งไม่แตกต่างกันทั้ง 3 อัตราส่วน (Figure 4b)



a) Examples of appearance of planting material at different ratios using 0.2 cm. of crunch size.



b) Examples of appearance of planting material at different ratios using 2.0 cm. of crunch size.

**Figure 4 Appearance of planting material from oil palm fruit bunch and cement combination**

## 2) ค่าการสลายตัวในน้ำ

การเปรียบเทียบวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าการสลายตัวในน้ำเฉลี่ยมากที่สุด คือ 8.41% และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีความหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 7.50% ในขณะที่วัสดุปลูก 2.5 : 9.5 มีค่าการสลายตัวในน้ำเฉลี่ย เท่ากับ 8.35%

ส่วนขนาดของทะลายปาล์มทั้งสองขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะลายปาล์ม ขนาด 2 เซนติเมตร มีค่าการสลายตัวในน้ำเฉลี่ยของวัสดุปลูกมากกว่าขนาดของทะลายปาล์ม 0.2 เซนติเมตร โดยมีการสลายตัวในน้ำเฉลี่ย 8.15% และ 8.02% ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะลายปาล์มที่ใช้ในการผสมไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก (Table 3)

**Table 3 The ratio of various planting materials and size of empty palm bunch on slake, water absorption and density of planting material**

| Treatment                                           | Slake (%) | Water absorption (%) | Density (g ml <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| <u>Planting material (A)</u>                        |           |                      |                               |
| 2.5 : 10.5 (A1)                                     | 7.50      | 48.84 <sup>b</sup>   | 0.99 <sup>a</sup>             |
| 2.5 : 10 (A2)                                       | 8.41      | 66.54 <sup>a</sup>   | 0.97 <sup>a</sup>             |
| 2.5 : 9.5 (A3)                                      | 8.35      | 52.78 <sup>ab</sup>  | 0.95 <sup>a</sup>             |
| F-test                                              | ns        | *                    | ns                            |
| <u>Size of palm bunch (cm) (B)</u>                  |           |                      |                               |
| 0.2 (B1)                                            | 8.02      | 26.11 <sup>b</sup>   | 1.02 <sup>a</sup>             |
| 2 (B2)                                              | 8.15      | 86.00 <sup>a</sup>   | 0.93 <sup>b</sup>             |
| F-test                                              | ns        | *                    | *                             |
| <u>Planting material x Size of palm bunch (AxB)</u> |           |                      |                               |
| A1B1                                                | 7.41      | 25.45 <sup>c</sup>   | 0.90 <sup>b</sup>             |
| A1B2                                                | 7.58      | 72.24 <sup>b</sup>   | 1.10 <sup>a</sup>             |
| A2B1                                                | 7.86      | 23.98 <sup>c</sup>   | 0.97 <sup>b</sup>             |
| A2B2                                                | 8.97      | 109.10 <sup>a</sup>  | 0.97 <sup>b</sup>             |
| A3B1                                                | 8.78      | 28.91 <sup>c</sup>   | 0.91 <sup>b</sup>             |
| A3B2                                                | 7.91      | 76.64 <sup>b</sup>   | 1.00 <sup>ab</sup>            |
| F-test                                              | ns        | *                    | *                             |
| CV                                                  | 25.81     | 12.35                | 7.72                          |

\* = Statistically significant difference at the 95% confidence level

ns = No statistically significant difference at the 95% confidence level

## 3) การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยมากที่สุด คือ 66.54% และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 48.84% ในขณะที่วัสดุปลูก 2.5 : 9.5 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย เท่ากับ 52.78%

ส่วนขนาดของทะลายปาล์มทั้งสองขนาด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะลายปาล์ม 2.0 เซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของวัสดุปลูกมากกว่าขนาดของทะลายปาล์ม

0.2 เซนติเมตร โดยมีการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 86.00% และ 26.11% ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะเลาะปาล์มที่ใช้ในการผสมมีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก (Table 3)

#### 4) ค่าความหนาแน่น

ความหนาแน่นของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของวัสดุปลูกมากที่สุด คือ 0.99 กรัม มิลลิลิตร<sup>-1</sup> และวัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 9.5 มีความหนาแน่นเฉลี่ยของวัสดุปลูกน้อยที่สุดคือ 0.95 กรัม มิลลิลิตร<sup>-1</sup> ในขณะที่วัสดุปลูก 2.5 : 10 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 0.97 กรัม มิลลิลิตร<sup>-1</sup>

ส่วนขนาดของทะเลาะปาล์มทั้งสองขนาด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กล่าวคือ ขนาดของทะเลาะปาล์ม 0.2 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยมากกว่าขนาดของทะเลาะปาล์ม 2.0 เซนติเมตร โดยมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.02 กรัม มิลลิลิตร<sup>-1</sup> และ 0.93 กรัม มิลลิลิตร<sup>-1</sup> ตามลำดับ ซึ่งขนาดของทะเลาะปาล์มที่ใช้ในการผสมมีอิทธิพลร่วมกับอัตราส่วนของวัสดุปลูก (Table 3)

#### 5) ค่าความแข็งแรงจากการทดสอบปล่อยตก

การเปรียบเทียบ วัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วนในการทดสอบการปล่อยตกอย่างอิสระที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร จากพื้น พบว่า วัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน ที่ขนาดทะเลาะปาล์ม 0.2 เซนติเมตร มีความยาวรอยร้าวเฉลี่ยของวัสดุปลูกน้อยที่สุดเท่ากันคือ 1 เซนติเมตร และเมื่อผสมอัตราส่วนวัสดุปลูก (2.5 : 10.5 , 2.5 : 10 , 2.5 : 9) ขนาดทะเลาะปาล์ม 2 เซนติเมตร มีความยาวรอยร้าวเฉลี่ยของวัสดุปลูก 1.10, 1.10 และ 1.33 เซนติเมตร ตามลำดับ (Figure 5)

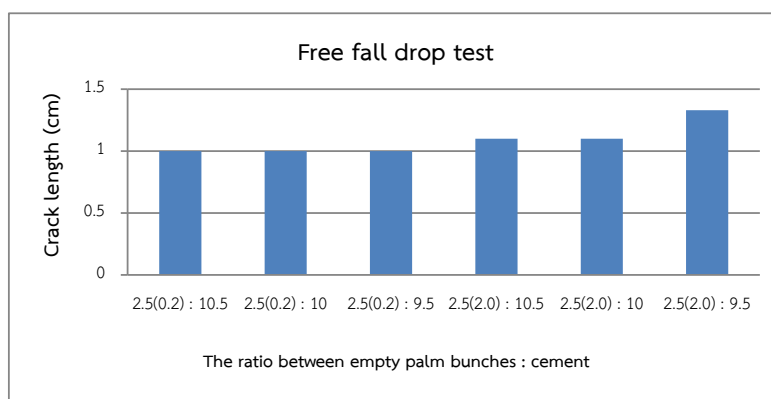


Figure 5 Results of free fall drop test of various planting material combination

### 3.3 วิจัยผลการทดสอบสมบัติทางเคมี

#### 1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ ตัดดอกและพืชอื่น ๆ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่มีผลทางอ้อมต่อความสามารถในการละลายธาตุอาหารต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นพิษกับพืชปลูก รวมทั้งเป็นตัวควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งพืชปลูกในภาชนะส่วนใหญ่นั้นจะเจริญได้ดีในระดับที่เป็นกรดเล็กน้อย โดยมีค่าระหว่าง 5.5-6.5 (Nukaew, 2011) พบว่า วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5, 2.5 : 10, 2.5 : 9.5 และขนาดทะเลาะปาล์ม 2 เซนติเมตร มีค่า pH เป็นด่างอยู่ในเกณฑ์สูง ซึ่งอาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปปลูกกล้วยไม้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการแช่น้ำส้มสายชู เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ค่าความเป็นด่างลดลงได้ (Thaicarp, 2014)

#### 2) ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้า คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่สกัดจากวัสดุปลูกที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือในน้ำ การสกัดน้ำจากวัสดุปลูกสามารถประมาณค่าเกลือที่ละลายในน้ำได้ ซึ่งใช้เป็นดัชนี

ชี้วัดความเค็มที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติ โดยค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักและไม้ดอกไม้ประดับทั่วไป คือ 1.8 - 2.0 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup> (Attanandana and Chanchareonsook, 2008) ผลจากการวิเคราะห์พบว่า วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5, 2.5 : 10, 2.5 : 9.5 และขนาดทะเลสาปาล์ม 0.2 เซนติเมตร มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 9.63 มิลลิซีเมนส์ เซนติเมตร<sup>-1</sup> มีความเค็มปานกลาง จึงอาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปปลูกกล้วยไม้ แต่แก้ไขให้มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำลงได้ โดยการนำไปแช่น้ำก่อนการนำไปปลูกเพื่อชะล้างเกลือส่วนเกินออกไป

### 3) ค่าความสามารถของสารในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวก

การแลกเปลี่ยนประจุบวก คือ การแลกเปลี่ยนระหว่างธาตุประจุบวกในสารละลายกับธาตุอาหารประจุบวกบนผิวดิน ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกนั้นเป็นผลรวมของธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดที่ดินดูดซับไว้ มีหน่วยเป็น โมล 100 กรัม<sup>-1</sup> ซึ่งค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่เหมาะสมของวัสดุปลูกควรอยู่ระหว่าง 10-30 โมล/100 กรัม<sup>-1</sup> หรือ 10-100 มิลลิลิตร (Suriyapananon, 1985) วัสดุปลูกมีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สูง นอกจากทำหน้าที่เป็นตัวปรับเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจากการใส่ธาตุอาหารหรือปุ๋ยลงไปแล้ว ยังช่วยป้องกันการแลกเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่ให้เกิดขึ้นเร็วไปอีกด้วย (Duangpatra, 2000) ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10.5, 2.5 : 10, 2.5 : 9.5 และขนาดทะเลสาปาล์ม 0.2 และ 2.0 เซนติเมตร มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 29.73 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup> และ 27.40 เซนติโมล กิโลกรัม<sup>-1</sup> ตามลำดับ จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้

### 4) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดจากการวิเคราะห์ มีปริมาณใกล้เคียงกันในทุก 3 อัตราส่วนและขนาดทะเลสาปาล์มทั้ง 2 ขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ขนาดทะเลสาปาล์มขนาด 2 เซนติเมตร จะมีปริมาณมากกว่าขนาดทะเลสาปาล์มขนาด 0.2 เซนติเมตร

ฟอสฟอรัสทั้งหมดจากการวิเคราะห์ มีปริมาณใกล้เคียงกันในทุก 3 อัตราส่วนและขนาดทะเลสาปาล์มทั้ง 2 ขนาด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุปลูกมีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทั้ง 3 อัตราส่วนและขนาดทะเลสาปาล์มทั้ง 2 ขนาด แต่ปริมาณโพแทสเซียมที่ขนาดทะเลสาปาล์มขนาด 2 เซนติเมตร จะมีปริมาณมากกว่าขนาดทะเลสาปาล์มขนาด 0.2 เซนติเมตร ซึ่งพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของวัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วนผสมทะเลสาปาล์มขนาด 2 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 6.20 กรัม กิโลกรัม<sup>-1</sup>

## 3.4 วิจัยผลการทดสอบสมบัติทางเคมี

### 1) ค่าการสลายตัวในน้ำ

วัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วนและขนาดทะเลสาปาล์มทั้ง 2 ขนาด มีการสลายตัวในน้ำมากกว่า 5% ซึ่งการนำไปใช้ในการปลูกพืชนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากจะทำให้เกิดการยุบตัวและสลายตัวได้ง่าย และเมื่อใช้ไปเป็นเวลานานจะทำให้วัสดุปลูกไม่คงรูปและแน่นเกินไป การระบายน้ำและอากาศไม่ดีและส่งผลให้การเจริญของรากลดน้อยลง (Watanaputi, 2002)

การสลายตัวในน้ำของวัสดุปลูกมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือหากวัสดุปลูกมีการสลายตัวในน้ำน้อย จึงส่งผลดีเมื่อใช้ในการปลูกพืชเป็นระยะเวลานาน ทำให้ลดการยุบตัวและการอัดแน่นของวัสดุปลูกในภาชนะหรือพื้นที่ปลูก สามารถลดค่าใช้จ่ายให้น้อยลง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนวัสดุปลูกบ่อยครั้ง (Nukaew, 2011) ทั้งนี้วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 ขนาดทะเลสาปาล์ม 0.2 เซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวในน้ำที่มีค่าเท่ากับ 7.58% ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 5% มากที่สุดจึงเหมาะสมที่จะพัฒนาให้เป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้

## 2) การดูดซึมน้ำ

พบว่าขนาดของทะเลสาปาล์มที่ใช้ในการผสมมีผลต่อการดูดซึมน้ำของวัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วน โดยวัสดุปลูกที่ผสมด้วยขนาดทะเลสาปาล์มขนาด 2 เซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงที่สุดทั้ง 3 อัตราส่วน นอกจากนี้ในแต่ละอัตราส่วนซึ่งมีส่วนของวัสดุที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อช่องว่างภายในของวัสดุปลูกได้ (Duangpatra, 2000) กล่าวคือ วัสดุปลูกอัตราส่วน 2.5 : 10 ขนาดทะเลสาปาล์ม 2 เซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากกว่าวัสดุปลูกอัตราส่วนอื่น ๆ จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้ เนื่องจากไม่ต้องให้น้ำบ่อยครั้ง

## 3) ความหนาแน่น

ผลทดสอบความหนาแน่นของวัสดุปลูก พบว่า วัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าใกล้เคียงกัน วัสดุปลูกที่มีความหนาแน่นรวมมากแสดงว่าวัสดุปลูกนั้นมีช่องว่างน้อย มีลักษณะอัดแน่นหรือหนัก อาจเป็นผลมาจากการเรียงตัวของวัสดุปลูก ความหนาแน่นรวมมีความสำคัญในการพิจารณาความสามารถในการยืนต้นอยู่ได้ของพืชปลูก ทั้งที่ปลูกในภาชนะหรือเคลื่อนย้าย วัสดุปลูกพืชในภาชนะที่หนักเกินไปทำให้การขนส่งไม่สะดวก เพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้สูงขึ้น ทำให้ภาชนะแตกหักได้ง่าย ควรประเมินการดูดซึมน้ำและการระบายอากาศของวัสดุปลูกเพื่อเป็นแนวทางการนำไปใช้ปลูกพืช วัสดุปลูกควรมีค่าความหนาแน่นรวม 0.15-1.3 กรัม เซนติเมตร<sup>3</sup> (Yavichai, 2007; Nukaew, 2011) หากพิจารณาถึงความหนาแน่นที่เหมาะสมของวัสดุปลูกนี้ ความหนาแน่นรวมจากวัสดุปลูกทั้ง 3 อัตราส่วนและทะเลสาปาล์มทั้ง 2 ขนาดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 0.95 - 0.99 กรัม เซนติเมตร<sup>3</sup> สามารถนำไปใช้ปลูกพืชได้เป็นอย่างดี

## 4) ค่าความแข็งแรงจากการทดสอบปล่อยตก

ขนาดทะเลสาปาล์มและความหนาแน่นมีผลต่อรอยร้าวของวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน โดยวัสดุปลูกที่มีรอยรำน้อยจะมีความทนทานและสามารถใช้ได้เป็นระยะเวลายาวนาน เกษตรกรไม่ต้องเปลี่ยนวัสดุปลูกบ่อย ทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้ โดยวัสดุปลูกทั้งสามอัตราส่วน ที่ขนาดทะเลสาปาล์ม 0.2 เซนติเมตร มีความยาวรอยร้าวเฉลี่ยของวัสดุปลูกน้อยที่สุดเท่ากันคือ 1 เซนติเมตร จึงเหมาะสมจะพัฒนาใช้เป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้

## 4. สรุป

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษา วัสดุปลูกที่ประกอบด้วย ทะเลสาปาล์ม : ปูน 3 อัตราส่วน คือ 2.5 : 10.5, 2.5 : 10 และ 2.5 : 9.5 แล้วนำไปผสมกับทะเลสาปาล์มขนาด 0.2 และ 2 เซนติเมตร จากการพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพในภาพรวม พบว่า วัสดุปลูกที่ประกอบด้วย ทะเลสาปาล์ม : ปูน อัตราส่วน 2.5 : 10 และขนาดทะเลสาปาล์ม 2 เซนติเมตร มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้ได้โดยการพัฒนาค่า pH ของวัสดุปลูกให้อยู่ในช่วง 5.5-7.5 และควรเลือกใช้วัสดุยึดเกาะ (Binder) เช่น กาวแป้ง แทนการใช้ปูนพอร์ตแลนด์เพื่อลดคุณสมบัติความเป็นด่างของปูน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรเกษตร หน่วยปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน พืช น้ำ ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา และภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่กรุณาสับสนุนงบประมาณและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐ พิชกรรม อาจารย์ประจำภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน รศ.พาสินี สุนากร อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดร.พินิจ จิระคกุล วิศวกรการเกษตรชำนาญการ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ดร.พุทธินันท์ จารุวัฒน์ วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนแนวทางการทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุปลูก



## 6. เอกสารอ้างอิง

- Attanandana, T. & Chanchareonsook, J. (2008). **Soil and plant analysis operation manual**. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Duangpatra, p. (2000). **Soil conditioners**. Bangkok: Kasetsart University Press. (in Thai)
- Kanjanakul, S. (2008). **Plant Growth Media**. Bangkok: Setthasilp Publisher. (in Thai)
- Nukaew, D. (2011). **Study of Planting Materials for Rooftop Gardens**. (Master Thesis). Kasetsart University, Bangkok (in Thai)
- Piakong, P. (2014). **Study of Xylose Production from Oil Palm Empty Fruit Bunch**. (Master Thesis). Prince of Songkla University, Songkla. (in Thai)
- Suriyapananon, V. (1985). **Horticultural food and planting materials (Teaching document)**. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Thaicarp. (2014). **Making the new pond safe to fish (soaking the new pond)**. Retrieved 28 Mar 2023, from <https://www.thaicarp.com/info/21-8-57.html>. (in Thai)
- Watanaputi, N. (2002). **Flowering plant guide**. Bangkok: Odeonstore Publishing. (in Thai)
- Yavichai, W. (2007). **Production of high porous-silicate ceramic for planting**. (Master Thesis). Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

(Received: 13/Aug/2023, Revised: 12/Dec/2023, Accepted: 22/Dec/2023)

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์คอมโพสิต  
เพื่อการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย  
Feasibility Study on The Use of Reduced Graphene Oxide-Iron Oxide  
Composite For Removal of Hexavalent Chromium In Wastewater

พีรพัฒน์ คำเกิด<sup>1</sup> ดุษฎี คำบุญเรือง<sup>1\*</sup> และ นเรนทร บุญส่ง<sup>2</sup>

Peraphat Kamkird<sup>1</sup>, Dusadee Khamboonrueang<sup>1\*</sup> and Naraintorn Boonsong<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<sup>1</sup> Major Physics and General Science, Department of Science, Faculty of Science and Technology,  
Nakhon Sawan Rajabhat University

<sup>2</sup> Department of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok  
E-mail: dusadee.k@nsru.ac.th Tel: 080-7049016

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์คอมโพสิต ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -x%RGO) ในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย โดยเตรียมสารตัวอย่างคอมโพสิตระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์โดยวิธีโซลโวเทอร์มอล จากนั้นนำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM ส่วนโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD สมบัติเชิงแสงและสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงศึกษาด้วยเครื่อง UV-vis การตรวจสอบสมบัติทางแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง VSM ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM แสดงให้เห็นอนุภาคของเหล็กออกไซด์กระจายตัวอยู่บนผิวของกราฟีนออกไซด์และแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นของกราฟีนออกไซด์ ในส่วนของ XRD พบว่า สารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ แสดงโครงสร้างของเหล็กออกไซด์แบบฮีมาไทต์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) และผลของ VSM แสดงสมบัติแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติก ส่วนผลของ UV-vis สามารถนำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ได้ว่าสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์มีค่าแถบช่องว่างพลังงานอยู่ระหว่าง 2.50 - 2.80 อิเล็กตรอนโวลต์ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ - เหล็กออกไซด์ ในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย พบว่า สารคอมโพสิต  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO สามารถกำจัดสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้ดีที่สุด และการลดลงของความเข้มข้นโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr(VI)) ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของสารตัวอย่าง

**คำสำคัญ :** รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เหล็กออกไซด์ การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง โครเมียมเฮกซะวาเลนต์

### Abstract

This research has studied the ability of the reducing graphene oxide-iron oxide composite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -x%RGO) to get rid of hexavalent chromium in wastewater by preparing a composite sample between reducing graphene oxide-iron oxide by the solvothermal method Then take the sample substance that has been analyzed for morphology with SEM. The structure can be analyzed with XRD. The optical properties and the photocatalytic efficiency studied with UV-vis machines. Examining the magnetic properties using VSM. The SEM analysis results show that iron oxide particles spread on the surface of graphene oxide and insert between layers of graphene oxide. In the section XRD found that the reducing graphene oxide-iron oxide composite substances show the structure of the hematite iron

oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) and the effect of VSM showing the ferro-magnetic properties. The effect of UV-vis can bring the absorbance of the sample substance can be analyzed that the reducing graphene oxide-iron oxide composite substances has an energy gap between 2.50 - 2.80 electron volts. In addition, the analysis of the photocatalytic efficiency of the reducing graphene oxide-iron oxide composite substances in the removal of hexavalent chromium in wastewater found that the composite substance  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO is best able to get rid of hexavalent chromium solution. And the decrease in hexavalent chromium concentration ( $\text{Cr(VI)}$ ) makes it known the efficiency of the photocatalytic of the sample.

**Keywords :** Reduce Graphene Oxide, Iron Oxide, Photocatalytic Activity, Hexavalent Chromium

## 1. บทนำ

แหล่งน้ำตามธรรมชาติหลายแห่งกำลังประสบปัญหามลภาวะทางน้ำกล่าวคือ เกิดการปนเปื้อนของสารเคมี ขยะ และสิ่งสกปรก ที่มาจากภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรม โดยอาจมีการปนเปื้อนสารพิษพวกยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช และ โลหะหนัก รวมถึงการที่แหล่งน้ำมีคราบน้ำมันปกคลุม และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ปล่อยสารพิษ และความร้อนลงสู่แหล่งน้ำ (BBC Thai, 2017) โดยเฉพาะการปนเปื้อนโลหะหนักอย่างโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ หรือ เฮกซะวาเลนต์โครเมียม (hexavalent chromium,  $\text{Cr(VI)}$ ) ซึ่งเป็นสารอันตรายที่จัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง ผู้ที่ได้รับสารโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง หอบหืด และเป็นโรคมะเร็งทางเดินหายใจ (Danwittayakul and Thanaboonsombat, 2013) การปนเปื้อนของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์มีสาเหตุหลักมาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการนำโครเมียมมาใช้เป็นวัตถุดิบ เช่น การผลิตสี ย้อม อุตสาหกรรมพ่นสี การชุบโลหะ ฯลฯ โดยน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตมีโอกาสที่จะปนเปื้อนสารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ เมื่อน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำใต้ดิน โครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะถูกสะสมในสัตว์น้ำ พืช น้ำ รวมถึงผลิตผลทางการเกษตรที่ใช้แหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนในการเพาะปลูก (Changsuwan, 2019) โครเมียมเฮกซะวาเลนต์สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านการดื่มน้ำจากแหล่งที่มีการปนเปื้อนโดยตรงหรือ ทางอ้อมโดยการบริโภคสัตว์น้ำ พืช น้ำ รวมถึงผลิตผลทางการเกษตรที่ปนเปื้อน การแก้ปัญหาทางน้ำแต่เดิมนิยมโดยใช้วัสดุที่มีความพรุนสูงเป็นตัวดูดซับสารเคมีในน้ำ (Chairat and Panya, 2019) แต่วิธีการดังกล่าวสารเคมีเป็นพิษเหล่านั้นไม่ได้ถูกกำจัดไปเพียงแต่เกาะตัวอยู่บนวัสดุที่มีความพรุนสูงนั้น และวัสดุดูดซับจะกลายเป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารพิษสูง (Narawong and Panya, 2017) ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสารพิษบนวัสดุดูดซับเหล่านั้นอีกครั้ง ส่งผลทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันมีวิธีแก้ปัญหาที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งคือกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยกระบวนการดังกล่าวจะเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสกับสารพิษในน้ำเสีย สารพิษดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการทำให้เกิดโฟโตคะตะไลซิสเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ที่กระตุ้นด้วยแสงจากรังสียูวีหรือแสงขาวที่ได้จากรังสีของดวงอาทิตย์ กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสมีความเหมาะสมอย่างมากต่อการนำมาประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียในประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศในเขตร้อนที่มีแสงแดดตลอดทั้งปี ในบรรดาวัสดุที่ใช้ในงานด้านโฟโตคะตะไลซิสที่ได้รับความนิยมคือกราฟีนออกไซด์ (RGO) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเนื่องจากไม่เป็นพิษ สิ่งที่เราได้ไม่ยากและพื้นที่ผิวสัมผัสมากซึ่งมีผลในด้านโฟโตคะตะไลซิสมาก ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับสารมลพิษได้มาก สารเคมีพิษจึงกลายเป็นสารที่ไม่เป็นพิษได้มากขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทำได้โดยเติมอนุภาคนาโนที่สามารถเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนได้ดีเข้าไปยังรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคของเหล็กออกไซด์เป็นหนึ่งในวัสดุนาโนเดิมแต่ที่เหมาะสมสำหรับงานนี้ เนื่องจากเหล็กออกไซด์มีสมบัติทางด้านแม่เหล็ก (Alice, 2018) ที่ดีต่อการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับสารมลพิษได้ (Board of Dartmouth College, 2004) จากการศึกษาของงานวิจัยของ Uma et al., 2020 นำเสนอว่านาโนคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์รองรับอนุภาค

นาโนเหล็กออกไซด์ (RGO@ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NC) เตรียมโดยใช้วิธีโซล-เจล มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายของสีย้อมเมทิลีนบลู (MB) ภายใน 30 นาที และยังพบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดีกว่า รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) และงานวิจัยของ Wang et al., 2016 ได้นำเสนอรายงานว่าอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ที่สังเคราะห์ในเอ็น-บิวทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ภายใต้การฉายรังสีของแสงที่มองเห็นได้ ( $\lambda > 400$  นาโนเมตร) ดังนั้นนำเอาสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์มากำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและน่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มีความสนใจที่จะเติมอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ลงบนผิวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้วิธีโซล-โวลเทอรัมอล (Sergey et al., 2010) เพื่อให้ได้สารคอมโพสิตระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ แล้วจะนำสารที่สังเคราะห์ไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารคอมโพสิตระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) รุ่น: Quanta 450 เนเธอร์แลนด์ เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometers: XRD) รุ่น: D8 Advance เยอรมัน เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Ultra violet - visible spectrophotometer: UV-vis) รุ่น Perkin Elmer Lambda 650 ผลิตโดยบริษัท Waltham สหรัฐอเมริกา เครื่องวัดสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนาโน ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic setup) สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ กราฟีนออกไซด์ (GO) ที่เตรียมด้วยวิธีการของฮัมเมอร์ที่ปรับปรุงแล้ว น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) เพอริคคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต (Iron(III) chloride hexahydrate: FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O) เกรด AR บริษัท MERCK เอทานอล (Ethanol: C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O)  $\geq 99.97\%$  เกรด AR บริษัท MERCK และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Chromium (VI) oxide) 99% เกรด AR บริษัท Qrec

### 2.2 วิธีการทดลอง

#### 2.2.1 การเตรียมสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์

การเตรียมสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-x%RGO) ด้วยวิธีโซลโวลเทอรัมอล โดยเริ่มจากละลายแผ่นกราฟีน (GO) ที่ความเข้มข้นต่างกันตามสัดส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักในเอทานอล 30 มิลลิลิตรในขวดเก็บสารเคมีขนาด 100 มิลลิลิตร ผสมแล้วนำไปจุ่มลงในเครื่องอัลตราโซนิกจนกระทั่งแผ่นกราฟีนกระจายตัวจนหมด เติมน้ำเพอริคคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตลงในสารผสมระหว่างกราฟีนออกไซด์กับเอทานอล จากนั้นเทสารผสมลงใน Teflon-lined stainless steel autoclave อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนผ่านการกรองด้วยชุดกรองและปั๊ม และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Khamboonrueang et al., 2018)

#### 2.2.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเครื่อง XRD เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของสารตัวอย่าง นำสารตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์มาบดให้ละเอียดเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของสารตัวอย่างจะได้ผลของการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น จากนั้นนำสารตัวอย่างบรรจุลงในช่องใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วใช้กระจกสไลด์กดปิดฝาผิวหน้าให้เรียบแล้วนำไปเข้าเครื่อง XRD โดยทำการวิเคราะห์ที่ค่ามุม 2 $\theta$  ในช่วง 5 - 90 องศา

### 2.2.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่าง เริ่มจากนำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้จำนวนเล็กน้อยละลายในเอทานอลแล้วสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเพื่อกระจายอนุภาค จากนั้นดูดสารตัวอย่างมาหยดลงบนอุปกรณ์รองรับสารตัวที่เรียกว่า สตับ ที่ได้ติดแผ่นอะลูมิเนียมที่ผิวของสตับก่อนหยดสารละลายตัวอย่างจำนวน 1 - 2 หยด ทิ้งให้แห้ง จากนั้นนำสตับเคลือบทองด้วยเครื่อง Gold Sputter เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้จะได้ภาพที่คมชัดขึ้น นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบทองแล้วไปตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พร้อมทั้งเลือกภาพ จุดและบริเวณที่สนใจ

### 2.2.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

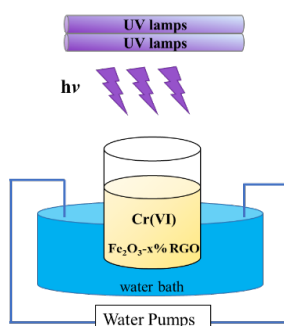
การวัดสารตัวอย่างด้วยเครื่อง UV-vis เป็นการศึกษาการดูดกลืนแสง นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มาบดให้ละเอียดแล้วอบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นเทสารตัวอย่างลงบนแผ่นสก็อตเทปใสด้านที่มีกาว เคาะแผ่นสก็อตเทปเพื่อให้สารตัวอย่างที่ไม่ติดสก็อตเทปออก เทสารตัวอย่างเข้าบนสก็อตเทปอันเดิม แล้วเคาะแผ่นสก็อตเทปเพื่อให้สารตัวอย่างที่ไม่ติดสก็อตเทปออก ทำซ้ำจนกระทั่งสารตัวอย่างกระจายเต็มทั่วแผ่นสก็อตเทป โดยสารตัวอย่างที่ติดบนสก็อตเทปจะต้องไม่หนาจนเกินไปจนทำให้แสงทะลุผ่านไม่ได้ แล้วนำสก็อตเทปอีกแผ่นมาปิดทับแล้วนำสารตัวอย่างไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-vis

### 2.2.5 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนาโน

การตรวจสอบความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนาโนจะใช้แมกนีโตมิเตอร์แบบตัวอย่างสั้น (VSM) เริ่มจากนำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มาบดให้ละเอียด แล้วอบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้น ต่อมานำสารตัวอย่างใส่ในหลอดดูดยาว 2 เซนติเมตร พับหัวท้ายแล้วปิดด้วยสก็อตเทปให้สนิท จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกค่า แล้วนำที่ก้านวัดตัวอย่างแบบสั้นให้แน่นและทำการวัดวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง VSM

### 2.2.6 การทดสอบสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

การทดสอบสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เริ่มจากการใช้ผงสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ตัวอย่าง ผสมกับสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ที่เตรียมไว้ แล้วนำสารละลายผสมที่ได้เข้าไปเก็บในที่มีดเป็นเวลา 60 นาที เพื่อสร้างสมดุลการดูดซับและการละลายของสารละลายผสม จากนั้นดูดสารละลายผสมเก็บไว้บันทึกเป็นเวลาเริ่มต้นที่ 0 นาที แล้วนำสารละลายผสมมาทดสอบสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง และจะทำการดูดเก็บสารละลายผสมหลังจากได้รับแสงยูวีทุก ๆ 30 นาที จนครบ 240 นาที (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที) จากนั้นนำสารละลายผสมที่ผ่านการทดสอบในแต่ละช่วงเวลาไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเอาตะกอนแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-vis) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ที่เหลืออยู่ โดยค่าความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ที่ลดลงจะทำให้ทราบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของสารตัวอย่าง (Perumal and Selvi, 2013)



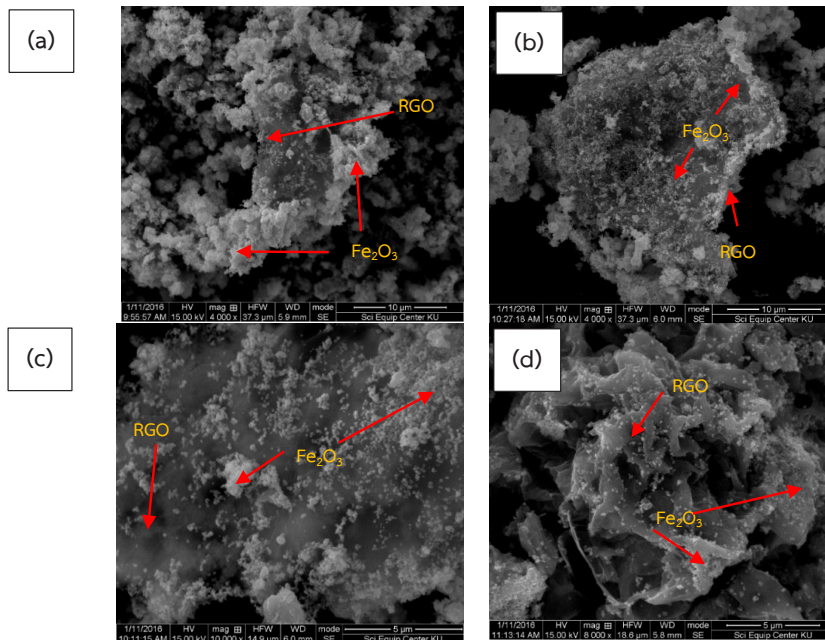
ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติทางด้านตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic Setup)



### 3. ผลการศึกษา

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์สารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ด้วยเครื่อง SEM

ผลการวิเคราะห์สารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ด้วยเครื่อง SEM สารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -x%RGO) โดยใช้ปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่แตกต่างกันตามปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนัก (โดยที่ x = 5, 10, 15 และ 20 wt%) ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอลจะได้สารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ดังนี้  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10%RGO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -15%RGO และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO ตามลำดับ เมื่อนำสารคอมโพสิตดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM จะได้ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 2

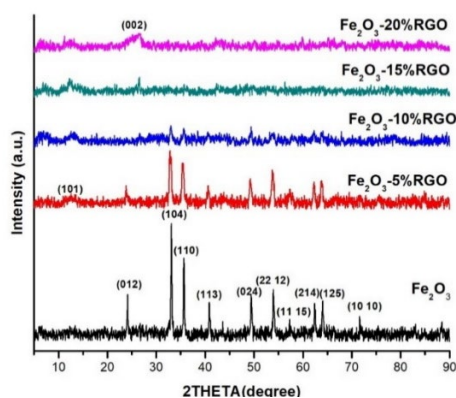


ภาพที่ 2 ภาพ SEM ของสารประกอบ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -x%RGO โดยภาพ (a)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO, (b)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10%RGO, (c)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -15%RGO และ (d)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO

จากภาพที่ 2 พบว่า อนุภาคของเหล็กออกไซด์กระจายตัวเกาะอยู่ที่ผิวของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทั่วทั้งแผ่น และยังมีการแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ สอดคล้องกับรายงานของ Modafferi et al. (2019) และ Uma et al. (2020) โดยการกระจายตัวอนุภาคของเหล็กออกไซด์ของมากขึ้นตามปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น การกระจายตัวที่มากขึ้นของอนุภาคเหล็กออกไซด์บนผิวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะทำให้พื้นที่ผิวให้การทำปฏิกิริยาเชิงแสงเพิ่มมากขึ้นการถ่ายโอนของอิเล็กตรอนจะทำได้ง่ายขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเชิงแสงสูงขึ้นด้วย

#### 3.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างของสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างของสารเหล็กออกไซด์และสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ที่เจือ กราฟีนออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 wt% ด้วยเครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ได้ผลดังภาพที่ 3

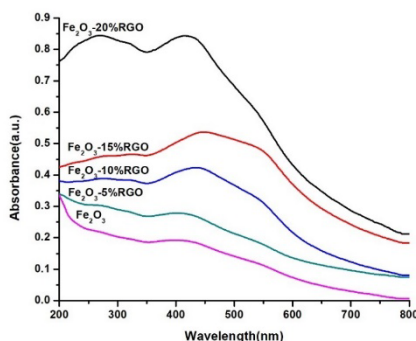


ภาพที่ 3 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์

ภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -x%RGO โดยที่  $x = 5, 10, 15$  และ  $20$  wt%) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ พบว่า มีค่ามุมการเลี้ยวเบนที่  $2\theta$  เท่ากับ  $24.26^\circ, 33.11^\circ, 35.72^\circ, 40.83^\circ, 49.52^\circ, 53.98^\circ, 57.18^\circ, 62.35^\circ, 64.06^\circ, 71.63^\circ$ , ตรงกับระนาบการสะท้อน (012), (104), (110), (113), (024), (22 12), (11 15), (214), (125) และ (10 10) ตามลำดับ ซึ่งเป็นสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของเหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) แสดงระนาบการเลี้ยวเบนสอดคล้องกับรายงานของ Modafferi et al. (2019) และ Wang et al. (2016) และในส่วนของสารตัวอย่างของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -15%RGO และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO จะไม่สังเกตเห็นสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของเหล็กออกไซด์แต่จะเห็นเพียงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เท่านั้น สาเหตุน่าจะมาจากการที่สเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความสูงของพีทที่สูงกว่าพีทของสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนของเหล็กออกไซด์มาก ๆ จึงไม่สามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของเหล็กออกไซด์ในกราฟได้ ซึ่งสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปรากฏจะแสดงที่ค่ามุมการเลี้ยวเบนที่  $2\theta$  เท่ากับ  $26.49^\circ$  ตรงกับระนาบการสะท้อน (002) ระนาบการเลี้ยวเบนสอดคล้องกับรายงานผลของ Abasali Karaj Abad et al. (2020)

### 3.3 การวิเคราะห์ลักษณะการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของเหล็กออกไซด์และสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ จะใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Ultra violet - visible spectrophotometer: UV-vis) ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ยูวีสเปกตรัมของเหล็กออกไซด์และสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ สัดส่วนต่าง ๆ

จากภาพที่ 4 แสดงยูวีสเปกตรัมของเหล็กออกไซด์และสารคอมโพสิตเหล็กออกไซด์-รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่า ที่ความยาวคลื่น  $401.16 - 446.18$  นาโนเมตร สอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของเหล็กออกไซด์ นั้นแสดงให้เห็นว่าทุกสารตัวอย่างมีเหล็กออกไซด์เป็นองค์ประกอบสอดคล้องกับรายงานของ Rahman et al. (2011) อีกทั้งยังปรากฏ

พิชขนาดเล็ที่ความยาวคลื่นในช่วง 260 - 269 นาโนเมตร ซึ่งปรากฏในทุกตัวอย่าง ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้นแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในทุกสารตัวอย่าง และที่ความยาวคลื่นนี้เป็นการทรานซิชันของพันธะอะโรมาติกคาร์บอน (C=C) จาก  $\pi$  ไปยัง Plasmon เกิดจากวิธีการโซลโวเทอร์มอลทำให้เกิดการคอนจูเกตของพันธะ pi ใน กราฟีนออกไซด์ และการที่ปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้นจะสังเกตเห็นพีคของเหล็กออกไซด์ชัดเจนมากขึ้น เนื่องมาจากพื้นที่ผิวในการดูดกลืนแสงมีมากขึ้นทำให้เหล็กออกไซด์สามารถดูดกลืนแสงได้มากขึ้นตามไปด้วย

จากผลการดูดกลืนแสงของเหล็กออกไซด์และสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์สามารถนำไปวิเคราะห์แถบช่องว่างพลังงานได้จากความสัมพันธ์

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2}$$

โดยที่  $\alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (optical absorption coefficient)

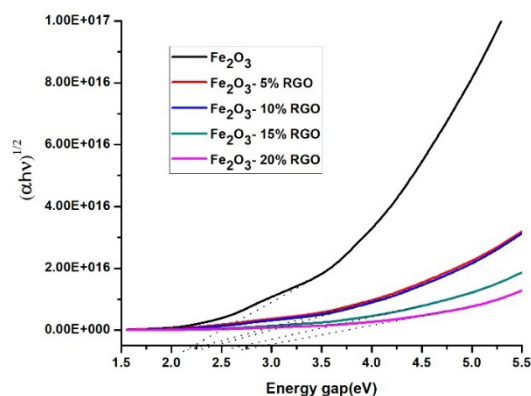
$h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant)

$\nu$  คือ ความถี่ของโฟตอน (photon frequency)

$A$  คือ ค่าคงที่ (constant)

$E_g$  คือ ค่าแถบช่องว่างพลังงาน (direct band gap energy)

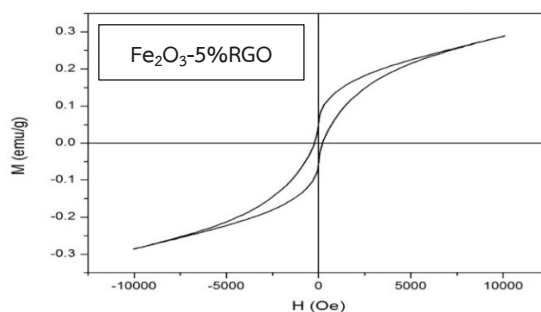
เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ข้างต้น ไปเขียนกราฟได้ดังภาพที่ 5 โดยค่าแถบช่องว่างพลังงานสามารถพิจารณาได้จากส่วนของเส้นตรงที่ลากมาตัดกราฟที่ตำแหน่ง  $(\alpha h\nu)^2 = 0$  ซึ่งค่าแถบช่องว่างพลังงานของสารเหล็กออกไซด์มีค่าอยู่ที่ 2.22 อิเล็กตรอนโวลต์ สอดคล้องกับรายงานของ Liang et al. (2021) และสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์มีค่าแถบช่องว่างพลังงานอยู่ระหว่าง 2.50 - 2.80 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยสารคอมโพสิตเหล็กออกไซด์-รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO) ให้ค่าแถบช่องว่างพลังงานที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 5 แถบช่องว่างพลังงานของเหล็กออกไซด์และสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์

### 3.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น (Vibrating Sample Magnetometer: VSM) จะทำการศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กต่อค่าแมกเนไทเซชันที่อุณหภูมิห้อง ค่าแม่เหล็กต่าง ๆ ได้แก่ Saturation magnetization ( $M_s$ ), Remanence flux density ( $B_r$ ) และค่า Coercivity ( $H_c$ ) เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งสารเฟอร์โรแมกเนติกก็จะแสดงอำนาจแม่เหล็กขึ้นมา โดยสารเฟอร์โรแมกเนติกจะยังสามารถรักษาสภาพความเป็นแม่เหล็กไว้ได้เมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกที่มาเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ จากการศึกษาดังกล่าวพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กต่อค่าแมกเนไทเซชันที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังภาพที่ 6

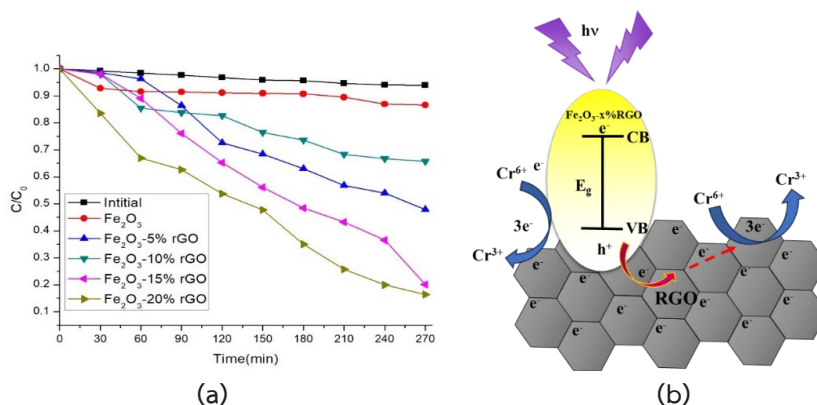


ภาพที่ 6 ฮิสเทอรีซิสลูปของสารคอมโพสิต  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO

จากภาพที่ 6 แสดงฮิสเทอรีซิสลูปของสารคอมโพสิต  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO แสดงให้เห็นว่าคอมโพสิตดังกล่าวมีสมบัติแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติก ส่วนสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์สัดส่วนอื่น ๆ ปริมาณ  $x = 10, 15, 20$  มีลักษณะฮิสเทอรีซิสลูปคล้ายคลึงกับสารคอมโพสิต  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO และแสดงสมบัติแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติก รวมถึงอนุภาคเหล็กออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ก็มีสมบัติแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติกเช่นเดียวกันสอดคล้องกับรายงานของ Chen et al. (2016) และ Ahmad et al. (2016) ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แสดงความเป็นแม่เหล็กแบบซูเปอร์พาราแมกเนติกเมื่อไม่เติม  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และค่า M และ B มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณกราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยคอมโพสิต  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5%RGO มีค่าสูงสุด และจะเห็นว่าค่าสนามแม่เหล็กกลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณกราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น

### 3.5 ผลการทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

ผลการทดสอบ พบว่า เมื่อเวลาในการฉายรังสียูวีเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ( $C/C_0$ ) จะลดลง แสดงว่าอัตราการรีดิวซ์สารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ก็มากขึ้น แสดงได้ดัง ภาพที่ 7 (a)



ภาพที่ 7 (a) กราฟค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ( $C/C_0$ ) กับเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย และ  
(b) กลไกในการกำจัดสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

จากภาพที่ 7 (a) พบว่าสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์สามารถกำจัดสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้ดีกว่าเหล็กออกไซด์ และเมื่อเวลาในการกำจัดเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้นความสามารถในการย่อยสลายสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ก็มากขึ้น แต่ในสารประกอบ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO พบว่า มีความสามารถย่อยสลายสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้ดีที่สุด ดังนั้นแสดงว่าสารคอมโพสิต  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -20%RGO เป็นสารคอมโพสิตที่มี

เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์มากที่สุด ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายกับการทดลองของ Uma et al. (2020) และ Khamboonrueang et al. (2018)

และจากภาพที่ 7 (b) จะแสดงกลไกในการกำจัดสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ เมื่อสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสง ( $h\nu$ ) โดยสารคอมโพสิตดังกล่าวจะดูดซับพลังงานจากแสงจนมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าแถบช่องว่างพลังงานของมัน ทำให้อิเล็กตรอน ( $e^-$ ) ในแถบเวเลนซ์ (Valence band: VB) ถูกกระตุ้นให้กระโดดขึ้นไปอยู่ในแถบการนำ (Conduction band: CB) อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะย้ายไปยังพื้นผิวของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะย้ายไปยังพื้นผิวของอนุภาคเหล็กออกไซด์ หรือไปยังพื้นผิวของ RGO เมื่ออิเล็กตรอนเหล่านั้นทำปฏิกิริยากับไอออนของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ( $Cr^{6+}$ ) โครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไอออนไตรวาเลนต์โครเมียม ( $Cr^{3+}$ )

#### 4. สรุป

ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้คอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสีย พบว่าลักษณะทางกายภาพของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์ ( $Fe_2O_3$ -x% RGO โดยที่  $x = 5, 10, 15$  และ  $20$  wt%) อนุภาคของเหล็กออกไซด์กระจายตัวเกาะอยู่ที่ผิวของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทั่วทั้งแผ่น และยังมีการแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยอนุภาคของเหล็กออกไซด์มีการกระจายตัวมากขึ้นตามปริมาณกราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น สมบัติเชิงโครงสร้างจะแสดงโครงสร้างเหล็กออกไซด์แบบฮีมาไทต์ ( $Fe_2O_3$ ) ซึ่งเมื่อปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในสารประกอบมากขึ้นโครงสร้างของเหล็กออกไซด์จะปรากฏให้เห็นน้อยลง ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงแสง พบว่า จะปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น  $401 - 446$  นาโนเมตร และช่วง  $260 - 269$  นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ช่องว่างแถบพลังงาน พบว่า ช่องว่างแถบพลังงานของเหล็กออกไซด์มีค่า  $2.22$  eV และช่องว่างแถบพลังงานของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์มีค่าแถบช่องว่างพลังงานอยู่ระหว่าง  $2.50 - 2.80$  อิเล็กตรอนโวลต์ การวิเคราะห์สมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น พบว่า สารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์มีสมบัติแม่เหล็กแบบเฟอร์โรแมกเนติก ผลการทดสอบประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง พบว่า สารคอมโพสิต  $Fe_2O_3$ -20%RGO มีความเหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์มากที่สุด เนื่องจากสามารถในการกำจัดสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้ดีที่สุด และการรีดิวซ์โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ของสารคอมโพสิตรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์-เหล็กออกไซด์จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในสารคอมโพสิตเพิ่มขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- Abasali karaj abad, Z., Nemati, A., Khachatourian, A.M., & Golmohammad, M. (2020). Synthesis and characterization of rGO/ $Fe_2O_3$  nanocomposite as an efficient supercapacitor electrode material. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **31**: 14998-15005.
- Ahmad, W.R.W., Mamat, M.H., Zoolfakar, A.S., Khusaimi, Z., & Rusop, M. (2016). A Review on Hematite  $\alpha$ - $Fe_2O_3$  Focusing on Nanostructures, Synthesis Methods, and Applications. *The 13<sup>th</sup> IEEE Student conference on Research and Development (SCoReD 2016)*. The IEEE Malaysia Section, and IEEE International Islamic University (IIUM) Student Branch. Kuala Lumpur, Malaysia.



- Alice bush. (2018). **Iron oxide nanoparticles, characteristics, and applications**. Retrieved 5 June 2023, from sigma-aldrich.com.
- BBC Thai. (2017). **Klity: An old story that made a new chapter in the history of community environmental cases**. Retrieved 5 June 2023, from <https://www.bbc.com/thai/thailand-41225292>. (in Thai)
- Board of Dartmouth College. (2004). **Iron oxide stoichiometry**. Retrieved 5 June 2023, from dartmouth.edu. (in Thai)
- Chairot, M. & Panya, P. (2019). Adsorption of hexavalent chromium using *Eichhornia crassipes*. **Proceeding of The 6<sup>th</sup> National conference KPRU Kamphaeng Phet Rajabhat University Proceeding (pp. 577-586)**. Kamphaeng Phet: Kamphaeng Phet Rajabhat University. 20 December 2019.
- Changsuwan, A. (2019). Hexavalent Chromium in Food. **Department of Science Service Ministry of Science and Technology, 68**(209), 26-28.
- Chen, K.-L., Yeh, Y.-W., Chen, J.-M., Hong, Y.-J., Huang, T.-L., Deng, Z.Y., Wu, C.-H., Liao, S.-H. & Wang, L.-M. (2016). **Influence of magnetoplasmonic  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au core/shell nanoparticles on low-field nuclear magnetic resonance**. Scientific Reports 6: 35477.
- Danwittayakul, S. & Thanaboonsombat, A. (2013). Do you already know “hexavalent chromium”, a dangerous substance near you. **Materials Technology, 68**: 12-18: January - March 2013.
- Khamboonrueang D., Srirattanapibul S., Tang, I-M., & Thongmee, S. (2018). TiO<sub>2</sub>•rGO nanocomposite as a photo catalyst for the reduction of Cr<sup>6+</sup>. **Materials Research Bulletin, 107**: 236-241.
- Liang, Y.C., & Hsu, Y.W. (2021). Enhanced Sensing Ability of Brush-Like Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO Nanostructures Towards NO<sub>2</sub> Gas via Manipulating Material Synergistic Effect. **International Journal of Molecular Sciences: 1-12**.
- Modafferi, V., Santangelo, S., Fiore, M., Fazio, E., Triolo, C., Patane, S., Ruffo, R., & Musolino, M.G. (2019). Transition Metal Oxides on Reduced Graphene Oxide Nanocomposites: Evaluation of Physicochemical Properties. **Journal of Nanomaterials Vol 2019**: 1-9.
- Narawong, W. & Panya, P. (2017). Preparation of Cellulose from Water Hyacinth Leave to Adsorb Cr (VI) Ion. **Proceeding of The 4<sup>th</sup> National conference KPRU Kamphaeng Phet Rajabhat University (pp. 957-966)**. Kamphaeng Phet: Kamphaeng Phet Rajabhat University. 22 December 2017.
- Perumal, S. & N. T. Selvi. (2013). Spectral Evidence for the One-Step Three - Electron Oxidation of Phenyl sulfonyl acetic Acid and Oxalic Acid by Cr (VI). **American Journal of Analytical Chemistry, 4**: 20-29.
- Rahman, M.M., Khan, S.B., Jamal, A., Faisal, M., & Aisiri, A.M. (2011). **Iron Oxide Nanoparticles**. Nanomaterials. 43-66. Retrieved 5 June 2023, from <https://www.intechopen.com/books/861>.
- Sergey, D., S. Gilje, K. Wang, V.C. Tung, K. Cha, A. S. Hall, J. Farrar, R. Varshneya, Y. Yang & R.B. Kaner. (2010). A One-Step, Solvothermal Reduction Method for Producing Reduced Graphene Oxide Dispersions in Organic Solvents. **ACS Nano, 4**(7): 3845-3852.

- Uma, K., Chong, S., Mohan, S.C., Jothi Venkatachalam, K., Yang, T.C.- K., & Lin, J.-H. (2020). Multi-functional RGO-supported  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites for high-performance pseudo capacitors and visible light-driven photocatalytic applications. **Ionics** (2020) **26**: 3491-3500.
- Wang, J.-C., Ren, J., Yao, H.-C., Zhang, L., Wang, J.-S., Zang, S.-Q., Han, L.-F., & Li, Z.-J. (2016). Synergistic photocatalysis of Cr (VI) reduction and 4-Chlorophenol degradation over hydroxylated  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> under visible light irradiation. **Journal of Hazardous Materials** **311**: 11-19.

(Received: 21/Aug/2023, Revised: 15/Dec/2023, Accepted: 22/Dec/2022)

## การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

## Design and construction of 3-blade young coconut peeling machine

วิฑูรย์ โคตรมณี<sup>1</sup> สุประวิทย์ เมืองเจริญ<sup>1</sup> และ อติศักดิ์ ไสวอมร<sup>2\*</sup>

Wittarit Khotmanee<sup>1</sup>, Supavit Muangjaroen<sup>1</sup> and Atisak Sawaiamon<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม <sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

<sup>1</sup> Electronics and Telecommunication Engineering, <sup>2</sup> Department of Industrial Engineering,  
Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

\*E-mail: atisak142531@gmail.com Tel. 086-1227599

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ สร้าง และหาสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด โดยเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด มีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ 1) มอเตอร์ 0.5 แรงม้า ที่ใช้สำหรับเป็นตัวต้นกำลัง 2) โซ่ ใช้สำหรับเป็นตัวส่งกำลัง และ 3) ชุดใบมีดทั้งหมด 3 ชุด โดยแต่ละชุดสามารถถอดรับคมและซ่อมบำรุงได้ สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด มีวิธีการทดสอบคือ ใช้มะพร้าวอ่อน ครั้งละ 1 ลูก ต่อการปอก 1 ครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผล พบว่า 1) เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้เวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน เฉลี่ยอยู่ที่ 47.78 วินาที/ครั้ง เมื่อเทียบกับเครื่องปอกมะพร้าวอ่อน DIY ใช้เวลาในการปอกเฉลี่ยอยู่ที่ 110.79 วินาที/ครั้ง สามารถประหยัดเวลาในการปอกมะพร้าวอ่อนได้ถึง 63.01 วินาที คิดเป็น 56 % 2) เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้งบประมาณอยู่ที่ 5,182 บาท เมื่อเทียบกับเครื่องปอกมะพร้าวอ่อน DIY ที่ขายในท้องตลาดราคา 18,000 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนค่าเครื่องปอกมะพร้าวอ่อนได้ถึง 12,818 บาท คิดเป็น 71 % และ 3) เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด สามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวอ่อนได้เสร็จสิ้นภายในครั้งเดียว ต่างจากเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ที่ไม่สามารถตัดส่วนท้ายของมะพร้าวอ่อนได้อีกทั้งเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า มีขนาดมอเตอร์เล็กกว่าเครื่องปอกมะพร้าวอ่อน DIY ส่งผลให้เกษตรกรมีความสะดวกสามารถเคลื่อนย้ายไปในสถานที่ต่าง ๆ ได้

**คำสำคัญ :** เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด มะพร้าวอ่อน เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY

### Abstract

This research article presents the design, build, and find the performance of 3-blade young coconut peeling machine. The 3-blade young coconut peeling machine has the main components: 1) 0.5 horsepower motor used for power principal 2) chains Used as a power carrier and 3) a total of 3 blade sets, each of which can be disassembled and maintained. For performance testing of 3-blade young coconut peeling machine, there is a test method, 1 soft coconut per Peel 1 time, then analyze the results. Found that 1) The 3-blade young coconut peeling machine that is created takes time to peel the young coconut. Average is 47.78 seconds/Times compared to a young coconut peeler. DIY young coconut peeling machine takes an average stripping time of 110.79 seconds/time. Can save up to 63.01 seconds of young coconut stripping, representing 56% 2) 3-blade young coconut peeling machine built use the budget at 5,182 baht compared to the DIY young coconut peeling machine sold on the market for 18,000 baht, which can reduce the cost of young coconut peeling machine up to 12,818 baht, representing 71 % and 3) a 3-blade young coconut peeling machine that is created

can cut the end of the young coconut to the end once inside which is different from the DIY young coconut peeling machine mild coconut peeler that cannot cut the end of the young coconut Also, a 3-blade young coconut peeling machine Built using a 0.5 horsepower motor, which is smaller in size than a young coconut stripper. DIY young coconut peeling machine makes agriculture convenient, able to move in various places.

**Keywords :** 3-blade young coconut peeling machine, young coconut, DIY young coconut peeling machine

## 1. บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยมะพร้าวสามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย การใช้ประโยชน์จากมะพร้าวถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทาง อาทิเช่น การรับประทานผลสด นำมาประกอบอาหาร และเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนที่เหลือยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ เป็นต้น ปัจจุบันความต้องการมะพร้าวในภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์มะพร้าว เช่น การผลิตกะทิเข้มข้น, มะพร้าวอบแห้ง และน้ำมันมะพร้าว มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเพิ่มของประชากร ปัญหาที่พบจากการทำสวนมะพร้าวน้ำหอม คือปัญหาด้านการผลิต ผลผลิตต่อไร่ต่ำ คุณภาพของผลผลิตที่ไม่มีความสม่ำเสมอ ปริมาณผลผลิตที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดในฤดูแล้ง และไม่มีข้อมูลรายงานเกี่ยวกับระบบการผลิตและด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่ไปกับด้านระบบการผลิตมะพร้าวน้ำหอมในเขตที่ราบลุ่มภาคกลาง สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำมันมะพร้าวน้ำหอมและการบริโภคน้ำมันมะพร้าวน้ำหอมนั้นการปอกเปลือกต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันแรงงานคนหายาก มีค่าจ้างสูงและงานปอกเปลือกมะพร้าวน้ำหอมเป็นงานที่เสี่ยงอันตรายจึงจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องจักรมาช่วยในปอกเปลือกมะพร้าวน้ำหอม (Nuttapong, 2010)

การปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกเพื่อจำหน่ายเพราะผลมะพร้าวอ่อนที่ต้องการจะมีรูปทรงห้าเหลี่ยม ขนาดพอเหมาะ และต้องขาวสะอาด ปัจจุบันพบว่ายังใช้แรงงานคนในการปอกอยู่ ซึ่งกำลังประสบปัญหาอย่างมาก เช่น การคลาดแคลนแรงงานฝีมือ ความแตกต่างกันของรูปทรงมะพร้าวในแต่ละแหล่งผลิต เป็นต้น (Siwalak et al., 2013) ดังนั้นเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนรูปแบบต่าง ๆ ถือว่าเป็นตัวช่วยอย่างดีในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน ที่จะสามารถเพิ่มความรวดเร็ว สะดวกสบาย เพิ่มมูลค่าของมะพร้าวอ่อน ประหยัดเวลา ให้แก่เกษตรกรได้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา (Amomwan et al., 2022; Kridsada et al, 2013) พบว่าได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนโดยใช้มีดการปอกเปลือกมะพร้าวจากเครื่องการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนที่สร้างขึ้น สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและสามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวอ่อนได้ในกระบวนการเดียว ซึ่งหากมองในแง่ของการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมะพร้าว จึงมีความสำคัญที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรมีความสะดวกในการใช้งาน ประหยัดเวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวและช่วยลดต้นทุนในการซื้อเครื่องมือต่าง ๆ ของการปอกเปลือกมะพร้าว สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากแนวทางและความสำคัญดังกล่าวข้างต้น บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบ สร้าง และหาสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ขึ้นมาแทนการใช้มีดแบบธรรมดาเพื่อช่วยในการปอกเปลือกมะพร้าวให้สะดวกรวดเร็วกว่าการปอกมะพร้าวด้วยมีดแบบธรรมดาที่เกษตรกรใช้ปอกมะพร้าว การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยทุ่นแรงในการปอกเปลือกมะพร้าวของเกษตรกรสวนมะพร้าวได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้พัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางด้านเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวให้เกิดประโยชน์และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวให้มีประสิทธิภาพในระดับสูงต่อไป

## 1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

1.1.2 เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

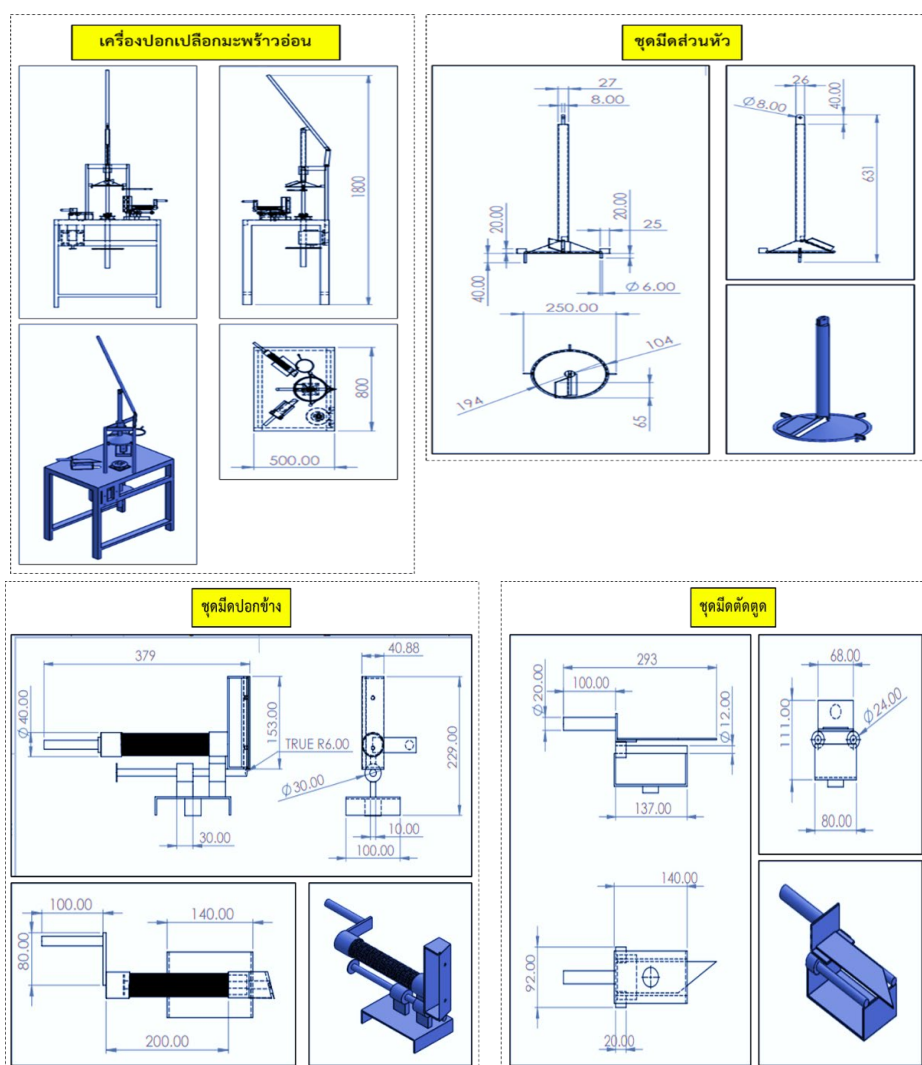
1.1.3 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ตามท้องตลาด

## 2. วิธีการศึกษา

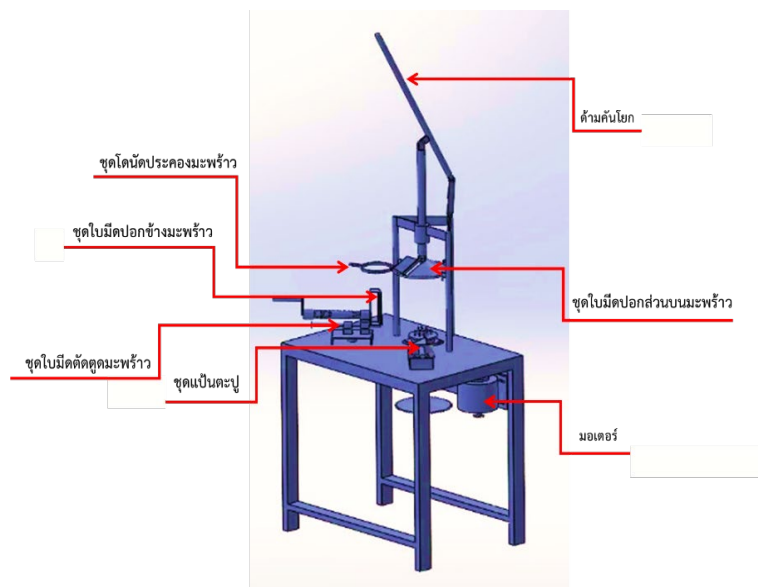
วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและการออกแบบ เพื่อจะทำการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

### 2.1 การออกแบบเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน

การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด โดยมีแนวคิดดังนี้ (Nuttapong, 2010; Kridsada et al., 2013) คือ 1) ประหยัดเวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน 2) สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ได้อย่างสะดวก และ 3) ต้นทุนของการผลิตเครื่องต้องมีราคาถูกกว่าเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ตามท้องตลาด เมื่อกำหนดแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด แสดงดังภาพที่ 1







ภาพที่ 1 แบบเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

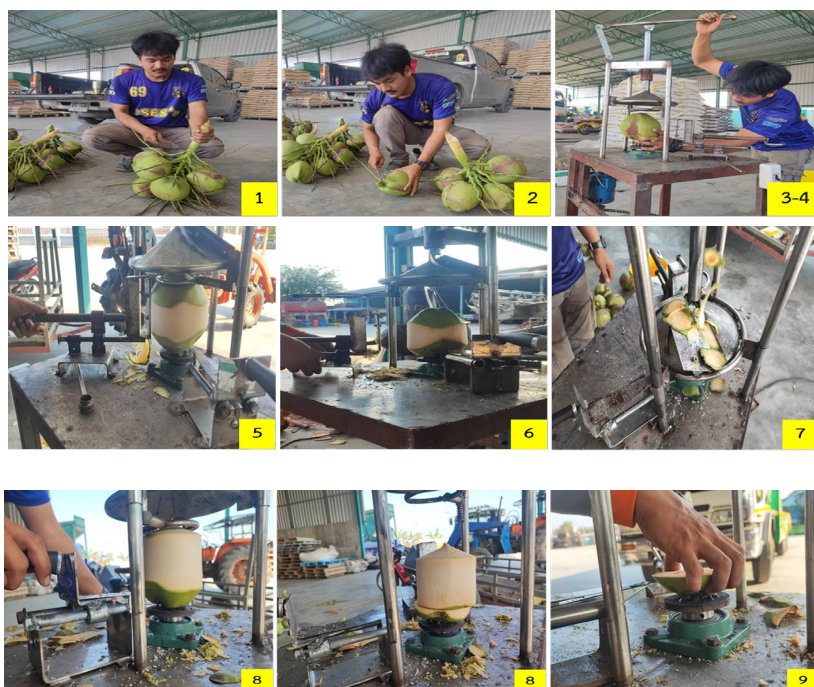
จากภาพที่ 1 เป็นภาพการออกแบบเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ซึ่งมีความกว้าง 50 ซม. ความยาว 80 ซม. และความสูง 80 ซม. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องประกอบไปด้วย 1) มอเตอร์ 0.5 แรงม้า (4.8 แอมป์) มีหน้าที่เป็นตัวส่งกำลัง 2) ด้ามคันโยก มีหน้าที่ปรับยกขึ้นยกลงกดชุดใบมีดส่วนบนและชุดโดนัดประคองลูกมะพร้าว 3) ชุดใบมีดปอกส่วนบนมะพร้าว มีหน้าที่ปอกเปลือกมะพร้าวให้เป็นทรงสามเหลี่ยม 4) ชุดโดนัดประคองมะพร้าว มีหน้าที่กดลูกมะพร้าวขณะทำการปอกเปลือกด้านข้างเพื่อไม่ให้ลูกมะพร้าวเกิดแรงเหวี่ยงและหลุดจากเครื่องปอก 5) ชุดใบมีดปอกข้าง มีหน้าที่ปอกเปลือกมะพร้าวด้านข้างลูกมะพร้าว 6) ชุดใบตัดตัดส่วนท้ายมะพร้าว มีหน้าที่ทำการตัดส่วนท้ายหรือฐานในการวางลูกมะพร้าว และ 7) ชุดแป้นตะปูทำหน้าที่เกาะยึดลูกมะพร้าวให้แน่นเพื่อไม่ให้ลูกมะพร้าวกระเด็นออกจากเครื่องและยังเป็นตัวทำให้ลูกมะพร้าวหมุนเพราะต่อระบบมาจากมอเตอร์ เมื่อได้ขนาดเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Solid works ตามความต้องการการใช้งาน จึงดำเนินการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

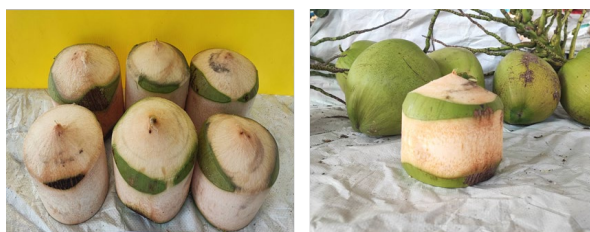
## 2.2 การทดลองเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

การทดลองเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการทดลองได้ทั้งหมด 9 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดลองเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

จากภาพที่ 3 เป็นการทดลองเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้ 1) ตัดขั้วออกจากทะลาย 2) ตัดก้านมะพร้าวที่ติดกับลูกมะพร้าวออก 3) นำมะพร้าวที่ทำการตัดก้านเสร็จเรียบร้อยแล้วมาวางบนแป้นตะปูโดยใช้ทางหัวของลูกมะพร้าว 4) นำโดนดเลื่อนเข้าไปยังโครงของชุดใบมีดปอกส่วนบนแล้วทำการกดคั่นยกลงเพื่อให้โดนดตกลงมากดที่ลูกมะพร้าวอ่อนจนแน่นกับแป้นตะปู เปิดสวิตซ์แล้วกดคั่นยกลงเพื่อให้โดนดประคองมะพร้าวไม่ให้หลุดออกจากแป้นตะปู 5) ทำการปอกส่วนข้างของลูกมะพร้าวเป็นการปอกส่วนด้านข้างของมะพร้าวโดยการหมุนเกลียวชุดมีดด้านข้างเข้าไปจนปอกมะพร้าวได้ตามความลึกที่กำหนด 6) ทำการยกคั่นโยกขึ้นเพื่อทำการเลื่อนโดนดออกจากโครงของชุดใบมีดหลังจากนั้น 7) กดคั่นโยกใช้ใบมีดส่วนบนทำ การปอกมะพร้าวในส่วนด้านบนจนได้องศาที่ต้องการเพื่อไปขั้นตอนถัดไป 8) ทำการเลื่อนมีดเพื่อตัดส่วนตูดของลูกมะพร้าวให้ขาดออกจากกัน 9) นำส่วนหัวของลูกมะพร้าวที่ติดอยู่กับแป้นตะปูออกถือว่าเป็นการเสร็จกระบวนการตัดส่วนทำมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปอกเปลือกจากเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 มะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปอกเปลือกจากเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ สร้าง และทดสอบของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ผลการวิจัยที่ได้ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

#### 3.1 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ที่สร้างขึ้นกับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY**

| ลูก/ครั้งที่     | เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน แบบ 3 ใบมีด (วินาที) | เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY (วินาที) |
|------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1                | 47.20                                            | 110.25                                   |
| 2                | 48.39                                            | 111.56                                   |
| 3                | 46.76                                            | 109.89                                   |
| 4                | 47.19                                            | 110.21                                   |
| 5                | 47.24                                            | 110.98                                   |
| 6                | 48.40                                            | 112.15                                   |
| 7                | 47.66                                            | 109.91                                   |
| 8                | 48.29                                            | 110.50                                   |
| 9                | 48.91                                            | 111.69                                   |
| <b>เฉลี่ย</b>    | <b>47.78</b>                                     | <b>110.79</b>                            |
| <b>ลดเวลาได้</b> | <b>63.01</b>                                     |                                          |
| <b>คิดเป็น</b>   | <b>56 %</b>                                      |                                          |

จากตารางที่ 1 เป็นการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้เวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน เฉลี่ยอยู่ที่ 47.78 วินาที/ครั้ง โดยที่เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ใช้เวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน เฉลี่ยอยู่ที่ 110.79 วินาที/ครั้ง เมื่อทำการเปรียบเทียบถึงเรื่องเวลาการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนนั้น พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้เวลาการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนน้อยกว่าเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY อยู่ที่ 63.01 วินาที คิดเป็น 56%

จากตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ราคา 5,182 บาท ซึ่งมีราคาที่ถูกลงและสามารถลดต้นทุนค่าเครื่องปอกมะพร้าวได้ 12,818 บาท คิดเป็น 71% เมื่อเทียบกับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ที่มีขายตามท้องตลาด ราคา 18,000 บาท ทั้งนี้เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด สามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวอ่อนได้เสร็จสิ้นภายในกระบวนการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน แต่เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ไม่สามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวอ่อนได้เสร็จสิ้นภายในกระบวนการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน อีกทั้งการที่เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ซึ่งน้อยกว่ามอเตอร์ของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ที่ใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ส่งผลให้เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนที่สร้างขึ้น สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวกอีกด้วย

## ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบรายละเอียดเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY

| เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน                                                                                                        | รายละเอียดต่าง ๆ ของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด</b><br> | <b>เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้ระบบโซ่เป็นตัวส่งกำลัง</li> <li>2. ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า (4.8 แอมป์)</li> <li>3. สามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ครึ่งละหนึ่งลูก</li> <li>4. ราคา/เครื่อง 5,182 บาท</li> <li>5. สามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวได้</li> </ol> |
| <b>เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY</b><br>        | <b>เครื่องปอกมะพร้าวอ่อน DIY</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้ระบบสายพานเป็นตัวส่งกำลัง</li> <li>2. มอเตอร์ 1 แรงม้า (6.6 แอมป์)</li> <li>3. สามารถปอกมะพร้าวได้ครึ่งละหนึ่งลูก</li> <li>4. ราคา/เครื่อง 18,000 บาท</li> <li>5. ไม่สามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวได้</li> </ol>                      |

### 4. สรุป

จากการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด โดยมุ่งเน้นที่จะลดระยะเวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ที่สร้างขึ้น ตามแนวทางการออกแบบที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nuttapong (2010) และ Kridsada et al., (2013) สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

4.2 ระยะเวลาในการทดลองปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนจากเครื่องปอกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ที่สร้างขึ้น กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY จะใช้ระยะเวลาการปอก เฉลี่ย 47.78 วินาที/ครึ่ง และ 110.79 วินาที/ครึ่ง ตามลำดับ โดยเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด สามารถลดระยะเวลาในการปอกได้ 63.01 วินาที หรือ คิดเป็น 56% อีกทั้งเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ยังสามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวอ่อนได้แต่เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ DIY ไม่สามารถตัดส่วนท้ายมะพร้าวอ่อนได้

4.3 ต้นทุนที่ใช้ในการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY พบว่า ต้นทุนในการสร้างเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีดที่สร้างขึ้น มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ที่มีขายตามท้องตลาด

### อภิปรายผล

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบ สร้าง และหาสมรรถนะของเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1 ด้านระยะเวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้เวลาในการปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนน้อยกว่าเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY อยู่ที่ 63.01 วินาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bundit & Acradech (2002) ที่ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ชุดส่งกำลังใช้สายพาน B ชุดจับยึดผลมะพร้าว ชุดเลื่อนใบมีด ชุดใบมีด ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ผลการทดลอง พบว่า เวลาในการปอกเปลือกด้วยเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน ใช้เวลาน้อยกว่าการปอกเปลือกด้วยแรงงานคน และผลมะพร้าวอ่อนที่ถูกปอกเปลือกแล้วเป็นที่ยอมรับของตลาด

5.2 ด้านคุณสมบัติของเครื่อง พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า (4.8 แอมป์) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อน DIY ซึ่งใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ส่งผลให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Piyachart (2011) ที่ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวแห้ง โดยอาศัยหลักการของแรงบิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า ผลการทดลอง พบว่า เครื่องปอกเปลือกมะพร้าวแห้งสามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ จำนวน 2-3 ลูกต่อนาที หรือประมาณ 150 ลูกต่อชั่วโมง เมื่อเทียบกับการใช้มือปอกเปลือกมะพร้าวจะพบว่า ถ้าหากใช้มือจะใช้เวลาโดยประมาณ 24 ลูกต่อชั่วโมง ซึ่งจะน้อยกว่าการใช้เครื่องถึง 6 เท่า

### ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรนำระบบนิวเมติกส์ (pneumatic) เข้ามาประยุกต์ใช้กับเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวอ่อนแบบ 3 ใบมีด เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของผู้ใช้งาน

6.2 ควรศึกษาแรงกดที่ใช้ในการปอกเปลือกมะพร้าว เพื่อได้ทราบหลักการการหมุนและแรงเหวี่ยงของลูกมะพร้าว

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากนักศึกษาคณะวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ได้ช่วยรวบรวมเก็บข้อมูลผลการทดลอง

## 6. เอกสารอ้างอิง

- Amomwan, S., Phuwanai, K., & Trairat, T. (2022). **The semi-automatic soft coconut peeling machine.** (Bachelor degree, Udon Thani Rajabhat University). (in Thai)
- Bundit, J., & Acradech, P., (2002). **Design and development of young coconut peeling machine.** (Master's thesis, Kasetsart University). (in Thai)
- Kridsada, V., Kanade, Y., Winai, S., & Wirat, Y. (2013). **Coconut Peeler Machine. (Independent).** Bangkok: Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Krungthep. (in Thai)
- Nuttapong, R. (2010). **Young coconut fruit trimming machine.** (Doctoral dissertation, Kasetsart University). (in Thai)
- Piyachart, T. (2011). Design and Development Peeling Machine Coconut. In **International Conference on Sustainable Community Development** (pp. 657-660). Thailand : KKU Khon Kaen.
- Siwalak, P., Chatchai, T. & Chaiya, J. (2013). Design and Development of a Young Coconut Trimming Machine Using Reciprocating Knife. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal**, 19(1), 38-42. (in Thai)

(Received: 6/Sep/2023, Revised: 17/Dec/2023, Accepted: 22/Dec/2022)



## การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลม

Product Development of Bitter Orange (*Citrus aurantium* L.) Gel Beadสินีนารถ สุขทนารักษ์<sup>1\*</sup> เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา<sup>1</sup> และวัฒนา อัจฉริยะโพธา<sup>2</sup>Sineenart Suktanarak<sup>1\*</sup>, Benjang Ascharyaphotha<sup>1</sup> and Wattana Ascharyaphotha<sup>2</sup><sup>1</sup> หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์<sup>2</sup> หลักสูตรนวัตกรรมชีวผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์<sup>1</sup> Home economics Program, Faculty of Science and Technology,  
Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage<sup>2</sup> Bio-Products Innovation Program, Faculty of Science and Technology,  
Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

\*E-mail: E-mail : sineenart@vru.ac.th Tel. 0643973551

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลม โดยขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ อัตราส่วนน้ำส้มซ่าร้อยละ 15 ร้อยละ 30 และร้อยละ 45 ต่อน้ำหนักน้ำเปล่า ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$ Brix) ค่า pH และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ โดยน้ำส้มซ่าที่มีความเป็นกรดสูง (อัตราส่วนน้ำส้มซ่าที่ร้อยละ 45 ต่อน้ำหนักน้ำเปล่า) เม็ดเจลเกิดการเซตตัวเป็นทรงกลมได้ไม่ดีนัก โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลมในอัตราส่วนน้ำส้มซ่าร้อยละ 30 มากที่สุด เมื่อนำเม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลมมาวัดค่าความแข็ง (hardness) และค่าสี พบว่า เม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลมมีค่าความแข็งลดลงเมื่อเม็ดเจลมีความเป็นกรดสูง แต่ไม่ส่งผลต่อค่าสี หลังจากนั้นศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของน้ำส้มซ่าทรงกลมทั้งหมด 3 ระดับ คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และร้อยละ 1.5 ผลการทดลองพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่เม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลมที่มีความเข้มข้นแคลเซียมแลคเตทที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มากที่สุด ซึ่งความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อค่า hardness ของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า โดยยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทมากขึ้น เม็ดเจลมีค่า hardness สูงขึ้น และความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทไม่ส่งผลต่อค่าสี

**คำสำคัญ :** น้ำส้มซ่า เม็ดเจล การขึ้นรูปทรงกลม

## Abstract

The research aimed was study the production of bitter orange (*Citrus aurantium* L.) gel bead. The ration of bitter orange juice at 3 levels (15%, 30% and 45% by weight of water) was to study in the first step. The results showed that different ratios of bitter orange juice affects the total soluble solid ( $^{\circ}$ Brix), pH and tritabile acidity. The pasteurized bitter orange juice with high acidity (bitter orange juice at 45% by weight of water) will be affect spherical setting of bitter orange bubble. Bitter orange bubble can not good into a spherical shape. The most panelists accepted the bitter orange bubble with 30% bitter orange juice. After that, bitter orange bubble was analyzed to determine texture (hardness) and color. The result showed that the acid level affected hardness. Hardness will be decrease when higher acidity. The acid level did not affectes color. After that, the concentration of calcium lactase at 3 levels (0.5%, 1% and 1.5%) was to stuiied for comparsion. The results showed

that most panelists accepted the bitter orange bubble with 0.5% of calcium lactase. Different concentrations of calcium lactase affected the hardness. Hardness will be increase when higher concentration of calcium lactase and concentration of calcium lactase did not affect the color of bitter orange bubble.

**Keywords :** bitter orange juice, gel bead, spherification

## 1. บทนำ

ส้มซ่า (*Citrus aurantium* var. *aurantium*) เป็นพืชตระกูลส้ม อยู่ในวงศ์ Rutaceae ลักษณะภายนอกมีลักษณะทรงกลม เปลือกหนา ผิวขรุขระเล็กน้อย รูปลักษณะคล้ายมะกรูดแต่จะมีขนาดใหญ่กว่า โดยส้มซ่าถูกนำมาใช้ในการปรุงอาหารโบราณ เช่น หมี่กรอบ ไส้กรอกปลาเนม เป็นต้น โดยจะนำผิวส้มซ่ามาหั่นฝอยเพื่อโรยหรือผสมลงไปในอาหาร ซึ่งส้มซ่าเป็นพืชโบราณที่ยังไม่ถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหารที่หลากหลายนัก แต่เปลือกส้มซ่ามีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ มีงานวิจัยที่ทดลองสกัดกลิ่นจากเปลือกส้มซ่าด้วยตัวทำละลายต่างกัน 2 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์และตัวทำละลายของบีโตรเลียมอีเทอร์กับไดเอทิลอีเทอร์ โดยพบว่าเปลือกส้มซ่ามีสารให้กลิ่น คือ L-Linalool และ Citronella ซึ่งประโยชน์ของการสกัดกลิ่นส้มซ่า คือสามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Watcharananant *et al.*, 2020) นอกจากนี้ น้ำคั้นส้มซ่ายังมีคุณประโยชน์ มีงานวิจัยในการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้นผลส้มซ่า โดยพบว่า น้ำคั้นสดของผลส้มซ่ามีสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์อยู่ที่ 451.63 mg GAE/gFW และ 260.54 mg/gFW ตามลำดับ (Ascharyaphotha *et al.*, 2021) ซึ่งจากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า น้ำส้มซ่ามีประโยชน์ แต่ยังขาดงานวิจัยที่นำน้ำคั้นส้มซ่าไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารให้เกิดความหลากหลาย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดนำน้ำส้มซ่าไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร โดยนำน้ำคั้นส้มซ่าไปพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบเม็ดเจลทรงกลมเพื่อไปประยุกต์ใช้รับประทานคู่กับเครื่องดื่มน้ำผลไม้ โดยการขึ้นรูปแบบทรงกลม (Sperification) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่สำคัญปฏิกิริยาโซเดียมอัลจิเนตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมแลคเตท ทำให้อาหารมีลักษณะเป็นเม็ดเจล มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปทรงกลมในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การผลิตเจลน้ำเปลือกแก้วมังกรเสริมรสด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ (Suktanarak *et al.*, 2021) การผลิตเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสด้วยเทคนิครีเวิร์สเฟอริเคชัน (Kamprawet a & Vatthanakul, 2018) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำชาดาวอินคาทรงกลมด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม (Suktanarak *et al.*, 2018) เป็นต้น สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จะศึกษาอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นทรงกลมของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า และศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตสที่เหมาะสมต่อการเกิดเม็ดเจลน้ำส้มซ่า

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นทรงกลมของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า

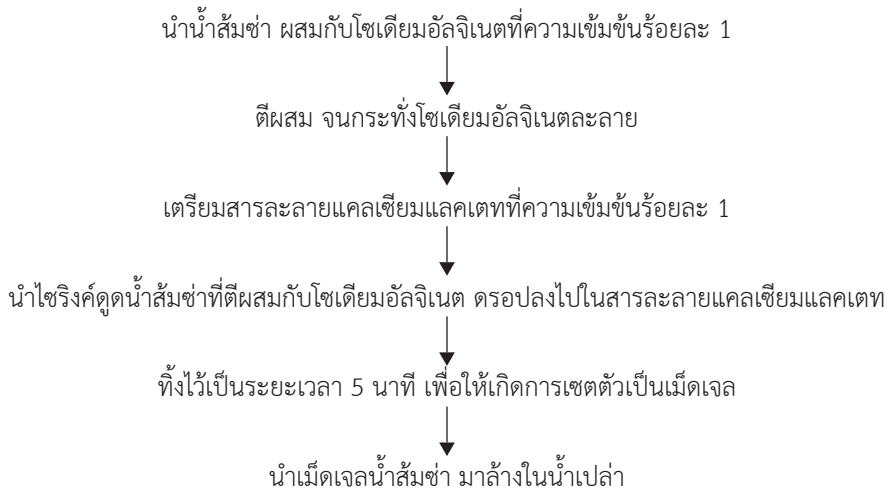
นำผลส้มซ่ามาล้างน้ำ ทำความสะอาดเพื่อนำสิ่งสกปรกออกให้หมด หลังจากนั้นทำการปอกเปลือก คั้นน้ำและกรองด้วยผ้าขาวบาง เตรียมทำน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งส่วนผสมประกอบไปด้วยน้ำเปล่า น้ำส้มซ่า และน้ำตาลทราย (ตารางที่ 1) ในการทดลองนี้ จะศึกษาอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นทรงกลมของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า จึงทำการปรับปริมาณน้ำส้มซ่าให้แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15 ร้อยละ 30 และร้อยละ 45 ของน้ำหนักน้ำเปล่า ทำการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 62-65 องศาเซลเซียส

หลังจากนั้น นำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ที่มีอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาขึ้นรูปเป็นเม็ดเจลทรงกลม โดยนำน้ำส้มซ่าทั้ง 3 สูตร (อัตราส่วนน้ำส้มซ่าร้อยละ 15, 30 และ 45) ผสมกับสารโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ต่อน้ำหนักน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ ตีผสมกันจนกระทั่งโซเดียมอัลจิเนตละลายจนหมด ทำการขึ้นรูปเป็นเม็ดเจลทรงกลม โดยใช้วิธีคั่วค้อนน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ที่ผสมโซเดียมอัลจิเนต แล้วลงไปหยดในสาละลายแคลเซียม

แลคเตทที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ต่อน้ำหนักน้ำเปล่า ทั้งไว้เป็นระยะเวลา 5 นาที น้ำส้มซ่าจะเซตตัวเป็นเม็ดเจลทรงกลม หลังจากนั้นนำเม็ดเจลส้มซ่าไปล้างด้วยน้ำเปล่า เพื่อเป็นการล้างสารละลายแคลเซียมแลคเตสออกจากเม็ดเจลส้มซ่า

### ตารางที่ 1 ส่วนผสมในการทำน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์

| วัตถุดิบ   | อัตราส่วนของน้ำส้มซ่า (กรัม) |                          |                          |
|------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|            | ร้อยละ 15<br>(สูตรที่ 1)     | ร้อยละ 30<br>(สูตรที่ 2) | ร้อยละ 45<br>(สูตรที่ 3) |
| น้ำเปล่า   | 500                          | 500                      | 500                      |
| น้ำส้มซ่า  | 75                           | 150                      | 225                      |
| น้ำตาลทราย | 65                           | 65                       | 65                       |



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำเม็ดเจLN้ำส้มซ่า

## 2.2 ศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่เหมาะสมต่อการเกิดเม็ดเจLN้ำส้มซ่า

นำเม็ดเจLN้ำส้มซ่าทรงกลมที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากวิธีทำข้อ 1 มาศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่เหมาะสมต่อการเกิดเม็ดเจLN้ำส้มซ่า โดยในขั้นตอนนี้ จะทำเป็นเม็ดเจLทรงกลมเหมือนกับวิธีทำในข้อที่ 1 แต่จะปรับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, ร้อยละ 1 และร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักน้ำเปล่า โดยทุกความเข้มข้นจะแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตทเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาล้างด้วยน้ำเปล่า ตัวอย่างเม็ดเจLN้ำส้มซ่าจะถูกเก็บไว้ในกล่องลึอกเพื่อเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

## 2.3 การประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเม็ดเจLN้ำส้มซ่ากับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (Untrained panel) จำนวน 30 คน โดยทดสอบ 2 ซ้ำ ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 จุด (9-Point hedonic scale test) ซึ่งมีคะแนน ดังนี้

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด
- 2 = ไม่ชอบมาก
- 3 = ไม่ชอบปานกลาง
- 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

- 5 = เฉย ๆ  
 6 = ชอบเล็กน้อย  
 7 = ชอบปานกลาง  
 8 = ชอบมาก  
 9 = ชอบมากที่สุด

เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการตวงเม็ดเจลน้ำส้มซ่าให้ได้ 1 ซ้อนชา ต่อ 1 สูตรลงในถ้วยชิม ทดสอบชิมพร้อมกัน 3 สูตร โดยทดสอบคุณลักษณะลักษณะปรากฏ (ความเป็นทรงกลม) สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

## 2.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ จะทำการตรวจสอบในขณะที่ยังไม่ถูกขึ้นรูปเป็นเม็ดเจล โดยค่าเคมีที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ การวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัด pH ยี่ห้อ MILWAUKAEE รุ่น 55 และการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่อง Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น N-1E และการวัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (AOAC, 1998) ซึ่งการวัดทั้งหมดนี้ จะวัดคุณภาพทางเคมีของน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ที่มีส่วนผสมตามสูตรดังตารางที่ 1

## 2.5 การวิเคราะห์คุณภาพของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการตรวจสอบในขณะที่ยังไม่ถูกขึ้นรูปเป็นเม็ดเจลน้ำส้มซ่าพาสเจอร์ไรส์ โดยมีการตรวจสอบต่าง ๆ ดังนี้

### 2.5.1 การวิเคราะห์ค่าสี

นำเม็ดเจลน้ำส้มซ่า มาวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter รุ่น CR-10 Plus (Minolta, Japan) ซึ่งแสดงผลออกมาดังนี้ ค่าสี  $L^*$  หมายถึง ค่าความสว่าง (ดำ = 0, ขาว = 100) ค่า  $a^*$  หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ สีแดง, - สีเขียว) และค่าสี  $b^*$  หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ สีเหลือง, - สีน้ำเงิน)

### 2.5.2 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

นำเม็ดเจลน้ำส้มซ่าจำนวน 10 เม็ด มาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น CT 3 (Brookfield Ametek, USA) โดยใช้หัววัดทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.1 mm (TA4/1000) ซึ่งมีสภาวะความเร็วของหัววัดที่เคลื่อนที่ขณะทดสอบ คือ 2.0 mm/s ลดลงเป็นระยะทาง 3 mm/s

## 2.6 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่า pH, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ค่าสี และค่าเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomize design, CRD) ส่วนข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Random Complete Block Design, RCBD) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลศึกษาอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นทรงกลมของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า

จากตารางที่ 2 พบว่า อัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$ Brix) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยยิ่งเพิ่มปริมาณน้ำส้มซ่ามากขึ้น จะส่งผลให้มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่า pH ลดลง แต่ปริมาณกรดที่ไทเทรตจะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากผลการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) พบว่า สูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ในด้านความเป็นทรงกลม ด้านสี และด้านความชอบโดยรวม เนื่องจากสูตรที่มีปริมาณน้ำส้มช้ำมากขึ้น ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น ส่งผลต่อการขึ้นรูปทรงกลมของเม็ดเจลน้ำส้มช้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suktanaral *et al.*, (2021) ที่พบว่า การเสริมรสสับปะรดลงไปในการเตรียมน้ำส้มช้ำมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น ทำให้เม็ดเจลของน้ำส้มช้ำมีการเสริมรสสับปะรดมีค่า hardness ลดลง เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดเจลทรงกลมเกิดจากการสานโครงสร้างตาข่ายที่เรียกว่า egg box ระหว่างผนังเซลล์โดยการทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนอัลจินเตและแคลเซียมแลคเตท จึงทำให้เม็ดเจลมีลักษณะเป็นทรงกลมห่อหุ้มน้ำเอาไว้ แต่ไฮโดรเจนอัลจินเตไม่สามารถละลายในตัวอย่างอาหารที่มีค่าความเป็นกรดสูงได้ ดังนั้นจึงส่งผลให้โครงสร้างของเม็ดเจลน้ำส้มช้ำทรงกลมสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสน้อยสุด ซึ่งการเกิดโครงสร้าง egg box ที่ไม่แข็งแรง ก็จะส่งผลค่าความแข็ง (hardness) ในตารางที่ 4 ที่พบว่า ทั้ง 3 สูตรมีค่า hardness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยเม็ดเจลน้ำส้มช้ำทรงกลมที่สูตรที่ 1 มีความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาเป็นสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเพราะปริมาณกรดจากน้ำส้มช้ำส่งผลต่อการเซตตัวเป็นเม็ดเจลทรงกลม

## ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางเคมีของน้ำส้มช้ำพาสเจอร์ไรส์

| ปัจจัยคุณภาพ              | อัตราส่วนของน้ำส้มช้ำ     |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                           | ร้อยละ 15<br>(สูตรที่ 1)  | ร้อยละ 30<br>(สูตรที่ 2)  | ร้อยละ 45<br>(สูตรที่ 3)  |
| ค่า °Bx                   | 15.03 ± 0.11 <sup>a</sup> | 14.67 ± 0.58 <sup>b</sup> | 14.50 ± 0.17 <sup>b</sup> |
| ค่า pH                    | 3.98 ± 0.12 <sup>a</sup>  | 3.87 ± 0.12 <sup>b</sup>  | 3.71 ± 0.10 <sup>c</sup>  |
| ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) | 0.30 ± 0.12 <sup>c</sup>  | 0.38 ± 0.09 <sup>b</sup>  | 0.43 ± 0.12 <sup>a</sup>  |

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี (ตารางที่ 3) พบว่า ทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งผลการทดลองไม่สอดคล้องกับค่าสี (ตารางที่ 4) ที่พบว่า การวัดค่าสีด้วยเครื่องมือ นั้นให้ผลการทดลองที่ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยน้ำส้มช้ำที่คั้นออกมาจะมีเจดสีออกไปทางสีเหลืองชุนเล็กน้อย เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่า  $b^*$  ก็พบว่ายิ่งเพิ่มอัตราส่วนน้ำส้มช้ำมากขึ้น ค่า  $b^*$  มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสีน้ำส้มช้ำที่มีเจดสีเป็นสีเหลืองอ่อน เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติ (ตารางที่ 3) พบว่า ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนน้ำส้มช้ำมากขึ้น ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติสูงขึ้น เนื่องจากน้ำส้มช้ำมีกลิ่นหอมและรสชาติเปรี้ยว และเมื่อพิจารณาผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยภาพรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสภาพรวมของสูตรที่ 2 มากที่สุด จึงคัดเลือกเม็ดเจลน้ำส้มช้ำสูตรที่ 2 ไปศึกษาการทดลองในขั้นต่อไป โดยภาพที่ 2 แสดงเม็ดเจลน้ำส้มช้ำทรงกลมที่มีอัตราส่วนของน้ำส้มช้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่า สูตรที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำส้มช้ำสูงสุด คือ ร้อยละ 45 จะมีลักษณะออกสีเหลืองชุน และยังเป็นทรงกลมได้ไม่ตึงนัก เมื่อเทียบกับเม็ดเจลน้ำส้มช้ำที่มีอัตราส่วนน้ำส้มช้ำ ร้อยละ 15 จึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในภาพรวมได้คะแนนน้อยที่สุด



ตารางที่ 3 ผลการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ *เม็ดเจลส้มซ่าทรงกลม* ที่มีอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

| ปัจจัยคุณภาพ              | อัตราส่วนของน้ำส้มซ่า    |                          |                          |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                           | ร้อยละ 15<br>(สูตรที่ 1) | ร้อยละ 30<br>(สูตรที่ 2) | ร้อยละ 45<br>(สูตรที่ 3) |
| ความเป็นทรงกลม            | $8.59 \pm 1.26^a$        | $7.97 \pm 1.40^a$        | $6.48 \pm 1.32^b$        |
| สี                        | $8.69 \pm 1.10^a$        | $7.82 \pm 1.25^b$        | $6.93 \pm 1.41^c$        |
| กลิ่น                     | $6.90 \pm 1.42^b$        | $7.62 \pm 1.04^a$        | $7.34 \pm 1.65^{ab}$     |
| รสชาติ                    | $6.76 \pm 1.29^b$        | $7.59 \pm 1.23^a$        | $7.03 \pm 1.97^{ab}$     |
| เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup> | $7.97 \pm 1.23$          | $7.93 \pm 1.03$          | $7.79 \pm 1.49$          |
| ความชอบโดยรวม             | $8.21 \pm 0.97^a$        | $8.00 \pm 0.96^a$        | $7.31 \pm 1.06^b$        |

หมายเหตุ : <sup>a-d</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของของผลิตภัณฑ์ *เม็ดเจลส้มซ่าทรงกลม* ที่มีอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

| ปัจจัยคุณภาพ           | อัตราส่วนของน้ำส้มซ่า    |                          |                          |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                        | ร้อยละ 15<br>(สูตรที่ 1) | ร้อยละ 30<br>(สูตรที่ 2) | ร้อยละ 45<br>(สูตรที่ 3) |
| ค่าสี L <sup>*ns</sup> | $29.67 \pm 0.39$         | $29.36 \pm 0.26$         | $29.84 \pm 0.06$         |
| ค่าสี a <sup>*ns</sup> | $-0.54 \pm 0.03$         | $-0.75 \pm 0.08$         | $-0.74 \pm 0.15$         |
| ค่าสี b <sup>*ns</sup> | $-1.10 \pm 0.23$         | $-1.67 \pm 0.22$         | $-1.70 \pm 0.45$         |
| ค่าความแข็ง (g)        | $106 \pm 2.51^a$         | $97.66 \pm 4.35^b$       | $37.33 \pm 2.08^c$       |

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



ร้อยละ 15  
(สูตรที่ 1)



ร้อยละ 30  
(สูตรที่ 2)



ร้อยละ 45  
(สูตรที่ 3)

ภาพที่ 2 แสดงเม็ดเจLN้ำส้มซ่าทรงกลมที่มีอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

### 3.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของน้ำส้มซ่าทรงกลม

นำเม็ดเจLN้ำส้มซ่าที่มีอัตราส่วนของน้ำส้มซ่าที่ร้อยละ 30 ที่ได้จากการผลการทดลองในหัวข้อที่แล้ว มาศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่เหมาะสมต่อการเกิดเจLN้ำส้มซ่าทรงกลม โดยศึกษาการใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่แตกต่างกันต่อน้ำส้มซ่าที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, ร้อยละ 1 และร้อยละ 1.5 ซึ่งผลการทดลองการยอมรับทางประสาทสัมผัสของความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของน้ำส้มซ่าทรงกลมแสดงได้ดังตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าเม็ดเจLN้ำส้มซ่าที่มีความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมแลคเตททั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม แต่แนวโน้มภาพรวมของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความเป็นทรงกลม และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่าเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) จากตารางที่ 6 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทมากขึ้น เม็ดเจลมีความแข็งมากขึ้น นั่นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทถึงร้อยละ 1.5 การที่เม็ดเจลง่ายน้ำส้มช้ำทรงกลมก็มีความแข็งมากขึ้นตามความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการผลิตเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสด้วยเทคนิครีเวิร์สฟิสิกซ์ (Kamprawet & Vatthanakul, 2018) ที่พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทที่มากขึ้น มีผลต่อค่าความแข็งของเม็ดบีดส์น้ำเสาวรส โดยเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสมีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากขั้นตอนการเกิดเจลทรงกลม ผนังเซลล์จะสานโครงสร้างโดยการจับกันระหว่างไซโตเล็มแอลจินเนตและแคลเซียมแลคเตท โดยแคลเซียมแลคเตสเป็นสารที่มีประจุบวก ซึ่งในขั้นตอนการจับตัวกัน อาจมีโครงสร้างไซโตเล็มแอลจินเนตจับกับประจุบวกของแคลเซียมแลคเตสไม่สมบูรณ์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทมากขึ้น เป็นการเพิ่มประจุบวกเข้าไปในปฏิกิริยา ทำให้เกิดการจับตัวกันกับไซโตเล็มแอลจินเนตได้อย่างสมบูรณ์ขึ้น เม็ดเจลง่ายน้ำส้มช้ำจึงมีค่า hardness สูงขึ้นตามความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท แต่ถ้าไซโตเล็มแอลจินเนตจับตัวกับแคลเซียมแลคเตทได้อย่างสมบูรณ์และเพียงพอแล้ว การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตท จะไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของเม็ดเจล (Mohamed et al., 2014) ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยภาพรวม พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 0.5 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทมากขึ้น แนวโน้มที่ผู้ทดสอบจะให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง

#### ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การยอมรับประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดเจลง่ายน้ำส้มช้ำทรงกลม ที่มีอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตสที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

| ปัจจัยคุณภาพ                | ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตส |                   |                   |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                             | ร้อยละ 0.5                           | ร้อยละ 1          | ร้อยละ 1.5        |
| ความเป็นทรงกลม              | $8.57 \pm 0.66^a$                    | $7.21 \pm 1.05^b$ | $6.36 \pm 0.74^c$ |
| สี <sup>ns</sup>            | $7.86 \pm 0.53$                      | $7.64 \pm 0.74$   | $7.86 \pm 0.66$   |
| กลิ่น <sup>ns</sup>         | $7.93 \pm 0.61$                      | $7.79 \pm 1.18$   | $8.14 \pm 0.77$   |
| รสชาติ <sup>ns</sup>        | $7.85 \pm 0.95$                      | $8.28 \pm 1.07$   | $8.00 \pm 0.68$   |
| เนื้อสัมผัส                 | $7.92 \pm 0.99^{ab}$                 | $8.64 \pm 0.92^a$ | $7.21 \pm 1.37^b$ |
| ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup> | $7.92 \pm 0.83$                      | $8.21 \pm 1.05$   | $7.85 \pm 1.03$   |

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของเม็ดเจลง่ายน้ำส้มช้ำทรงกลมที่มีอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ไม่มีผลต่อค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) แต่มีผลต่อค่าความแข็ง ภาพที่ 3 แสดงเม็ดเจลง่ายน้ำส้มช้ำทรงกลมที่มีความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตทที่ร้อยละ 0.5 จากภาพ จะเห็นได้ว่า เม็ดเจลง่ายน้ำส้มช้ำทรงกลม มีสีของสีน้ำส้มช้ำ และมีรูปลักษณะเป็นทรงกลม

## ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของเม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลมมีอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตสที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

| ปัจจัยคุณภาพ          | ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมแลคเตส |                           |                         |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                       | ร้อยละ 0.5                        | ร้อยละ 1                  | ร้อยละ 1.5              |
| ค่าสี L <sup>ns</sup> | 29.44 ± 0.21                      | 29.23 ± 0.12              | 29.48 ± 0.90            |
| ค่าสี a <sup>ns</sup> | -0.58 ± 0.79                      | -0.65 ± 0.13              | -0.71 ± 0.14            |
| ค่าสี b <sup>ns</sup> | -1.61 ± 0.17                      | -1.44 ± 0.50              | -1.67 ± 0.28            |
| ค่าความแข็ง (g)       | 37.33 ± 2.08 <sup>c</sup>         | 56.75 ± 2.08 <sup>b</sup> | 253 ± 3.52 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



ภาพที่ 3 แสดงเม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลมที่มีความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตสที่ร้อยละ 0.5

## 4. สรุป

จากการทดลองการพัฒนาเม็ดเจลน้ำส้มซ่าทรงกลม พบว่า ปริมาณกรดจากน้ำส้มซ่า ส่งผลต่อการเซตตัวเป็นทรงกลมของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า โดยเม็ดเจลจะเซตตัวเป็นทรงกลมได้ไม่ตื้นักในสูตรที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำส้มซ่าอยู่ที่ร้อยละ 45 ต่อน้ำหนักรสเปลา เนื่องจากไฮเดียมอัลจินตมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถละลายในตัวอย่างอาหารที่มีค่าความเป็นกรดได้ตื้นัก โดยสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำส้มซ่าร้อยละ 30 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 3.87 และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เท่ากับ 0.38 เมื่อศึกษาความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตสที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของน้ำส้มซ่าทรงกลม พบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตสส่งผลต่อความความแข็งของเม็ดเจลน้ำส้มซ่า แต่ไม่ส่งผลต่อค่าสีของเม็ดเจล โดยยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตสมากขึ้น เม็ดเจลมีความแข็งมากขึ้น โดยความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมแลคเตสที่ร้อยละ 0.5 เม็ดเจลน้ำส้มซ่าได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทดลองปีงบประมาณ 2563

## 6. เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (1998). **Association of Official Analytical Chemists**. 16<sup>th</sup> ed. Washington D.C. : Virginia. AOAC, Inc.
- Ascharyaphotha, w., Suktanarak, s. & Ascharyaphotha, B. (2021). Preliminary study on antioxidant in bitter orange (*Citrus aurantium* L.) juice cultivates in green farm at Khlong Ha subdistrict, Khlong Luang district, Pathum Thani province. **Agricultural Science Journal**, **52**(1): 205-208.
- Kampeawet, P. & Vattanakul, S. (2018). Producing Passion Fruit Beads by Reverse Spherification Technique. **Thai Science and Technology Journal**, **26**(8): 1381-1393.
- Mohamed S. Mohy Eldin, Elbadawy A. Kamoun, Mamdouh A. Sofan, Smaher M. Elbayomi. (2015). L-Arginine grafted alginate hydrogel beads: A novel pH-sensitive system for specific protein delivery. **Arabian Journal of Chemistry**, **8**: 355-365.
- Suktanarak, S., Ruksian, S., Poolrit W. & Khramkiew, N. (2018). **Development of Sacca Inchi Tea using Spherification Technique**. In Proceeding of Academics Science & Technology Conference (pp. AS-357-AS-361). Samut Prakan: Huachiew Chalermprakiet University.
- Suktanarak, s., Kanjunsri, N., Suwantuppa, s. & Waiyapoka, B. (2021). Producing bubble dragon fruit peel with juice using reverse spherification technique. **Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal**, **14**(1): 25-31.
- Watcharananant, W., Puttongsiri, T. & Huangrak, K. (2020). Aroma compounds in *Citrus aurantium* var. *aurantium* peel from different extraction methods. **King Mongkut's Agricultural Journal**, **38**(1): 16-23.

(Received: 7/Sep/2023, Revised: 13/Dec/2023, Accepted: 20/Dec/2022)

# การพัฒนาคุณสมบัติและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์

## Development of Properties and Comparison of Efficiency For Pavement Blocks from Cement Soil

دنوفل มากฟอง

Danuphon Markphong

สาขาเทคโนโลยีภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Department of Landscape Technology, Faculty of Agricultural Technology,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: danuphon\_m@rmutt.ac.th Tel: 091-7183948

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรัง ซึ่งเป็นดินปนทรายชนิดหนึ่ง มีสีแดงหรือสีน้ำตาลแดง และมีอยู่ทั่วไปในทุกภาคของประเทศ ซึ่งจะนำดินลูกรังตามพื้นที่ทั่วไปในจังหวัดปทุมธานี นำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกันตามอัตราส่วนที่กำหนด และนำมามาตรฐานอุตสาหกรรมมาใช้ในการอ้างอิงเพื่อการพัฒนาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของบล็อกทางเดินที่เกิดจากการผสมของดินซีเมนต์ให้มีความใกล้เคียงกับบล็อกทางเดินซีเมนต์ในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการจัดทำบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ที่อ้างอิงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 827-2531 และทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน ในอัตราส่วนผสม สูตรที่ 1:7, 1:8 และ 1:9 โดยตัวแปรหลักอยู่ที่ดินลูกรังชนิดเนื้อดินที่ผ่านการร่อนและเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน โดยอัตราส่วนของน้ำจะเป็นร้อยละ 50 จากปริมาณของดินลูกรัง เพื่อเป็นการพัฒนาคุณสมบัติของบล็อกทางเดินจากซีเมนต์ให้มีประสิทธิภาพเพื่อสร้างตัวเลือกในการเลือกใช้งานที่เหมาะสม เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายสมบัติ และกลสมบัติ ขนาดชิ้นงานในการทดสอบ 5x5x5 ซม. เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป (มอก. 827-2531) ผลจากการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ประเภทเนื้อดินที่ผ่านการร่อนที่อัตราส่วนผสม 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5, 1:9:5 โดยเนื้อดินที่ผ่านการร่อนทุกอัตราส่วนมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 827-2531 ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่กำหนดค่าอยู่ไม่ต่ำกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในส่วนของประเภทเนื้อดินที่ไม่ผ่านร่อนมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 827-2531 ที่อัตราส่วนผสม 1:9:4.5, 1:9:5 ดังนั้นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 827-2531 จะอยู่ที่ประเภทเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อนอัตราส่วนผสม 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5 และ 1:9:4 และทดสอบการดูดกลืนน้ำของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมประเภทเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5 และ 1:9:5 ทุกอัตราส่วนมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 827-2531 ที่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 10-25 ค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 827-2531 ดังนั้นอัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานจริง คือ 1:7:3, 1:7:4, 1:7:3.5, 1:8:3.5, 1:8:4.5, 1:8:4 และ 1:9:4 ตามลำดับจากเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน

**คำสำคัญ :** ดินลูกรัง อัตราส่วนผสม บล็อกทางเดิน ดินซีเมนต์

### Abstract

This research studied the properties of laterite soil which is a type of sandy soil, they are red or reddish brown and are common in every region of the country. Which will bring laterite soil in general areas in Pathum Thani Province and when mixed with cement and water to be homogeneous

according to the specified ratio and use industry standards as a reference to develop the physical and mechanical properties of walkway blocks which are made from mixing the cement soil to be similar to the current cement walkway blocks. This research therefore focuses on the preparation of walkway blocks from cement soil according to the industrial standard TIS 827-2531 and conducted a study to compare with different mixing ratios in formulas of 1:7, 1:8 and 1:9. The main variable is laterite land, the type of soil that has been sifted and the type of soil that has not been sifted. The ratio of water will be 50 percent from the amount of laterite soil. In order to develop the properties of cement walkway blocks to be efficient in order to create options for selecting appropriate uses. in order to test the physical and mechanical properties. The size of the specimen in the test was 5x5x5 centimeters to compare with the industry standard for interlocking concrete blocks for general flooring (TIS. 827-2531), From testing the compressive strength of walkway blocks made from sifted cement soil at mix ratios of 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5, 1: 9:5, all ratios of sifted soil had a compressive strength lower than the standard TIS 827-2531 of interlocking concrete blocks for flooring that is specified to be not less than 40 kilograms per square centimeter. As for the type of soil that does not crumble, it has a compressive strength value lower than the TIS 827-2531 standard at mixing ratios of 1:9:4.5, 1:9:5. Therefore, the mixing ratio that has a compressive strength value through The TIS 827-2531 standard is based on the type of non-suspended soil, the mix ratio is 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1: 8:4.5 and 1:9:4 and test the water absorption of the walkway blocks from cement soil at the mixture ratios of non-suspended soil types 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8 :3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5 and 1:9:5 all ratios have values not exceeding the TIS 827-2531 standard criteria that have values between 10-25%. Therefore, the water absorption value of walkway blocks from cement soil can pass the TIS 827-2531 standard criteria. Therefore, a good ratio for actual molding is 1:7:3, 1:7:4, 1:7:3.5, 1:8:3.5, 1:8:4.5, 1:8:4 and 1:9:4 respectively, from soil that has not been

**Keywords :** laterite soil, mixing ratios, pavement blocks, cement soil

## 1. บทนำ

ดินลูกรังเป็นวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่นำมาใช้ทำการก่อสร้าง โดยต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ก่อสร้างในพื้นที่ห่างไกลจากแหล่งลูกรังที่ได้มาตรฐานนั้นจะเกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุ และระยะเวลาก่อสร้างเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้มูลค่าการก่อสร้างทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการออกแบบและปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังใกล้พื้นที่ก่อสร้างที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่ำกว่ามาตรฐาน ให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมใกล้เคียงกับดินลูกรังมาตรฐานซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งวัสดุจากแหล่งอื่น ช่วยแก้ปัญหาในการขาดแคลนวัสดุ และเป็นการใช้แหล่งวัสดุธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Department of Mineral Resources, 2016) แนวคิดการปรับปรุงวัสดุชั้นรองพื้นทางที่ต่ำกว่ามาตรฐาน สามารถทำได้โดยการผสมสารผสมเพิ่มเติม (Stabilizing Agent) ซึ่งเป็นการปรับปรุงดินด้วยวิธีการทางเคมี โดยส่วนมากแล้วสารที่ผสมเข้าไปในดินเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินนั้นจะใช้ซีเมนต์เป็นสารผสมเพิ่มหรือที่เรียกว่าการปรับปรุงเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ (Cement Stabilization) และเรียกดินที่ถูกปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ว่า ดินซีเมนต์ (Soil-Cement) (Onestockhome, 2019)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการจัดทำบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ที่อ้างอิงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 827-2531 (Ministry of Industry, 1989) โดยทดสอบคุณสมบัติการดูดกลืนน้ำ การนำความร้อนและน้ำหนักเบาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบล็อกทางเดิน โดยใช้วัสดุทางธรรมชาติซึ่งได้แก่ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม โดยใช้



อัตราส่วนผสมที่ต่างกันในส่วน 1:7 ซึ่งเป็นงานผลวิจัยของ Ongsupankul et al. (2016) เป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้

โดยการวิจัยในครั้งนี้จะใช้อัตราส่วนผสมที่ต่างกันในส่วน 1:8 และ 1:9 ซึ่งอัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณดินลูกรังมากกว่า ซึ่งทำให้เพิ่มจำนวนของของขึ้นงาน โดยใช้ปูนซีเมนต์เท่าเดิม ซึ่งดินลูกรังมีราคาที่ถูกกว่าปูนซีเมนต์เป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นการพัฒนาคุณสมบัติของบล็อกทางเดินจากซีเมนต์ให้มีประสิทธิภาพเพื่อสร้างตัวเลือกในการเลือกใช้งานที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมและการผลิตบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก โดยมีสมมติฐานของการศึกษาคาดว่า ได้บล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติความแข็งแรง ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 827-2531

## 2. วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

### 2.1 ขั้นตอนในวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนในการจัดทำบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ เพื่อใช้ในการสร้างบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ โดยสรุปได้เป็นดินลูกรัง มีการจัดประเภทเนื้อดิน 2 ประเภท ประเภทที่หนึ่งเป็นเนื้อดินที่ผ่านการร่อน ประเภทที่สองเป็นเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่ 1:7, 1:8 และ 1:9 ในส่วนของน้ำจะใช้อัตราส่วนตั้งต้นเป็นร้อยละ 50 ของปริมาณดินลูกรัง

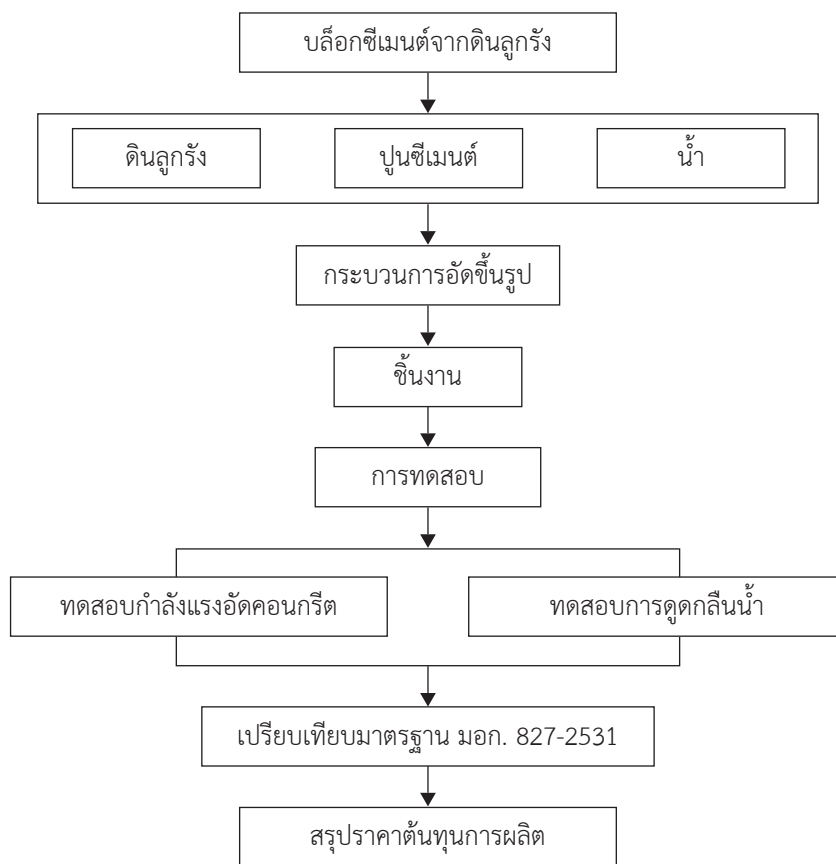
โดย ดินลูกรัง : เป็นดินปนทรายชนิดหนึ่ง มีสีแดงหรือสีน้ำตาลแดง และมีอยู่ทั่วไปในทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปูนซีเมนต์ : ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป น้ำ : จากแหล่งน้ำสาธารณะ หรือที่ใช้อุปโภคในชีวิตประจำวัน

2. การขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นปูพื้นสนามมีส่วนผสม ปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง ในอัตราส่วน 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5 และ 1:9:5 โดยใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 50 ของปริมาณดินซีเมนต์โดยน้ำหนัก มาทำการผสมขึ้นรูปในแต่ละอัตราส่วนผสมและทำการอัดลงในแม่แบบ ขนาด 5x5x5 ซม.

3. อุปกรณ์ที่ใช้ : เกียงใบโพธิ์ / ถังผสมปูน / แม่แบบบล็อกขนาด 5x5x5 ซม. / ตะแกรงร่อนทราย / เครื่องชั่งดิจิตอล / อุปกรณ์บดย่อย

4. ทดสอบทางกายสมบัติ / ทดสอบทางกลสมบัติ โดยการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัด โดยใช้เครื่องทดสอบการรับกำลังแรงอัด (Universal Testing Machine) ขนาด 20 ตัน รุ่น CY-6040A4 และหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในเบื้องต้น ชิ้นงานขนาด 5x5x5 ซม. จำนวน 3 ชิ้นงาน : 1 อัตราส่วนผสม และการทดสอบคุณสมบัติการดูดกลืนน้ำ นำชิ้นงานชั่งน้ำหนักก่อนทำการแช่น้ำ 24 ชม. และนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาคุณสมบัติการดูดกลืนน้ำ

5. สรุปประสิทธิภาพแผ่นปูพื้นสนามเพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นปูพื้นทางเดินตามท้องตลาด



ภาพที่ 1 การจัดทำบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์

## 2.1 อัตราส่วนในการขึ้นรูปบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์

การใช้ดินลูกรัง มีการจัดประเภทเนื้อดิน 2 ประเภท ประเภทที่หนึ่งเป็นเนื้อดินที่ผ่านการร่อน ประเภทที่สองเป็นเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่ 1:7, 1:8 และ 1:9 ในส่วนของน้ำจะใช้อัตราส่วนตั้งต้นเป็นครั้งแรกของดินและเพิ่มลดจำนวนน้ำตามอัตราส่วน โดยแต่ละอัตราส่วนจะทำการขึ้นชิ้นงาน 3 ก้อนเพื่อการทดสอบในแม่แบบขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 อัตราส่วนในการขึ้นรูปบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์

| ตัวอย่างที่ | เนื้อดิน       | ขนาดของชิ้นงานทดสอบ<br>(กว้างxยาวxหนา) (ซม.) | อัตราส่วนผสม (กรัม)<br>(ปูน:ดิน:น้ำ) | ประเภทละ<br>(ก้อน) |
|-------------|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 1           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:7:3                                | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
|             | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:7:3.5                              | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
|             | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:7:4                                | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | เนื้อดิน       | ขนาดของชิ้นงานทดสอบ<br>(กว้างxยาวxหนา) (ซม.) | อัตราส่วนผสม (กรัม)<br>(ปูน:ดิน:น้ำ) | ประเภทตะ<br>(ก้อน) |
|-------------|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 2           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:8:3.5                              | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
|             | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:8:4                                | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
|             | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:8:4.5                              | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
| 3           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:9:4                                | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
|             | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:9:4.5                              | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |
|             | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:9:5                                | 3                  |
|             | ไม่ผ่านการร่อน |                                              |                                      |                    |

## 2.2 ขั้นตอนการผลิต

1. เตรียมวัสดุ ได้แก่ ดินลูกรัง (แบบเนื้อดินผ่านการร่อน และ เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน) ปูนซีเมนต์ น้ำ เพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงาน (Worasuntarosoth et al., 2012)



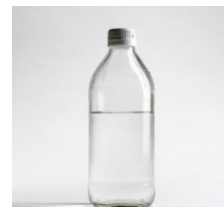
เนื้อดินผ่านการร่อน



เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน



ปูนซีเมนต์



น้ำ

## ภาพที่ 2 วัสดุในการผสม

2. นำส่วนผสมได้แก่ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ น้ำ ผสมให้เข้ากัน และนำส่วนผสมใส่ลงแม่แบบขนาด 5x5x5 ซม. และไล่ฟองอากาศออก และการถอดแม่แบบออกจากชิ้นงานหลังจากทิ้งให้เซตตัวประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบ



1:7

1:8

1:9

(การผสมวัสดุให้เข้ากันตามอัตราส่วน)



ใส่ลงในแม่แบบขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

## ภาพที่ 3 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงาน

## 3. การถอดแม่แบบออกจากชิ้นงานหลังจากทิ้งให้เซตตัวประมาณ 24 ชั่วโมง



เนื้อดินผ่านการร่อน



เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน

## ภาพที่ 4 รูปแบบชิ้นงาน

โดยแต่ละอัตราส่วนจะทำการขึ้นชิ้นงาน 3 ก้อน เพื่อการทดสอบและหาค่าเฉลี่ย จากผลการทดลองพบว่า เนื้อดินร่อน และเนื้อดินไม่ร่อน ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่ 1:7, 1:8 และ 1:9 โดยแต่ละอัตราส่วนจะทำการขึ้นชิ้นงาน 3 ก้อนเพื่อการทดสอบ ในแม่แบบขนาด 5x5x5 เซนติเมตร สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วนผสม

## ตารางที่ 2 แสดงผลการขึ้นรูปชิ้นงาน

| ตัวอย่างที่ | เนื้อดิน       | ขนาดของชิ้นงานทดสอบ<br>(กว้างxยาวxหนา) (ซม.) | อัตราส่วนผสม (กรัม)<br>(ปูน:ดิน:น้ำ) | ผลการทดสอบ<br>การขึ้นรูป |
|-------------|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 1           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:7:3                                | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 2           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:7:3.5                              | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 3           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:7:4                                | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 4           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:8:3.5                              | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 5           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:8:4                                | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 6           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:8:4.5                              | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 7           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:9:4                                | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 8           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:9:4.5                              | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |
| 9           | ผ่านการร่อน    | 5x5x5                                        | 1:9:5                                | สามารถขึ้นรูปได้         |
|             | ไม่ผ่านการร่อน | 5x5x5                                        |                                      | สามารถขึ้นรูปได้         |

## 2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทดสอบทางกายสมบัติ / ทดสอบทางกลสมบัติ โดยการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัด และหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในเบื้องต้น ชิ้นงานขนาด 5x5x5 ซม. จำนวน 3 ชิ้นงาน : 1 อัตราส่วนผสม (โดยทิ้งไว้แห้งเป็นระยะเวลา 15 วันและนำมาทดสอบ)



ภาพที่ 5 ทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัด

2. การทดสอบคุณสมบัติการดูดกลืนน้ำ จำนวน 3 ชิ้นงาน : 1 อัตราส่วนผสม (โดยทิ้งไว้แห้งเป็นระยะเวลา 15 วัน และนำมาทดสอบ) นำชิ้นงานซึ่งน้ำหนักก่อนทำการแช่น้ำ 24 ชม. และนำชิ้นงานมาซึ่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาคุณสมบัติการดูดกลืนน้ำ (Faculty of Engineering, University of Phayao, 2016)



ชิ้นงาน



ชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ



แช่น้ำ 24 ชม.



ชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ

ภาพที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์คุณสมบัติชิ้นงาน เพื่อทดสอบ และสรุปผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.827-2531

ตารางที่ 3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป มอก. 827-2531

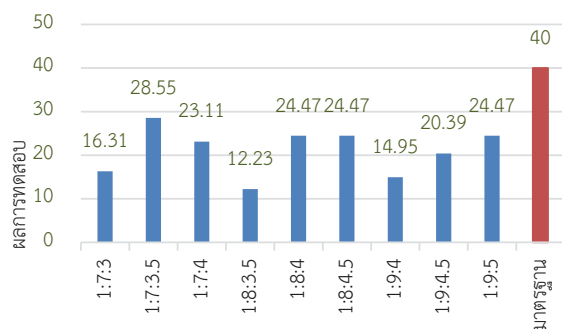
| คุณลักษณะ         | มาตรฐาน        | หน่วย      |
|-------------------|----------------|------------|
| การกำลังรับแรงอัด | ไม่น้อยกว่า 40 | กก./ตร.ซม. |
| การดูดกลืนน้ำ     | ไม่เกินกว่า 25 | ร้อยละ     |

จากการดำเนินการวิจัย มีผลการวิจัยและผลการทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 827-2531 ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไปตามรายละเอียดต่อไปนี้

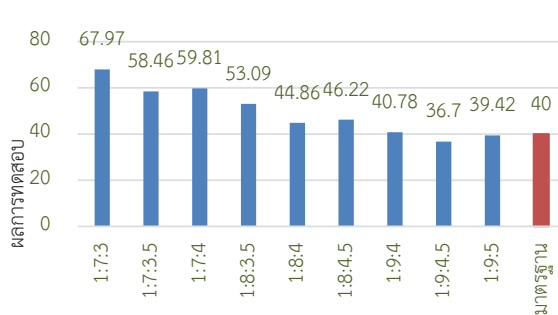
#### ตารางที่ 4 ผลการทดสอบรับแรงอัดชิ้นงาน อัตราส่วนต่าง ๆ โดยแยกเนื้อดินผ่านการร่อนและเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน

| อัตราส่วน | เนื้อดิน       | น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) | พื้นที่หน้าตัดรับแรงอัดเฉลี่ย (ตร.ซม.) | ค่าเฉลี่ยกำลังสูงสุด (กก.) | ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (กก./ตร.ซม.) |
|-----------|----------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1:7:3     | ผ่านการร่อน    | 173.33               | 25                                     | 407.88                     | 16.31                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 205                  | 25                                     | 1,699.50                   | 67.97                          |
| 1:7:3.5   | ผ่านการร่อน    | 170                  | 25                                     | 713.77                     | 28.55                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 190                  | 25                                     | 1461                       | 58.46                          |
| 1:7:4     | ผ่านการร่อน    | 160                  | 25                                     | 577.83                     | 23.11                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 186.66               | 25                                     | 1,495.47                   | 59.82                          |
| 1:8:3.5   | ผ่านการร่อน    | 180                  | 25                                     | 305.91                     | 12.23                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 190                  | 25                                     | 1,325.61                   | 53.02                          |
| 1:8:4     | ผ่านการร่อน    | 163.33               | 25                                     | 611.82                     | 24.47                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 185                  | 25                                     | 1,121.67                   | 44.86                          |
| 1:8:4.5   | ผ่านการร่อน    | 155                  | 25                                     | 611.82                     | 24.47                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 188.33               | 25                                     | 788.66                     | 46.22                          |
| 1:9:4     | ผ่านการร่อน    | 146.66               | 25                                     | 373.89                     | 14.95                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 195                  | 25                                     | 1,019.70                   | 40.78                          |
| 1:9:4.5   | ผ่านการร่อน    | 158.33               | 25                                     | 509.85                     | 20.39                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 181.66               | 25                                     | 917.73                     | 36.70                          |
| 1:9:5     | ผ่านการร่อน    | 146.66               | 25                                     | 611.82                     | 24.47                          |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 183.33               | 25                                     | 985.71                     | 39.42                          |

อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่ 1:7, 1:8 และ 1:9 โดยแต่ละอัตราส่วนจะทำการขึ้นชิ้นงานในแม่แบบขนาด 5x5x5 เซนติเมตรจำนวน 3 ก้อนเพื่อการทดสอบและหาค่าเฉลี่ย (Kamdee et al., 2020)



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดเนื้อดินผ่านการร่อน



ภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน

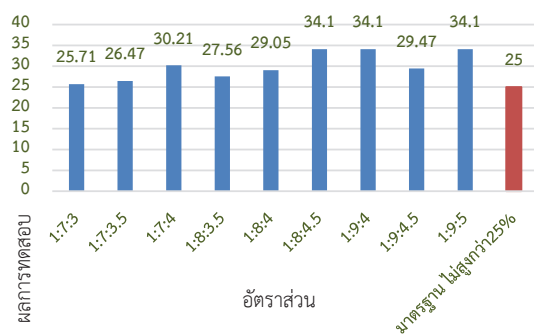
ตามมาตรฐานต้องมีค่ากำลังรับแรงอัด 40 กก./ตร.ซม. จากผลการทดลองพบว่าผลกำลังค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์เนื้อดินผ่านการร่อน อัตราส่วน 1:7:3.5 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัด 28.55 กก./ตร.ซม. ซึ่งเป็นค่ากำลังที่สูงสุด แต่ค่ากำลังแรงอัดเฉลี่ยยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยการใช้ปริมาณน้ำต่อปริมาณดินลูกรังมีผลต่อกำลังรับ



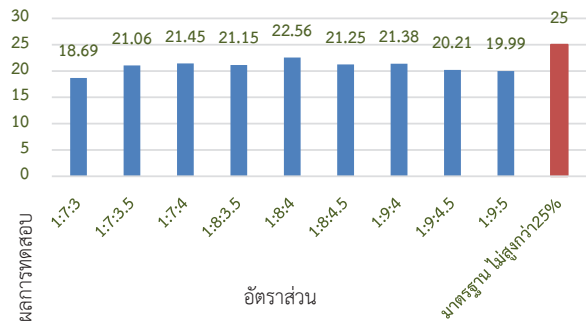
แรงอัด เนื่องจากดินมีความอ่อนนุ่ม จึงต้องใช้ปริมาณน้ำที่มากขึ้น และผลกำลังค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์เนื้อดินไม่ผ่านการร่อนพบว่า จากอัตราส่วนทั้งหมด มีอัตราส่วน 1:9:4.5 และ 1:9:5 มีค่ากำลังแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน และอัตราส่วน 1:7:3 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัด 67.97 กก./ตร.ซม.ซึ่งเป็นค่ากำลังที่สูงสุด

**ตารางที่ 5 แสดงผลการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ในเวลา 24 ชั่วโมง อัตราส่วนต่าง ๆ โดยแยกเนื้อดินผ่านการร่อนและเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน**

| อัตราส่วน | เนื้อดิน       | น้ำหนักก่อนทดสอบ<br>(กรัม) | น้ำหนักหลังทดสอบ<br>(ตร.ซม.) | การดูดกลืนน้ำ 24 ชั่วโมง<br>(ร้อยละ) |
|-----------|----------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 1:7:3     | ผ่านการร่อน    | 175                        | 220                          | 25.71                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 205                        | 245                          | 18.69                                |
| 1:7:3.5   | ผ่านการร่อน    | 170                        | 215                          | 26.47                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 195                        | 235                          | 21.06                                |
| 1:7:4     | ผ่านการร่อน    | 160                        | 210                          | 30.21                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 180                        | 220                          | 21.45                                |
| 1:8:3.5   | ผ่านการร่อน    | 180                        | 220                          | 27.56                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 175                        | 195                          | 21.15                                |
| 1:8:4     | ผ่านการร่อน    | 160                        | 205                          | 29.05                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 175                        | 190                          | 22.56                                |
| 1:8:4.5   | ผ่านการร่อน    | 155                        | 200                          | 34.10                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 170                        | 185                          | 21.25                                |
| 1:9:4     | ผ่านการร่อน    | 145                        | 195                          | 34.10                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 195                        | 240                          | 21.38                                |
| 1:9:4.5   | ผ่านการร่อน    | 160                        | 205                          | 29.47                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 175                        | 210                          | 20.21                                |
| 1:9:5     | ผ่านการร่อน    | 150                        | 200                          | 34.10                                |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | 180                        | 215                          | 19.99                                |



**ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำเนื้อดินผ่านการร่อน**



**ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน**

ตามมาตรฐานต้องมีค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 25 จากผลการทดลองพบว่าผลค่าการดูดซึมน้ำบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์เนื้อดินผ่านการร่อน ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ามาตรฐาน และค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน ทุกอัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐาน คือต้องมีค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 25

#### ตารางที่ 6 สรุปผลบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ เปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป (มอก. 827-2531)

| อัตราส่วน | เนื้อดิน       | มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป (มอก.827-2531) |                                             |                                   |
|-----------|----------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
|           |                | ลักษณะทั่วไป                                                            |                                             |                                   |
|           |                | บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าว                                            | การรับกำลังแรงอัด ไม่น้อยกว่า 40 กก./ตร.ซม. | การดูดกลืนน้ำ ไม่มากกว่าร้อยละ 25 |
| 1:7:3     | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             | ✓                                 |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:7:3.5   | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน | ✓                                                                       | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:7:4     | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:8:3.5   | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:8:4     | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:8:4.5   | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:9:4     | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         | ✓                                           | ✓                                 |
| 1:9:4.5   | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         |                                             | ✓                                 |
| 1:9:5     | ผ่านการร่อน    | ✓                                                                       |                                             |                                   |
|           | ไม่ผ่านการร่อน |                                                                         |                                             | ✓                                 |

จากผลการทดลองพบว่า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั่วไป (มอก. 827-2531) โดยมีการรับกำลังแรงอัดไม่น้อยกว่า 40 กก./ตร.ซม. การดูดกลืนน้ำไม่มากกว่าร้อยละ 25 บล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์แบบเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนมีค่าการผ่านตามมาตรฐานที่มากกว่า

#### ตารางที่ 7 แสดงผลราคาต้นทุนบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ เปรียบเทียบกับราคาบล็อกประสานในท้องตลาด

| อัตราส่วนผสม              | ขนาด (กว้างxยาวxหนา) ซม. | ราคาต่อแผ่น (บาท) |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| บล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ | 30x30x6                  | 28.80             |
| บล็อกประสานในท้องตลาด     | 30x30x6                  | 40                |

บล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ มีราคาต้นทุนเฉลี่ยต่อแผ่น คือ 28 บาท/แผ่น โดยมีค่าวัสดุ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ ไม้แบบ เป็นเงิน 24 บาท การคิดค่าแรงเป็นการขึ้นรูปด้วยมือ ไม่ได้ใช้เครื่องจักร ค่าแรงคิดเป็นร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ในการเปรียบเทียบราคากับท้อง โดยวิธีการสืบราคาและหาเฉลี่ย

ผลการวิจัยครั้งนี้โดยการนำผลวิจัยของ Ongsupankul et al. (2016) ที่ศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ต่อดินลูกรังที่ 1:7 เป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้ โดยใช้ระยะเวลาในการบ่มบล็อกทดสอบที่ 7 วัน นอกจากนี้ Pahusuwanno et al. (2017) ได้ทำการขึ้นรูปบล็อกทดสอบตัวอย่างขนาด 5x5x5 เซนติเมตร และเข้าสู่กระบวนการทดสอบกำลังแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบกำลังแรงอัดแบบไฮดรอลิก พร้อมสรุปผลทดสอบจากบล็อกตัวอย่างในงานวิจัย

จากผลการวิจัยการจัดทำบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนที่ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ พบว่าอัตราส่วน 1:8 และ 1:9 ซึ่งอัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณดินลูกรังมากกว่า ซึ่งทำให้เพิ่มจำนวนของชิ้นงาน โดยใช้ปูนซีเมนต์เท่าเดิม แต่มีคุณสมบัติเทียบเท่ามาตรฐาน ซึ่งดินลูกรังมีราคาที่ถูกกว่าปูนซีเมนต์เป็นจำนวนมาก และจากงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลิตภัณท์เกี่ยวกับบล็อกทางเดินในเชิงพาณิชย์ต่อไป จากการทดสอบผลทดสอบ คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ในประเภทเนื้อดินผ่านการร่อน ไม่เหมาะสมในด้านการรับ กำลังแรงอัด การดูดกลืนน้ำ เพราะเนื้อดินมีความละเอียดสูง มีการทดสอบการรับกำลังแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของ บล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ส่วนมากมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 827-2531

#### 4. สรุป

จากการดำเนินการวิจัยผลิตบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ จากผลวิจัยที่ได้สามารถนำมาสรุปผลของการวิจัย ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การรับกำลังแรงอัดของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ประเภทเนื้อดินผ่านการร่อนที่อัตราส่วนผสม 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5, 1:9:5 โดยเนื้อดินร่อนทุกอัตราส่วนมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่า มาตรฐาน มอก. 827-2531 ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่กำหนดค่าอยู่ไม่ต่ำกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในส่วนของประเภทเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 827-2531 ที่อัตราส่วนผสม 1:9:4.5, 1:9:5 ดังนั้นอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 827-2531 จะอยู่ที่ประเภทเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนอัตราส่วนผสม 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5 และ 1:9:4

4.2 การดูดกลืนน้ำของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมประเภทเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน 1:7:3, 1:7:3.5, 1:7:4, 1:8:3.5, 1:8:4, 1:8:4.5, 1:9:4, 1:9:4.5 และ 1:9:5 ทุกอัตราส่วนมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 827-2531 ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 10-25% ดังนั้นค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์สามารถผ่านเกณฑ์ มาตรฐาน มอก.827-2531

4.3 การเปรียบเทียบราคากับบล็อกทางเดินจากดินซีเมนต์กับบล็อกทางเดินทั่วไป โดยการสืบราคาตามท้องตลาด ต่อแผ่นต่ำกว่าบล็อกทางเดินตามท้องตลาดราคาอยู่ประมาณ 10-12 บาท

อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานคืออัตราส่วน 1:7:3 ประเภทเนื้อดินไม่ผ่านการร่อน ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 53.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการดูดกลืนน้ำอยู่ที่ 20.4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 41.9 องศาเซลเซียส ราคาต้นทุนต่อแผ่นอยู่ที่ 28.80 บาท

#### 5. เอกสารอ้างอิง

Department of Mineral Resources. (2016). **Soil**. Retrieved 15 Mar 2022, from <http://www.dmr.go.th/main.php?filename=soil>. (in Thai)

Faculty of Engineering, University of Phayao. (2016). **Determination of density and water absorption of bricks**. Retrieved 20 Mar 2022, from <http://engineeringmaterialsproject.blogspot.com/>. (in Thai)

- Kamdee S., Thongmunee S. & Jitsangiam P. (2020). Effects of Fine Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Lateritic Soil-Cement. **Proceeding of the National Convention on Civil Engineering** (pp. 1-6). The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage.
- Ministry of Industry. (1989). **Industrial product standards for interlocking concrete blocks for flooring, TIS 827-2531**. Retrieved 4 Mar 2022, from <https://technologyblockprasan.com/wp-content/uploads/2019>. (in Thai)
- Onestockhome. (2019). **Cement**. Retrieved 9 Feb 2022, from [https://www.onestockhome.com/th/homemap\\_contents/81709979/types-of-portland-cement-in-Thailand](https://www.onestockhome.com/th/homemap_contents/81709979/types-of-portland-cement-in-Thailand). (in Thai)
- Ongsupankul S., Kaewsaeng W. & Dumrongsil S. (2016). Mechanical Behavior of Cement Stabilized Rammed Earth (CSRE) Wall Under Axial load for earth building. **Proceeding of the 1<sup>st</sup> National Conference Rajamangala University of Technology Rattanakosin: B-inno 2016** (pp. 11-20). Rajamangala University of Technology Rattanakosin. (in Thai)
- Pahusuwan S., Inkliang K. & Hanhongart B. (2017). A Study of Para Soil Cement Road Construction. **Proceeding of the 11<sup>th</sup> THAICID NATIONAL SYMPOSIUM** (pp. 265-276). Bureau of Project Management. (in Thai)
- Worasuntaroso P. & Worasuntaroso W. (2012). **Construction Materials**. Retrieved 18 Feb 2022, from <https://www.se-ed.com/product>. (in Thai)

(Received: 23/Sep/2023, Revised: 19/Dec/2023, Accepted: 21/Dec/2022)

## กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก

### A Prototype of a Dog Skull Made from Plastic

บรรณารักษ์ แก้วจรรยา<sup>1\*</sup> และ ชัยสิทธิ์ แก้วจรรยา<sup>2</sup>

Bunnaruk Kaewcharoon<sup>1\*</sup> and Chaiyasit Kaewcharoon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<sup>2</sup> สาขาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<sup>1</sup> Animal Health Science Program, Faculty of Veterinary Science, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

<sup>2</sup> Agricultural Engineering and Technology Program, Faculty of Agriculture and Natural Resources,  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok

\*E-mail: bunnaruk\_ka@rmutto.ac.th Tel. 081-4466892

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ โดยการนำอวัยวะสัตว์ของจริงมาสร้างภาพจำลอง 3 มิติ (3D simulation) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการประมวลผลภาพ เพื่อส่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) สร้างชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกให้มีรูปร่างลักษณะเหมือนจริง ในงานวิจัยนี้ใช้แบบตัวอย่างจริง 4 ตัวอย่าง และสร้างได้ 8 ชิ้นงาน ได้แก่ กะโหลกสุนัข, ขากรรไกรล่าง, กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา, กะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย การดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอน เริ่มจากการถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ โดยใช้กล้องถ่ายภาพปรับระดับความสูง 2 ระดับ ถ่ายภาพให้หมุนรอบชิ้นงานทุก 10 องศา กดบันทึกภาพได้ประมาณ 36 ภาพ ขั้นตอนที่ 2 นำภาพ 1 ชิ้นงานทั้งหมดใน 1 โฟลเดอร์นำไปวิเคราะห์ภาพถ่ายในโปรแกรม Meshroom Version 2021.1.0 เพื่อให้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากนั้นในขั้นตอนที่ 3 ใช้โปรแกรม Meshmixer ในการปรับแต่งแบบจำลอง 3 มิติ ปรับปรุงขนาดและปรับแต่งรูปร่างให้ใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุด ผลการวิเคราะห์ขนาดเทียบเคียงกับของจริงนั้นเทียบเท่ากัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำไฟล์นามสกุล .OBJ มาแปลงเป็นไฟล์นามสกุล STL และไฟล์นามสกุล GCODE โดยใช้โปรแกรม Creality Slicer V.4.8 แล้วดำเนินการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Ender 3 v2 ด้วยพลาสติก PLA สีเนื้อและสีขาว ผลการวิจัยการสร้างชิ้นงานกะโหลกสุนัขแต่ละชิ้นงาน โดยการใช้โปรแกรม Meshroom 2021, โปรแกรม Meshmixer, โปรแกรม Creality Slicer V.4.8 และเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Ender 3 v2 ได้ชิ้นงานจากพลาสติก PLA สีเนื้อ 4 ชิ้นงานและสีขาว 4 ชิ้นงาน ใช้เวลาในการพิมพ์และน้ำหนักรวมนั้น กะโหลกสุนัขใช้เวลาในการพิมพ์ 23 ชั่วโมง 51 นาที น้ำหนักรวม 233 กรัม ขากรรไกรล่าง ใช้เวลาในการพิมพ์ 7 ชั่วโมง 43 นาที น้ำหนักรวม 55 กรัม กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา ใช้เวลาในการพิมพ์ 17 ชั่วโมง 59 นาที น้ำหนักรวม 123 กรัม และกะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย ใช้เวลาในการพิมพ์ 17 ชั่วโมง 3 นาที น้ำหนักรวม 120 กรัม ซึ่งระยะเวลาการพิมพ์แต่ละโมเดลดังกล่าวคือเวลาเฉลี่ยต่อ 1 ชิ้นงาน สรุปผลการวิจัย พบว่าไฟล์แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติทั้ง 8 ชิ้น มีความเหมือนจริงในด้านโครงสร้างและรูปร่างลักษณะภายนอก แต่มีรายละเอียดของชิ้นงานที่ไม่สามารถทำได้ เช่น รอยร้าวของหัวกะโหลก, โครงสร้างภายในโพรงจมูก, องค์ประกอบภายในแอ่งของกะโหลกศีรษะ และรูต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวของกะโหลกศีรษะ เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในกระบวนการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในด้านผลลัพธ์วิจัยเชิงปริมาณทั้ง 4 ชิ้นงาน จะใช้ประโยชน์เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา

**คำสำคัญ :** กะโหลกสุนัข, อวัยวะสัตว์, แบบจำลอง 3 มิติ, เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

## Abstract

This research aimed to develop anatomy teaching media by using real animal organs to create 3D simulation images using ready-made image processing programs to order a 3D printer (3D Printer) to create plastic animal organs with realistic shapes. In this research, 4 real samples were used, and 8 pieces were created, including a dog skull, lower jaw, right-halved dog skull, left-halved dog skull. The research process had 4 steps; first step, starting with taking photos and collecting data on the prototype pieces, using a camera that adjusted to 2-level height, taking photos rotating around the workpiece every 10 degrees, obtained approximately 36 images. Step 2, Taking 1 image of all workpieces in 1 folder to be analyzed in the Meshroom Version 2021.1.0 program to create a 3D model. Step 3, Meshmixer program was applied to adjust the 3D model for improving the size and adjusting the shape to be as close to the real thing as possible. The final step is to convert the .OBJ file extension to an STL file extension and a GCODE file extension using the Creality Slicer V.4.8 program and then print it by using an Ender 3 v2 3D printer with beige and white-colored PLA plastic. Research results: Eight dog skull prototypes (4 beige color and 4 white color) were created using the Meshroom 2021 program, the Meshmixer program, the Creality Slicer V.4.8 program, and the Ender 3 v2 3D printer. The printing time and total weight were as follows. Each dog skull took 23 hours 51 minutes in printing, total weight 233 grams. A lower jaw took 7 hours 43 minutes in printing, total weight 55 grams. A dog skull cut in right half took 17 hours and 59 minutes in printing, total weight 123 grams, and the left half took 17 hours and 3 minutes in printing, total weight 120 grams. In conclusion, it was found that the 3D model files created from 3D printers were realistic in terms of structure and appearance. But there were some details of the workpiece that cannot be made, such as skull cracks, structures within the nasal cavity, elements within the skull fossa, and various holes on the surface of the skull, because the limitations of using ready-made programs in the 3D modeling process. In terms of quantitative research results, all 4 pieces will be used as quality anatomy teaching materials. It is strong, durable, lightweight, and convenient to move and store.

**Keywords :** dog skull, animal organs, 3D model, 3D printer

## 1. บทนำ

การเรียนการสอนกายวิภาคศาสตร์ทางสัตวแพทย์มีความจำเป็นที่ต้องใช้อวัยวะจริงของสัตว์แต่ละชนิดเพื่อศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญ โดยวิธีแบบดั้งเดิมการเก็บรักษาตัวอย่างสัตว์มักใช้วิธีการดองด้วยน้ำยาฟอร์มาลิน และอาจมีอันตรายต่อผู้ใช้งาน ส่วนซากหรือตัวอย่างสัตว์ชนิดอื่นอาจจะผ่านขั้นตอนทางกายวิภาคต่าง ๆ เพื่อให้รักษาสภาพไว้ได้นานขึ้น ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การสตัฟฟ์สัตว์ การดองใส การต้มเพื่อต่อโครงกระดูกสัตว์ทั้งตัว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนที่เป็นหุ่นจำลอง โดยทำจากวัสดุต่าง ๆ เช่น เรซิน ซิลิโคน และยางพารา (Suprasert et al., 2015) ซึ่งเป็นวัสดุที่ผลิตได้ในประเทศไทย ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดค้นหาวิธีในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพื่อทดแทนการใช้ตัวอย่างจริงหรืออวัยวะจริงจากสัตว์ โดยงานวิจัยนี้ได้นำอวัยวะสัตว์ของจริงมาสร้างเป็นภาพจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D simulation) แล้วประมวลผลข้อมูลผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) สร้างเป็นชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกให้มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ ที่เสมือนจริง อวัยวะสัตว์จำลองที่ได้สามารถจับต้องได้ และช่วยลดการสัมผัสจากสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพตัวอย่างแบบดั้งเดิม ซึ่งโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ



1. พัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ที่ทำจากพลาสติกต้นแบบ
2. ทดแทนการใช้ตัวอย่างจริงจากสัตว์ และลดการสัมผัสสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

การนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่มาคิดวิเคราะห์และเริ่มต้นสร้างสรรค์นวัตกรรมขั้นใหม่ จะเป็นการพัฒนา นวัตกรรมให้สอดคล้องกับการเรียนรู้ของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (Office of Knowledge Management and Development, 2021) โดยแนวโน้มทางเทคโนโลยีการศึกษาสำคัญที่มีอิทธิพลในปี พ.ศ. 2563 (Fanchian, 2020) มีการนำเทคโนโลยี Augmented Reality (AR) มาผสมผสานระหว่างมุมมองโลกแห่งความเป็นจริงเข้ากับวัตถุเสมือนจริง ผ่านเครื่องมือสื่อสารต่าง ๆ ทำให้เกิดประสบการณ์การเรียนรู้ที่แปลกใหม่ ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนรู้สึกอยากเรียนรู้ และสามารถเข้าใจหัวข้อต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (AR) (Puangpaka and Wongbunmak, 2017) ได้นำไปใช้ทางด้านการแพทย์ ทำให้เพิ่มความสมจริงในการรักษาและให้นักศึกษาแพทย์ได้ใช้เครื่องมือแพทย์ ในการรักษาหรือผ่าตัดผู้ป่วยแบบไม่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วยจริง ทำให้การผ่าตัดของนักศึกษาแพทย์มีความกล้าและได้ศึกษา ขั้นตอนการผ่าเหมือนได้ทำการผ่าตัดจริง ซึ่งการสร้างวัตถุเสมือนจริงหรือการสร้างภาพแบบจำลอง 3 มิติ มีวิธีการสร้างภาพ โดยใช้เครื่องสแกน 3 มิติหลายรูปแบบ เพื่อแปลงข้อมูลทางดิจิทัลให้สามารถนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติหรือนำไปใช้ กับเทคโนโลยี AR ได้ สำหรับงานด้านการแพทย์จะมีการใช้เครื่อง CT Scan และเครื่อง MRI Scan เป็นเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติชนิดหนึ่ง (Neotech, 2021) ภาพถ่ายที่ได้จากการสแกนจาก MRI Scan หรือ CT Scan สามารถนำภาพร่างกาย มนุษย์ในลักษณะการหั่นเป็นแผ่นบาง (Slice Section) มาต่อกันเพื่อสร้างภาพแบบจำลอง 3 มิติ โดยภาพจากเครื่อง สแกนจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ DICOM หรือ ไฟล์นามสกุล .dcm โดยไฟล์ DICOM เป็นไฟล์ทางการแพทย์ ที่ได้จากระบบ จัดเก็บรูปภาพทางการแพทย์ผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ตามมาตรฐาน DICOM

การสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (Neotech, 2021) เรียกว่า โฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) เป็นการถ่ายภาพจากสถานที่จริงหรือวัตถุจริงจากมุมมองต่าง ๆ มาจัดเรียงเป็นลำดับของภาพ โดยรอบของวัตถุ จากนั้นนำภาพทั้งหมดที่ได้มาแปลงข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลของขนาด ตำแหน่ง พิกัด และอนุกรมรูปทรงของวัตถุ ในรูปแบบของกลุ่มจุด เรียกว่า พอยต์คลาวด์ (Point Cloud) เป็นข้อมูลเชิงเรขาคณิต ที่มีการระบุตำแหน่งของจุดในพิกัดแกน X, Y, Z ในรูปแบบ 3 มิติ เมื่อนำพอยต์คลาวด์มาลากเส้นเชื่อมต่อกันอย่างน้อย 3 จุด สร้างเป็นเส้นขอบและพื้นผิวตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุแสดงผลเป็นรูปร่าง 3 มิติ เรียกว่า เมชโมเดล (Mesh Model) มีนามสกุลของไฟล์ที่นิยมคือ .STL, .OBJ สามารถใส่สีเพิ่มเติมในรายละเอียดของพื้นผิวได้ โดยใช้ไฟล์รูปภาพ นามสกุลของไฟล์คือ .JPG, .PNG, .BMP มาจับคู่กับไฟล์ตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุเมชโมเดล (Mesh Model) ออกมา เป็นแบบจำลอง 3 มิติที่มีส่วนประกอบสีที่ผิวสัมผัสได้ เรียกว่า ผิวสัมผัสของตาข่าย (Texture Mesh)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในการพัฒนาระบบ สแกนวัตถุเพื่อการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูงสำหรับพื้นผิวแบบระนาบและไม่ระนาบ (Thiengchanya, 2020) โดยใช้วิธีการถ่ายภาพจากวัตถุจริงหลายมุมมองด้วยกล้องดิจิทัล DSLR เพื่อเก็บภาพความละเอียดสูงโดยมีขั้นตอน การปรับสีของภาพวัตถุให้ตรงกับสีจริงของวัตถุด้วยวิธีการสอบเทียบสี (Color Calibration) จากแผ่นภูมิทดสอบสี 24 สี (Color Checker) โดยขั้นตอนการถ่ายภาพวัตถุจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งใช้กล้องสตูดิโอที่มีการติดตั้ง แลบลอดไฟแอลอีดีสีขาวในการถ่ายภาพวัตถุแบบ 360 องศาเพื่อนำไปประมวลผลภาพด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติและภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุ ส่วนที่สองใช้เครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ สำหรับสแกนพื้นผิวในการถ่ายภาพวัตถุในมุมมองเดียวกันแต่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ 8 ดวงในทิศทาง ที่แตกต่างกัน เพื่อนำภาพไปประมวลผลภาพด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric Stereo) สำหรับสร้างภาพ แผนที่สีพื้น ภาพแผนที่แนวฉาก และภาพแผนที่ความสูง สุดท้ายนำภาพแผนที่ต่าง ๆ ไปใส่ให้แก่แบบจำลอง 3 มิติ แล้วทำการเรนเดอร์ภาพแบบจำลอง 3 มิติ ส่งผลให้แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นมีความนูนสูงหรือนูนต่ำ รอยขรุขระ ร่องลึก ลวดลายต่าง ๆ และสีพื้นผิวที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวมีความสอดคล้องกับวัตถุจริง

จากเอกสารที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย โดยเลือกวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบใช้งานฟรีในการวิเคราะห์ภาพถ่าย การปรับปรุงขนาดและปรับแต่งรูปร่างให้เป็นไฟล์ตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุเมชโมเดล (Mesh Model) แล้วนำมาทำการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ สร้างเป็นชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกให้มีรูปร่างลักษณะที่เสมือนจริง ซึ่งกะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติกจะเป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์ในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา

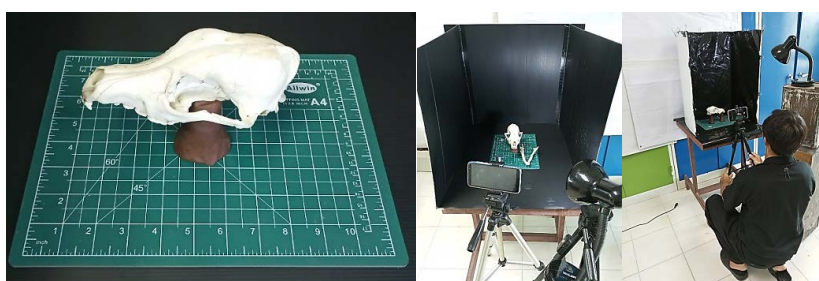
## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เป็นชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกที่มีรูปร่างลักษณะเสมือนจริง โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้ หัวกะโหลกของสุนัข 3 ตัวอย่าง (เดิมกำหนดเป้าหมาย 3 ชิ้นงานตามสัญญาทุนวิจัย) แต่ผู้วิจัยปรับเป้าหมายในการสร้างชิ้นงานเป็น 4 ตัวอย่าง 8 ชิ้นงาน ได้แก่ กะโหลกสุนัขเต็ม, กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา, กะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย และขากรรไกรล่าง โดยใช้พลาสติก PLA สีขาวและสีเนื้อ, ขาตั้งกล้องโทรศัพท์มือถือ, โคมไฟ, แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำ, โทรศัพท์มือถือที่มิกกล้องถ่ายภาพ, คอมพิวเตอร์ Intel Core i7 RAM 8 GB มีการ์ดจอของ Nvidia กราฟิกแบบ CUDA  $\geq 3.0$ , โปรแกรมแปลงภาพถ่ายเป็นภาพ 3 มิติ Meshroom 2021.1.0, โปรแกรมตัดต่อภาพแบบ 3 มิติ Autodesk Meshmixer Ver. 3.5.474, เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Ender 3 v2 และ เส้นพลาสติก PLA สีขาว, สีเนื้อ และอุปกรณ์ประกอบอื่น

### 2.2 ขั้นตอนการถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ

เตรียมนำอวัยวะสัตว์เฉพาะส่วนหัวกะโหลกของสุนัขมาเป็นต้นแบบ จัดสถานที่ถ่ายภาพโดยวางโต๊ะขนาดเล็ก ใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำเป็นฉาก จำนวน 4 แผ่น ตั้งในห้องที่ไม่มีแสงจากภายนอกมารบกวนการถ่ายภาพมากเกินไป เตรียมโคมไฟและขาตั้งกล้องที่สามารถปรับความสูงและจับยึดกับโทรศัพท์มือถือได้ดี ใช้โทรศัพท์มือถือในการถ่ายภาพ ชิ้นงานตั้งค่าที่อัตราส่วนภาพ 4:3 ขนาดของไฟล์ JPEG ความละเอียดภาพ 4032 x 3024 พิกเซล (12.2 MP) เนื่องจากเป็นขนาดภาพที่เหมาะสมกับโปรแกรม Meshroom 2021.1.0 ติดตั้งกะโหลกของสุนัขบนดินน้ำมันที่ปั้นเป็นฐาน วางฐานดินน้ำมันลงบนแผ่นยางรองตัดกระดาษเพื่อเป็นฐานหมุนได้และมีเส้นสีขาวสำหรับระบุตำแหน่งอ้างอิงของภาพ นำแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดมาพับให้เป็น 3 ส่วน และวางอีก 1 แผ่นเป็นพื้นของฉาก ติดตั้งโทรศัพท์มือถือบนขาตั้งกล้องและปรับระดับความสูงของขาตั้งกล้อง แบ่งระดับความสูงของกล้องถ่ายภาพออกเป็น 2 ระดับ โดยระดับที่ 1 กำหนดให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน และระดับที่ 2 สูงจากชิ้นงาน ทำมุมประมาณ 30 องศา ปรับระยะห่างชิ้นงานกับกล้องถ่ายภาพประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร ขนาดของไฟที่ใช้ประมาณ 2X (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การจัดสถานที่ถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ

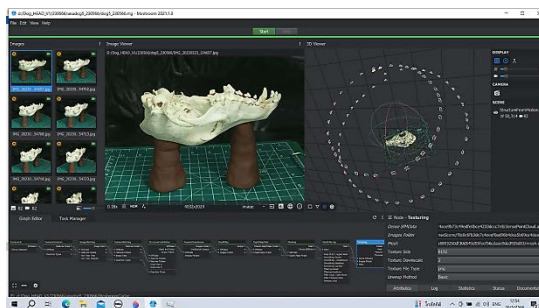
ตรวจสอบแสงที่ได้จากกล้องถ่ายภาพและทดลองการถ่ายภาพ เริ่มถ่ายภาพจากด้านที่มีชิ้นงานยาวที่สุดหรือมองด้านข้างก่อน เมื่อกดบันทึกภาพแล้วให้หมุนชิ้นงานทิศทางใดก็ได้ทิศทางเดียวทำมุมในแนวระนาบทุก 10 องศา กดบันทึกภาพในการหมุนในทุก 10 องศาต่อ 1 ครั้ง (ใช้มือหมุนแผ่นยางรองชิ้นงานที่มีเส้นวัดระยะห่างกันครึ่งละประมาณ

2-3 เซนติเมตร) จนกว่าจะบันทึกภาพได้รอบชิ้นงาน ได้ภาพประมาณ 36 ภาพ จากนั้นปรับระดับความสูงของขาตั้งกล้องในระดับที่ 2 สูงจากชิ้นงานทำมุมในแนวตั้งประมาณ 30 องศา เริ่มถ่ายภาพในทุก 10 องศาต่อ 1 ครั้ง จะได้ภาพอีกประมาณ 36 ภาพ รวมทั้งหมดไม่น้อยกว่า 72 ภาพ เก็บภาพในโฟลเดอร์ชิ้นงานละ 1 โฟลเดอร์

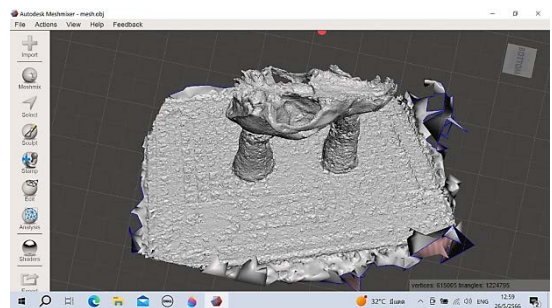
### 2.3 การใช้งานโปรแกรม Meshroom Version 2021.1.0

การใช้งานโปรแกรมนี้เพื่อแปลงภาพที่สำรวจไว้นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยเปิดโปรแกรม Meshroom.exe มีหน้าต่างที่ควรทราบ 4 ส่วนคือ หน้าต่าง Images, Images View, 3D Viewer และ Graph Editor และ Task Manager จากนั้นเปิด File Explorer เลือกโฟลเดอร์เก็บไฟล์ภาพที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ คลิกเมาส์ค้างที่โฟลเดอร์ ลากและวางในหน้าต่าง Images โปรแกรมจะดึงไฟล์ภาพทั้งหมด แล้วปรากฏภาพทั้งหมดที่หน้าต่าง Images และที่หน้าต่าง Images Viewer

เริ่มต้นทำการวิเคราะห์โดยคลิกที่ปุ่ม Start สีเขียว จะปรากฏหน้าต่างเมนูขึ้นมาใหม่ กดปุ่ม Save จะปรากฏหน้าต่างให้บันทึกไฟล์ ควรสร้างโฟลเดอร์ใหม่และตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการลงในโฟลเดอร์นั้น กดปุ่ม Save โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลชื่อไฟล์ที่กำหนดไว้พร้อมนามสกุล .mg กดปุ่ม Start อีกครั้งเพื่อเริ่มต้นกระบวนการวิเคราะห์ภาพ แล้วให้รอจนกว่าโปรแกรมจะดำเนินการเสร็จขั้นตอน ซึ่งอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2 ชั่วโมง ถึง 12 ชั่วโมง จึงจะดำเนินการเสร็จ จะปรากฏภาพกลุ่มจุด (พอยต์คลาวด์) แบบ 3 มิติที่หน้าต่าง 3D Viewer แสดงภาพเป็นกลุ่มจุดแบบมีสี สามารถปรับขนาดของกลุ่มจุดและการแสดงผลของมุมมองกล้องถ่ายภาพในทุกภาพที่ทำการวิเคราะห์ สามารถตรวจสอบความถูกต้องของมุมมองกล้องถ่ายภาพตรงกับข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติได้ (ดังภาพที่ 2) เมื่อเปิดโฟลเดอร์ที่บันทึกไฟล์นามสกุล .mg จะปรากฏโฟลเดอร์ชื่อ MeshroomCache คลิก 2 ครั้ง จะพบโฟลเดอร์ที่เก็บข้อมูลสำหรับไฟล์งานแบบจำลอง 3 มิติ ในงานวิจัยนี้ข้อมูลอยู่ในโฟลเดอร์ชื่อ Meshing ให้คลิกเข้าไปอีกครั้งเพื่อเลือกเปิดไฟล์ที่ชื่อว่า Mesh.OBJ เป็นไฟล์ผลลัพธ์ที่อยู่ในรูปแบบของ Mesh Model หรือ 3D Mesh สามารถนำไฟล์นี้ไปปรับอัตราส่วนตัดต่อชิ้นงานและปรับแต่งพื้นผิวของแบบจำลอง 3 มิติได้ตามต้องการ (ดังภาพที่ 3)



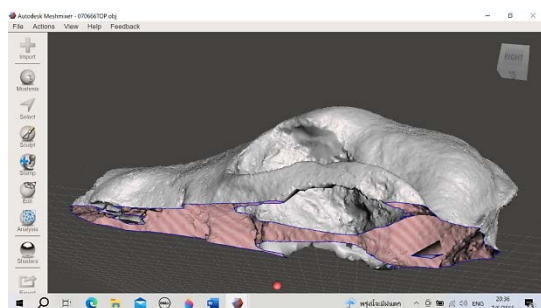
ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ภาพ 3 มิติ  
และมุมมองกล้องถ่ายภาพ ในโปรแกรม  
Meshroom Version 2021.1.0



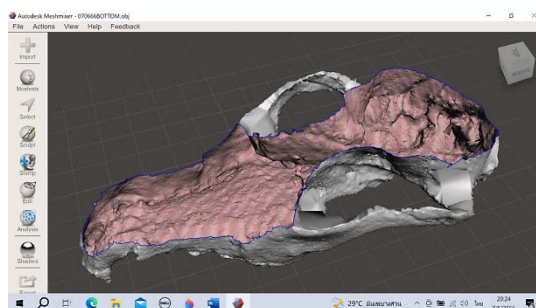
ภาพที่ 3 การใช้โปรแกรม Meshmixer  
เปิดไฟล์ที่ชื่อว่า Mesh.OBJ

### 2.4 การใช้โปรแกรม Meshmixer ในการปรับแต่งแบบจำลอง 3 มิติ

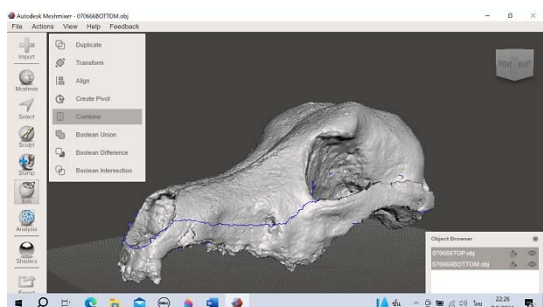
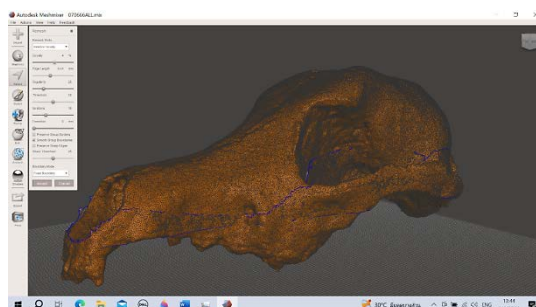
โครงสร้างของหัวกะโหลกสุนัข จำเป็นต้องแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านบนและด้านล่าง แล้วนำแบบจำลองที่ได้มาประกอบกันเพื่อให้ส่วนประกอบของแบบจำลอง 3 มิติ ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยนำแบบจำลองมาปรับตำแหน่งชิ้นงานให้ถูกต้อง ตัดชิ้นงานในส่วนที่ไม่ได้ใช้งานออกให้เหลือส่วนที่ใช้งานจริง ดำเนินการปรับพื้นผิว นำชิ้นงานทั้งส่วนบนและส่วนล่างมาแก้ไขโดยการตัดส่วนของพื้นที่ทับซ้อนกันด้วยเครื่องมือของโปรแกรม (ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5) แล้วนำชิ้นงานทั้งส่วนบนและส่วนล่างมาประกอบกัน รวมไฟล์ทั้งสองเป็นชิ้นงานเดียวกัน ปรับขนาดของพื้นผิวตาข่ายให้เล็กลงและปรับพื้นผิวของชิ้นงานให้สวยงาม (ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7)



ภาพที่ 4 ตัดพื้นผิวตาข่ายด้านบน



ภาพที่ 5 ตัดพื้นผิวตาข่ายด้านล่าง

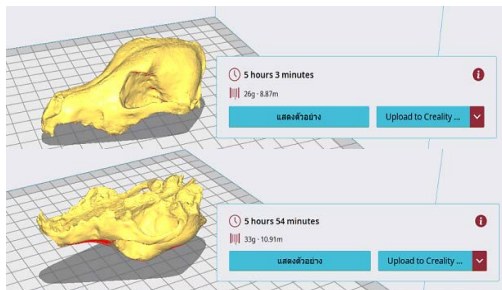
ภาพที่ 6 รวมไฟล์ทั้งสองเป็นชิ้นงานเดียวกัน  
ด้วยเครื่องมือ Edit > Combineภาพที่ 7 ปรับพื้นผิวตาข่ายให้มีขนาดเล็ก  
เหมาะสมทั้งชิ้นงาน

## 2.5 การพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

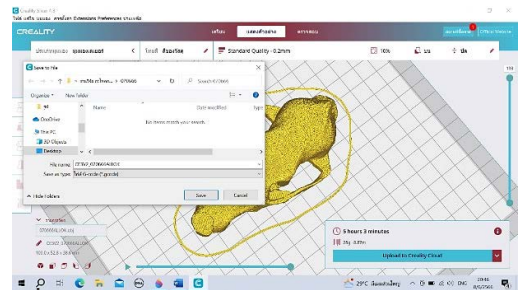
เมื่อได้ไฟล์แบบจำลอง 3 มิติ หัวกะโหลกสุนัขที่สมบูรณ์แล้ว นำไฟล์นามสกุล .OBJ มาดำเนินการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ยี่ห้อ Creality รุ่น Ender 3 V2 เป็นเครื่องพิมพ์ที่ใช้งานง่าย ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Creality Slicer V.4.8 ที่สามารถเปิดไฟล์นามสกุล .OBJ ได้ การพิมพ์ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถแปลงไฟล์เป็นไฟล์นามสกุล .Gcode บันทึกข้อมูลลงใน Memory Card แล้วนำไปใช้งานได้ เมื่อเปิดโปรแกรม Creality Slicer V.4.8 เปิดไฟล์นามสกุล .OBJ ที่ต้องการพิมพ์ ปรากฏภาพชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ในกรอบการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ สามารถหมุนชิ้นงานปรับตำแหน่งการวางบนฐานพิมพ์และปรับขนาดได้ตามต้องการ ตั้งค่าคุณสมบัติของเครื่องพิมพ์ตามการกำหนดค่ามาจากโรงงาน โดยใช้พลาสติกชนิด PLA-F (คือการผสมผสานระหว่าง PLA และ ABS เพื่อให้ได้คุณสมบัติของพลาสติกที่ยืดหยุ่นของสองชนิดนี้มารวมกันในเส้นเดียว นิยมใช้ในอุตสาหกรรม) ความสูงของเลเยอร์ที่มาตรฐาน 0.2 มิลลิเมตร, อุณหภูมิที่หัวพิมพ์ 210 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิที่ฐานพิมพ์ 60 องศาเซลเซียส, เปิดระบบทำความเย็น, เปิดระบบตัวรองรับ และเลือกส่วนอื่นตามค่าเริ่มต้นของโปรแกรม สำหรับโครงสร้างความหนาแน่นของเส้นพลาสติกภายในชิ้นงานเลือกที่ 80 % ระยะห่างของเส้นที่ 0.5 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของเส้นพลาสติกในส่วนของชั้นรองรับเลือกที่ 20 % ระยะห่างของเส้นที่ 0.8 มิลลิเมตร โดยงานพิมพ์ตรวจสอบที่ขนาด 100 มิลลิเมตรและชิ้นงานจริงที่ขนาด 160 มิลลิเมตร (เนื่องจากการพิมพ์ทดสอบที่ความยาว 100 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการพิมพ์น้อยกว่าขนาดความยาว 160 มิลลิเมตร) ดำเนินการวิเคราะห์รูปแบบการพิมพ์ (ดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9) บันทึกไฟล์ในรูปแบบการส่งไฟล์ออกที่เมนู ไฟล์ > ส่งออก ชื่อไฟล์จะถูกตั้งไว้แบบอัตโนมัติ ให้เลือกนามสกุลไฟล์ .Gcode บันทึกไฟล์ลงใน Memory Card จากคอมพิวเตอร์ แล้วย้าย Memory Card ไปเสียบที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทำความสะอาดฐานพิมพ์โดยใช้แอลกอฮอล์ ขูดกระดาษชำระ เช็ดบริเวณฐานพิมพ์กระจกให้สะอาด จากนั้นใช้น้ำยาจัดแต่งทรงผม พ่นลงไปที่ฐานพิมพ์ในปริมาณที่สัมผัสแล้วมีความเหนียว เพื่อให้เส้นพลาสติกสามารถจับยึดกับฐานพิมพ์ได้ดี เปิดเครื่องพิมพ์ เลือกไฟล์ที่ต้องการพิมพ์ และสั่งให้เริ่มการพิมพ์แบบจำลอง 3 มิติ ให้พิจารณาเส้นพลาสติกในขณะพิมพ์ต้องมีการจัดเรียงกันอย่างเรียบร้อย



ไม่หลุดออกจากฐานพิมพ์ ตรวจสอบการพิมพ์ประมาณ 10 นาที ถ้าการพิมพ์ดำเนินไปได้เป็นปกติ ก็สามารถปล่อยให้เครื่องพิมพ์ทำงานจนจบกระบวนการ (ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11)



ภาพที่ 8 การวิเคราะห์เวลาในการพิมพ์จากชิ้นงาน



ภาพที่ 9 บันทึกไฟล์แบบส่งไฟล์ออกไฟล์นามสกุล .Gcode



ภาพที่ 10 การพิมพ์เมื่อพิมพ์ชิ้นงานเสร็จแล้ว



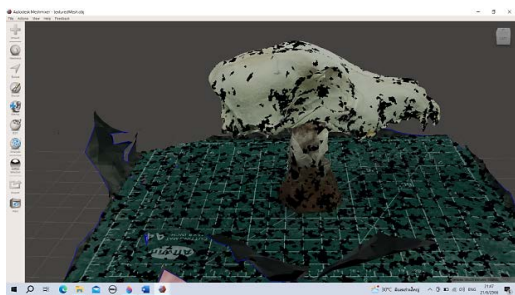
ภาพที่ 11 การถอดชิ้นงานออกจากฐานพิมพ์ได้ชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ

### 3. ผลการศึกษา

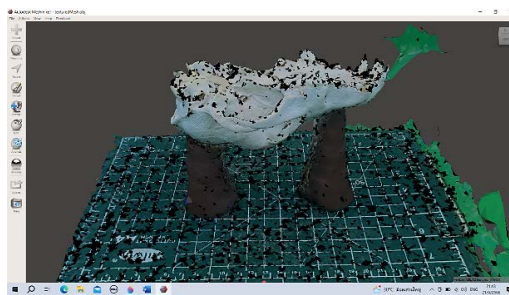
ในขั้นตอนการสร้างงานต้นแบบ ผู้วิจัยกำหนดเป้าหมายในการสร้างชิ้นงานทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ หัวกะโหลกเต็ม 1 ชิ้นงาน, ขากรรไกรล่าง 1 ชิ้นงาน, หัวกะโหลกผ่าซีกข้างขวา 1 ชิ้นงาน และหัวกะโหลกผ่าซีกข้างซ้าย 1 ชิ้นงาน สร้างจากพลาสติก ชนิด PLA จำนวน 2 สี คือสีเนื้อและสีขาว ขนาดความยาว 160 มิลลิเมตร การสร้างชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Meshroom 2021 ได้ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ ในรูปแบบของไฟล์ตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุเมชโมเดล (Mesh Model) และไฟล์ผิวสัมผัสของตาข่าย (Texture Mesh) ที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง จากนั้นใช้โปรแกรม Meshmixer ในการตัดต่อและปรับแต่งภาพแบบจำลอง 3 มิติ แล้วใช้โปรแกรม Creality Slicer V.4.8 ในการปรับตำแหน่งการวางบนฐานพิมพ์และการปรับขนาดความยาว 160 มิลลิเมตร ดำเนินการพิมพ์แล้วได้ชิ้นงานตามเป้าหมายดังนี้

#### 3.1 ผลการสร้างชิ้นงานหัวกะโหลกเต็ม 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 12, 13, 14 และ 15)

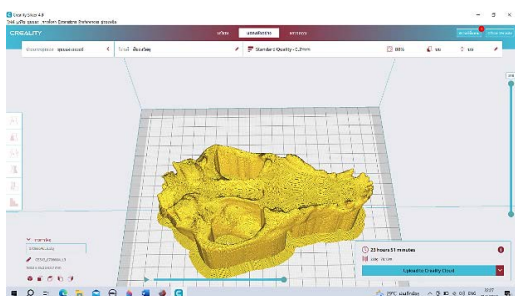
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 23 ชั่วโมง 51 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 78.13 เมตร น้ำหนักรวม 233 กรัม



ภาพที่ 12 ผลการวิเคราะห์หัวกะโหลก  
เต็มด้านบน



ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์หัวกะโหลก  
เต็มด้านล่าง



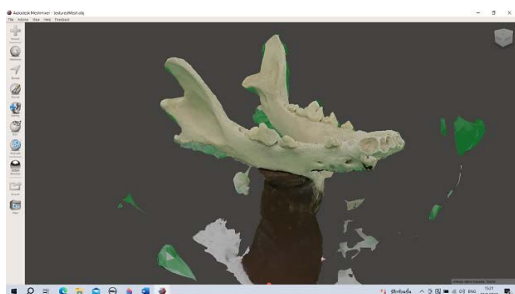
ภาพที่ 14 เส้นทางการพิมพ์หัวกะโหลกเต็ม



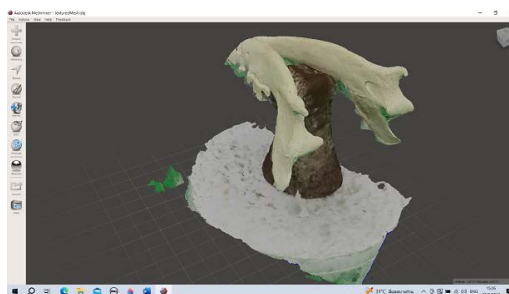
ภาพที่ 15 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาว  
เปรียบเทียบกับของจริง

### 3.2 ผลการสร้างชิ้นงานขากรรไกรล่าง 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 16, 17, 18 และ 19)

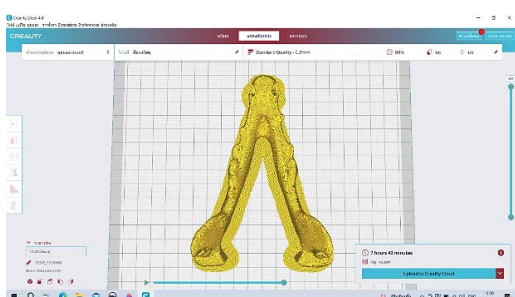
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 43 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 18.3 เมตร น้ำหนักรวม 55 กรัม



ภาพที่ 16 ผลการวิเคราะห์ขากรรไกรล่าง  
ทางด้านบน



ภาพที่ 17 ผลการวิเคราะห์ขากรรไกรล่าง  
ทางด้านล่าง



ภาพที่ 18 เส้นทางการพิมพ์ขากรรไกรล่าง

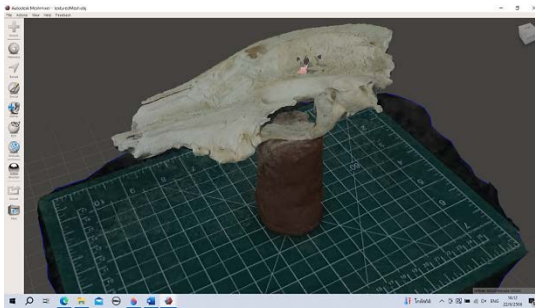


ภาพที่ 19 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาว  
เปรียบเทียบกับของจริง

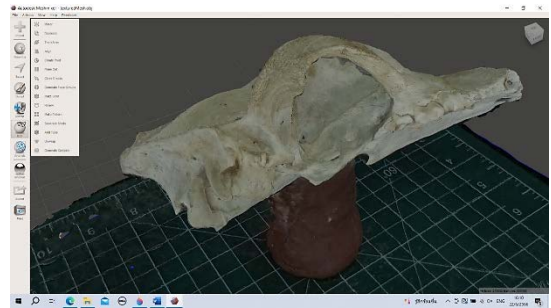


### 3.3 ผลการสร้างชิ้นงานห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวา 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 20, 21, 22 และ 23)

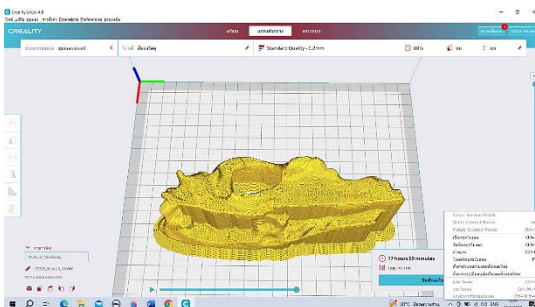
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 17 ชั่วโมง 59 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 41.11 เมตร น้ำหนักรวม 123 กรัม



ภาพที่ 20 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวาด้านใน



ภาพที่ 21 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวาด้านนอก



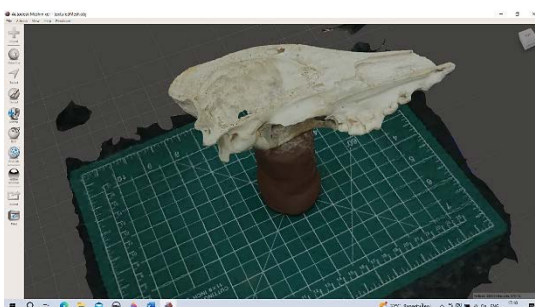
ภาพที่ 22 เส้นทางการพิมพ์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวา



ภาพที่ 23 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาวเปรียบเทียบกับของจริง

### 3.4 ผลการสร้างชิ้นงานห้วกะโหลกผ่าซีกข้างซ้าย 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 24, 25, 26 และ 27)

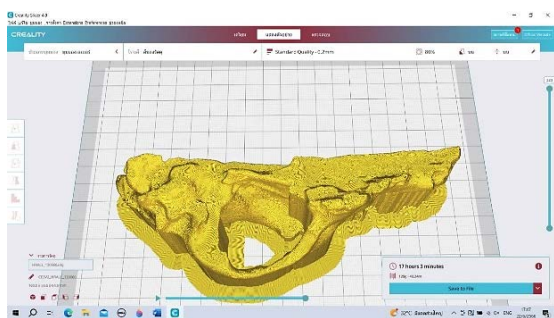
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 17 ชั่วโมง 3 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 40.24 เมตร น้ำหนักรวม 120 กรัม



ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างซ้ายด้านใน



ภาพที่ 25 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างซ้ายด้านนอก



ภาพที่ 26 เส้นทางการพิมพ์หัวกะโหลกผ่าซีกข้างซ้าย



ภาพที่ 27 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาวเปรียบเทียบกับของจริง

## อภิปรายผล

1. การบันทึกภาพจากชิ้นงานจริง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Meshroom 2021 ควรมีการเก็บบันทึกภาพจากชิ้นงานไม่น้อยกว่า 40 ภาพ แต่ไม่ควรเกิน 100 ภาพ ในมุมมองต่าง ๆ โดยเน้นมุมมองที่ต้องการความละเอียดสูงรอบชิ้นงาน ซึ่งรวมถึงมุมมองของกล้องในแนวระนาบ และมุมมองของกล้องในมุมสูง เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณจุดของภาพและแปลงพิกัดออกมาเป็นขนาดของชิ้นงานได้ถูกต้องที่สุด ดังนั้น การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Meshroom ของชิ้นงาน ได้แก่ กะโหลกสุนัข, ขากรรไกรล่าง, กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา, กะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย จะใช้เวลาวิเคราะห์แตกต่างกันตามลักษณะรูปร่างและพื้นผิวสัมผัสของชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลา 2 - 12 ชั่วโมง

2. แสงที่ใช้ในการบันทึกภาพไม่ควรสว่างมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้ขาดรายละเอียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน จึงควรปรับตั้งค่าความไวแสง (ค่า ISO) อยู่ในช่วง 100 - 200 จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีคุณภาพสูงต่อการแสดงผลแบบ Textured Mesh

3. การตัดต่อและปรับแต่งภาพแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Meshmixer ในขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน ควรปรับขนาดของชิ้นงานให้เท่ากันก่อนการประกอบชิ้นงานด้านบนและด้านล่าง ซึ่งจะสังเกตเห็นผิวของชิ้นงานเกิดความทับซ้อนกัน ควรให้พื้นผิวของชิ้นงานที่สมบูรณ์อยู่ที่ผิวด้านนอกเสมอ จะทำให้ชิ้นงานมีรายละเอียดครบถ้วน

4. การประกอบชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Meshmixer ควรรวมชิ้นงานให้เป็นไฟล์ชิ้นงานเดียวกัน และตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้เมนู Analysis > Inspector ทำการแก้ไขในรายละเอียดให้ครบถ้วนก่อนการสร้างเป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน (Make Solid) ที่เมนู Edit > Make Solid

5. การปรับแต่งชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Meshmixer สามารถปรับแต่งชิ้นงานได้แบบเบื้องต้นตามความสามารถของโปรแกรม แต่ถ้าต้องการปรับแต่งชิ้นงานที่มีความเหมือนจริงแบบครบถ้วน มีความจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้และมีค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธิ์ของโปรแกรม

6. การพิมพ์ชิ้นงานที่มีความละเอียดสูง จะทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความละเอียดเรียบเนียนมากขึ้น น้ำหนักมากขึ้น และเพิ่มระยะเวลาในการพิมพ์ชิ้นงานมากขึ้น

7. การพิมพ์ชิ้นงานในส่วนของพื้นผิวที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นพลาสติกที่ซ้อนทับกันเป็นชั้นไปจนถึงด้านบนสุด

8. รายละเอียดของชิ้นงานที่ไม่สามารถทำได้ เช่น รอยร้าวของหัวกะโหลก, โครงสร้างภายในโพรงจมูก, องค์ประกอบภายในแอ่งและรูต่างๆ ของกะโหลกศีรษะ เนื่องจากวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เป็นการสร้างภาพ 3 มิติจากการมองภาพวัตถุจากภายนอกเท่านั้น

9. แบบจำลอง 3 มิติ ในด้านของมิติความ กว้าง x ยาว x สูง ชิ้นงานทุกชิ้นมีขนาดเทียบเท่ากันเมื่อเทียบกับตัวอย่างจริง

10. กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก ที่พัฒนาเป็นสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ความเหมาะสมและเสมือนจริง ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นโครงสร้างภายใน และช่องว่างบนพื้นผิวภายนอก

11. ชิ้นงานที่ทำจากวัสดุ PLA นี้มีความคงทน แข็งแรง และใช้ได้นาน ซึ่งจะมีความคงทน และแข็งแรงมากกว่านี้ ถ้าใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3มิติ และเครื่องพิมพ์ 3มิติ ที่มีมาตรฐานสูงกว่า

#### 4. สรุป

การศึกษาวิจัยเรื่อง กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก จะใช้ตัวอย่างจริง 4 ตัวอย่าง ขึ้นรูปเป็นแบบจำลองได้ 4 ตัวอย่าง (8 ชิ้นงาน) มีรูปร่างลักษณะเสมือนจริง ซึ่งเป็นผลลัพธ์วิจัยเชิงปริมาณ สามารถใช้ประโยชน์เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย การเก็บรักษา และทดแทนการใช้ตัวอย่างจริงจากสัตว์ได้ในอนาคต โดยใช้กระบวนการสร้างภาพ 3 มิติ มี 4 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ, การใช้งานโปรแกรม Meshroom Version 2021.1.0, การใช้โปรแกรม Meshmixer ในการปรับแต่งแบบจำลอง 3 มิติ และการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งแบบจำลอง 3 มิติ ในด้านของมิติความ กว้าง x ยาว x สูง ชิ้นงานทุกชิ้นมีขนาดเทียบเท่ากันเมื่อเทียบกับตัวอย่างจริง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ให้มีความหลากหลาย โดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติเข้ามาช่วยในการสร้างสื่อการเรียนการสอน ซึ่งผู้วิจัยพบว่า มีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรม เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ และการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ดังที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในวิจารณ์ผล และการวิจัยลำดับต่อไป ถ้าต้องการปรับแต่งชิ้นงานที่มีความเสมือนจริงแบบครบถ้วน จำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธิ์ของโปรแกรมเพื่อใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยให้ได้ชิ้นงานที่มีพื้นผิวเรียบเนียน สวยงาม และมีลักษณะที่เสมือนจริงมากกว่าการสร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วยพลาสติกชนิด PLA ส่วนความคุ้มค่าของวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานต้นแบบราคา 7,000 - 8,000 บาทต่อชิ้นงาน, เวลาที่ใช้ในการสร้างโมเดล 3D กรณีเป็นกะโหลกเต็มใช้เวลา 1 วัน หากเป็นชิ้นส่วนจะใช้เวลาน้อยลง และความแข็งแรงของชิ้นงานสามารถใช้ทดแทนตัวอย่างจริงได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะสัตวแพทยศาสตร์ที่ให้ทุนวิจัยสนับสนุนนักวิจัย จากกองทุนคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปี 2565 ในการศึกษาเรื่อง กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก และใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนทดแทนกะโหลกสุนัขจริงได้ในอนาคต ซึ่งเป็นผลงานในด้านสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์เชิงนวัตกรรม และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เล็งเห็นความสำคัญในการพิจารณาทุนวิจัย รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลและคำแนะนำพร้อมอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย จนงานวิจัยสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- Fanchian. N. (2020). **Key educational technology trends influencing 2020**. Retrieved from <https://www.truelookpanya.com/education/content/79314>. (in Thai)
- Neotech. (2021). **What is 3D Scanner? How many types are there? (Updated 2021)**. Retrieved from <https://www.print3dd.com/what-is-3d-scanner/>. (in Thai)
- Office of Knowledge Management and Development (2021). **Necessary skills in the 21<sup>st</sup> century**. Retrieved from <https://www.okmd.or.th/okmd-opportunity/new-gen/262/>. (in Thai)
- Puangpaka, A. and Wongbunmak, S. (2017). Virtual technology in library work. **Pikul Journal**, 15(1): page numbers 1-18. Kamphaeng Phet: JP Print Ordinary Partnership. (in Thai)

- Suprasert, A., Liamsiricharoen, M., Kunchaenak, S. and Kobsanthia, K. (2015). **Innovative agriculture Collection of research innovations on the 72nd anniversary of Kasetsart University.** Rubber model, teaching aids. (Pages 129-130). Kasetsart University. (in Thai)
- Thiengchanya, C. (2020). **Development of a scanning object system for storing highly detailed 3D texture data for planar and non-plane surfaces.** Master of Science (Computer Science and Information Systems) Faculty of Applied Statistics, National Institute of Development Administration, [On-line]. Available: <https://repository.nida.ac.th/items/4e483005-b3ef-49d0-92ca-02afefc06f8e>. (in Thai)

(Received: 9/Aug/2023, Revised: 24/Dec/2023, Accepted: 25/Dec/2022)

## กลยุทธ์การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและการเติบโตอย่างยั่งยืนของ รถโดยสารสาธารณะในเชียงราย

### Enhancing Competitiveness and Sustainable Growth Strategies of Chiang Rai's Public Bus

หฤทัยรัตน์ จันตะคาด<sup>1\*</sup> ชมพูนุท พ่วงทรัพย์สิน<sup>2</sup> และ กาญจนวรรณ วินิจพิทยากุล<sup>2</sup>

Harutairat Jantakard<sup>1\*</sup>, Chomphunut Phuangsubsin<sup>2</sup>

and Kanjanawan Vinitpittayakul<sup>2</sup>

<sup>1</sup> หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai

<sup>2</sup> สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

\*E-mail: harutairat@hotmail.com Tel. 063 412 2894

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อผลักดันการพัฒนาระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย โดยศึกษาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนา และศึกษาความพึงพอใจของผู้โดยสาร เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุง และพัฒนาระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้โดยสาร ประกอบด้วย 8 ปัจจัย ได้แก่ การบริการ บุคลากร ยานพาหนะ ความปลอดภัย อาคารสถานที่ ค่าโดยสาร ความน่าเชื่อถือ และการบริการพิเศษ จากนั้นปัจจัยดังกล่าวจะถูกวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทีละคู่ (Pairwise Comparison) พบว่า ปัจจัยด้านการบริการ ด้านยานพาหนะ และด้านความปลอดภัย เป็น 3 ปัจจัยหลัก ในการปรับปรุงและพัฒนารถโดยสารสาธารณะ เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) สูง แต่ความพึงพอใจของผู้โดยสารต่ำ การกำหนดแนวทางการปรับปรุง ใช้วิธีการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม และศักยภาพ (SWOT Analysis) นำไปสู่การวิเคราะห์กลยุทธ์ (TOWS Matrix) เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนและเกิดประโยชน์สูงสุด

**คำสำคัญ :** ความพึงพอใจของผู้โดยสาร การปรับปรุงและพัฒนา รถโดยสารประจำทางสาธารณะ

#### Abstract

The objective of this research was to encourage public transit bus in the context of the improvement and development guidelines in Chiang Rai public transit bus. It was conducted by studying key factors that affect development and passenger satisfaction to suggest ways to improve the public transportation system of Chiang Rai Province. Factors affecting passenger decision making consisted of 8 factors: service, personnel, vehicle, security, bus terminal, fare, reliability, and special service. Such factors were analyzed to prioritize by three experts using the Pairwise comparison method. It was concluded that service, vehicle, and security were three main factors for improving and developing of the public transit bus, because these factors have high eigenvalue but low passenger satisfaction. Setting improvement policies were conducted by analyzing the environment and potential (SWOT Analysis) leading to analyze strategy (TOWS Matrix) to achieve sustainable development and maximum benefit.



**Keywords :** passenger satisfaction, the improvement and development, public transit bus

## 1. บทนำ

รถโดยสารประจำทาง หรือที่นิยมเรียกกันว่า รถเมล์ เป็นระบบขนส่งมวลชนระบบหนึ่งที่ทำให้บริการบนถนน โดยมีลักษณะเป็นรถขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถบรรทุกผู้โดยสารได้เป็นจำนวนมาก การกำหนดเส้นทางส่วนใหญ่จะเรียกชื่อเส้นทางเป็นตัวเลข เช่น สาย 1 สาย 2 และมีการเก็บค่าโดยสารด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เช่น อัตราเดียวตลอดเส้นทาง หรืออัตราค่าโดยสารแปรผันตามระยะทาง ในปัจจุบันผู้ประกอบการรถโดยสารประจำทางเอกชนไม่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากภาครัฐ ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องแบกรับภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้นทั้งจากน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราค่าแรงงาน ดังนั้น ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องควบคุมและบริหารจัดการต้นทุนให้สามารถแข่งขันได้ (Yitthanichkul, 2019) ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพการให้บริการและอัตราค่าโดยสารที่ผู้โดยสารต้องแบกรับ เช่น การปรับเพิ่มอัตราค่าโดยสาร การปรับลดเส้นทางให้บริการ ที่ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสาร นำมาซึ่งการเลือกใช้รูปแบบการเดินทางส่วนบุคคล เช่น รถจักรยานยนต์ และรถยนต์ เพิ่มขึ้น แต่ไม่ใช่ผู้โดยสารทุกคนที่มีความพร้อมในการเลือกใช้รูปแบบการเดินทางส่วนบุคคลนี้

ระบบการขนส่งผู้โดยสารภายในจังหวัดถือเป็นระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะในจังหวัดเชียงรายที่ถือเป็นเมืองท่องเที่ยวอันดับต้น ๆ ของภาคเหนือตอนบน รองจากจังหวัดเชียงใหม่ (Ministry of Tourism & Sports, 2022) แต่จังหวัดเชียงรายยังไม่มีระบบขนส่งสาธารณะที่เชื่อมต่อการเดินทางให้เป็นโครงข่ายเดียวกัน ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งจังหวัด ตลอดจนเชื่อมต่อกับรูปแบบการเดินทางหลัก เช่น เครื่องบิน และรถไฟ ประเด็นดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งต้องอาศัยรูปแบบการเดินทางส่วนบุคคลเป็นหลัก รวมถึงอาจสูญเสียโอกาสและรายได้ของภาคการท่องเที่ยว เนื่องจากนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะเป็นรูปแบบการเดินทางและมีแนวโน้มที่จะเดินทางเข้ามาในจังหวัดเชียงรายด้วยรูปแบบการเดินทางหลัก เช่น เครื่องบิน และรถไฟ (Wichitphongsa et al., 2018) จากข้างต้นจึงเห็นได้ว่า ระบบขนส่งสาธารณะในจังหวัดเชียงรายควรได้รับการปรับปรุงและพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งในส่วนของเส้นทางเดินรถ สมรรถนะของยานพาหนะที่ให้บริการ อัตราค่าโดยสาร ตลอดจนส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งเพื่อรองรับโครงข่ายการขนส่งทางราง เส้นทางต่อขยาย เด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ (Phanchai, 2021) ให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายคมนาคมอย่างเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังนี้ 1) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะ และ 3) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะ โดยขอบเขตของการศึกษาครอบคลุมพื้นที่การให้บริการระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงรายทั่วทั้งจังหวัด ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลลัพธ์จากการศึกษาจะสามารถสนับสนุนและผลักดันให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนาระบบขนส่งรถโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ตลอดจนถูกหยิบยกเป็นประเด็นสำคัญในการพัฒนาจังหวัดเชียงรายสู่การสัญจรอย่างยั่งยืน (Smart Mobility) ในอนาคตต่อไป

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะ

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาระบบขนส่งรถโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 21 บทความ สามารถสรุปเป็นปัจจัยหลักได้ 8 ปัจจัยหลัก ได้แก่ การบริการ บุคลากร ยานพาหนะ ความปลอดภัย อาคารสถานที่ ค่าโดยสาร ความน่าเชื่อถือ และการบริการพิเศษ ดังแสดงในตารางที่ 1 และแต่ละปัจจัยหลักสามารถแบ่งเป็นปัจจัยรองได้ดังตารางที่ 2



## ตารางที่ 1 ปัจจัยหลักของการศึกษา

| บทความ | ปัจจัยหลัก |         |          |             |              |           |                 |                |
|--------|------------|---------|----------|-------------|--------------|-----------|-----------------|----------------|
|        | การบริการ  | บุคลากร | ยานพาหนะ | ความปลอดภัย | อาคารสถานที่ | ค่าโดยสาร | ความน่าเชื่อถือ | การบริการพิเศษ |
| 1.     | ✓          |         |          |             |              |           |                 |                |
| 2.     |            | ✓       | ✓        | ✓           |              | ✓         | ✓               | ✓              |
| 3.     | ✓          | ✓       |          | ✓           | ✓            | ✓         |                 | ✓              |
| 4.     | ✓          | ✓       |          | ✓           |              | ✓         |                 |                |
| 5.     | ✓          | ✓       |          |             | ✓            | ✓         | ✓               |                |
| 6.     | ✓          |         |          |             |              |           |                 |                |
| 7.     | ✓          | ✓       | ✓        | ✓           |              | ✓         | ✓               | ✓              |
| 8.     | ✓          | ✓       | ✓        | ✓           | ✓            | ✓         | ✓               | ✓              |
| 9.     | ✓          | ✓       | ✓        | ✓           | ✓            | ✓         | ✓               | ✓              |
| 10.    | ✓          |         |          |             |              |           |                 |                |
| 11.    |            | ✓       |          | ✓           |              | ✓         |                 |                |
| 12.    | ✓          | ✓       | ✓        |             | ✓            | ✓         |                 | ✓              |
| 13.    | ✓          |         |          | ✓           |              | ✓         | ✓               |                |
| 14.    | ✓          |         |          |             |              |           |                 |                |
| 15.    | ✓          | ✓       | ✓        |             | ✓            | ✓         | ✓               | ✓              |
| 16.    | ✓          |         | ✓        | ✓           | ✓            | ✓         | ✓               |                |
| 17.    |            | ✓       |          | ✓           |              |           |                 |                |
| 18.    | ✓          |         | ✓        | ✓           | ✓            | ✓         | ✓               |                |
| 19.    | ✓          |         |          |             |              | ✓         |                 |                |
| 20.    | ✓          | ✓       | ✓        | ✓           | ✓            | ✓         |                 | ✓              |
| 21.    | ✓          | ✓       | ✓        | ✓           | ✓            | ✓         | ✓               | ✓              |

|                                  |                                    |                                   |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Namthip et al. (2020)         | 2. Rungsoi et al. (2020)           | 3. Kerdrit (2019)                 |
| 4. Phalung (2019)                | 5. Wongngamsai (2019)              | 6. Boonmee (2018)                 |
| 7. Leamkom & Napompech (2018)    | 8. Sankae et al. (2018)            | 9. Ngoc et al. (2017)             |
| 10. Penpong (2017)               | 11. Sriphayak and Wichinsin (2017) | 12. Jaroentham (2016)             |
| 13. Thi Phuong & Tu (2016)       | 14. Khemapech & Kidbunjong (2014)  | 15. Su-angka (2014)               |
| 16. Miskeen et al. (2013)        | 17. Uthayarat (2013)               | 18. Bhandhasu & Bejrananda (2011) |
| 19. Dangasawas & Wongkhae (2011) | 20. Sirirut (2011)                 | 21. Promchat (2009)               |

## ตารางที่ 2 ปัจจัยรองของการศึกษา

| ปัจจัยหลัก         | ปัจจัยรอง                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) การให้บริการ    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง</li> <li>- ระยะเวลาที่ใช้ในการรอรถโดยสาร</li> <li>- เส้นทางเดินรถครอบคลุม</li> <li>- ความถี่ในการเดินรถแต่ละเส้นทาง</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- การให้บริการตามเส้นทางเดินรถ</li> <li>- ช่องทางการชำระเงินได้หลายรูปแบบ</li> <li>- ความสะดวกสบายบนยานพาหนะ</li> <li>- ความสะดวกในการเชื่อมต่อการเดินทาง</li> </ul> |
| 2) บุคลากร         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- มารยาทในการขับขี่</li> <li>- ความชำนาญเส้นทาง</li> <li>- มารยาทในการเก็บค่าโดยสาร</li> </ul>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- การแต่งกายของพนักงาน</li> <li>- ความพร้อมและสภาพร่างกายของพนักงาน</li> <li>- การให้บริการเสมอดันเสมอปลาย การดูแลเอาใจใส่ผู้โดยสาร</li> </ul>                       |
| 3) ยานพาหนะ        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ลักษณะรถที่ให้บริการ (ประเภทรถ)</li> <li>- จำนวนรถที่ให้บริการมีเพียงพอ</li> <li>- สภาพของรถที่ให้บริการ</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ภายในรถมีความสะอาด</li> <li>- การจัดที่นั่งบนรถให้กับผู้โดยสาร</li> <li>- ความกว้างสะดวกสบายของที่นั่ง</li> </ul>                                                  |
| 4) ความปลอดภัย     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความปลอดภัยระหว่างเดินทาง</li> <li>- อุปกรณ์เสริมปลอดภัยบนรถโดยสาร</li> </ul>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- อุปกรณ์ป้องกันการแพร่ระบาด COVID-19 ภายในสถานีและบนรถ</li> <li>- มาตรการป้องกันการแพร่ระบาด COVID-19</li> </ul>                                                    |
| 5) อาคารสถานที่    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของสถานี (สะดวกและปลอดภัย)</li> <li>- ช่องจอดรถโดยสารที่สถานี</li> </ul>                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความสะอาดของห้องน้ำในอาคารที่พักรถโดยสาร</li> <li>- สถานีขนส่งมีบริเวณเพียงพอในการนั่งรอรถโดยสาร</li> <li>- จุดรับส่งผู้โดยสาร</li> </ul>                          |
| 6) ค่าโดยสาร       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าโดยสารมีความเหมาะสม</li> <li>- การแจ้งค่าโดยสารที่ชัดเจน</li> </ul>                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความถูกต้องในการเรียกเก็บค่าโดยสาร</li> </ul>                                                                                                                      |
| 7) ความน่าเชื่อถือ | <ul style="list-style-type: none"> <li>- การออกรถโดยสารตรงเวลา</li> <li>- การจำกัดผู้โดยสารตามกฎหมาย</li> </ul>                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- การระบุด่วนของผู้ให้บริการ</li> <li>- การประชาสัมพันธ์แสดงถึงภาพลักษณ์ที่น่าใช้บริการ</li> </ul>                                                                   |
| 8) การบริการพิเศษ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ</li> <li>- สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ</li> <li>- การประมาณค่าโดยสารก่อนล่วงหน้า</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- การติดตามตำแหน่งของรถโดยสาร</li> <li>- การสะสมแต้มเพื่อแลกส่วนลด</li> <li>- ระบบป้ายบอกเส้นทางในการให้บริการ</li> </ul>                                            |

## 2.2 การออกแบบและประเมินความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม

การประเมินความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (Rovinelli & Hambleton, 1977) จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งถือว่าเป็นผู้ใช้ประโยชน์จากงานวิจัยและเชื่อมโยงการขับเคลื่อนผลการวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน แบบสอบถามได้ค่าดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษามากกว่า 0.5 ในทุกข้อคำถาม ดังนั้น ปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สามารถนำไปใช้สอบถามถึงความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อระบบขนส่งรถโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงรายในปัจจุบัน

## 2.3 การสำรวจข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้โดยสารที่ใช้ระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะ

การสำรวจ ณ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย แห่งที่ 1 ตามการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยสูตรของคอเครน กรณีไม่ทราบขนาดและไม่ทราบค่าสัดส่วนของประชากร (Cochran, 1977) โดย  $n$  = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ เมื่อกำหนดให้  $P$  = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร = 0.5,  $Z$  = ค่า  $Z$  ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 = 1.96, และ  $e$  = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ = 0.05 จะได้  $n = P(1-P)Z^2/e^2 = 384$  ดังนั้น จำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้ครั้งนี้ คือ 403 คน (ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ 384 คน รวมกับจำนวนกลุ่มตัวอย่างเผื่อ 5%)

## 2.4 การหาค่าความสำคัญของปัจจัย

การหาค่าความสำคัญของปัจจัยด้วยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทีละคู่ (Pairwise Comparison) ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการนำผลการเปรียบเทียบมาใช้ในการคำนวณค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) หรือค่าความสำคัญของปัจจัย (Yourawd, 2009) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาสู่ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนากระบวนการขนส่งรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย

## 2.5 การเสนอแนวทางสำหรับการปรับปรุงและพัฒนา

การเสนอแนวทางการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการขนส่งรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ปัจจัยที่ได้จากการประเมินขั้นตอนก่อนหน้าจะได้รับการเสนอถึงแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนา โดยเริ่มจากประเด็นที่มีความสำคัญและจำเป็นเร่งด่วน กล่าวคือ ปัจจัยหลักที่มีค่าลักษณะเฉพาะสูง แต่ได้คะแนนความพึงพอใจต่ำ ตลอดจนจะถูกนำมาพิจารณาประกอบในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ หรือ SWOT Analysis และวิเคราะห์กลยุทธ์ หรือ TOWS Matrix (Michael et al., 2002)

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การขนส่งผู้โดยสารของจังหวัดเชียงรายในปัจจุบัน

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเส้นทางการเดินรถโดยสารประจำทางของจังหวัดเชียงราย จากเว็บไซต์ของสำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย สามารถสรุปได้ว่าเส้นทางการเดินรถภายในจังหวัดเชียงรายมีทั้งสิ้น 22 เส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เส้นทางเดินรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย

| สาย                                                                                               | เส้นทาง                                     | สาย  | เส้นทาง                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------|-------------------------------------|
| 1241                                                                                              | เชียงราย* - แม่สาย                          | 2378 | แม่สรวย - บ้านดอยช้าง - บ้านร่องขุน |
| 1244                                                                                              | เชียงราย* - พาน                             | 2402 | เชียงราย* - บ้านผาตั้ง              |
| 1245                                                                                              | เชียงราย* - เชียงของ                        | 2444 | เชียงราย* - บ้านห้วยชม              |
| 1246                                                                                              | เชียงราย* - แม่จางาน                        | 2445 | บ้านสันกอง - พระธาตุดอยตุง          |
| 2127                                                                                              | เชียงราย* - เชียงของ - เชียงแสน             | 2446 | บ้านห้วยไคร้ - แม่สาย               |
| 2250                                                                                              | พาน - ป่าแดด                                | 2447 | แม่จัน - บ้านเข้าธรรมจาริก          |
| 2224                                                                                              | เชียงราย* - บ้านกิวพร้าว                    | 2448 | แม่สรวย - บ้านแม่สลัก               |
| 2243                                                                                              | เชียงราย* - สันสลัก (พญาเม็งราย) - เชียงของ | 2449 | ชายแดนไทย - พม่า - บ้านด้าย         |
| 2305                                                                                              | แม่สาย - เชียงแสน                           | 2597 | เชียงราย* - บ้านพนาสวรรค์           |
| 2322                                                                                              | เชียงราย* - เวียงแก่น                       | 2598 | เชียงราย* - ดอยหลวง                 |
| 2350                                                                                              | เชียงราย* - แม่ลาว - บ้านป่าซางใต้          | 2668 | แม่สรวย - บ้านห้วยน้ำขุ่น           |
| * สถานีต้นทาง คือ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย แห่งที่ 1 อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย |                                             |      |                                     |

จากเส้นทางเดินรถโดยสารประจำทางสาธารณะข้างต้นจะเห็นได้ว่าเส้นทางส่วนใหญ่มีต้นทางจากสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย แห่งที่ 1 ซึ่งกล่าวคือสถานที่เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้โดยสารสำหรับการศึกษานี้ อีกทั้งข้อมูลเส้นทางการเดินรถดังกล่าวไม่ได้ระบุถึงประเภทของรถโดยสารที่ให้บริการ จึงส่งผลให้ผู้โดยสารอาจเกิดความสับสน ยุ่งยากในการวางแผนการเดินทาง ตลอดจนการเลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะภายในจังหวัดเชียงราย

### 3.2 ความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อระบบขนส่งรถโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย

ภายหลังการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างผู้โดยสารจำนวน 403 คน ที่อยู่ระหว่างการรอเข้าใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ/เปลี่ยนถ่ายรูปแบบการเดินทาง ณ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย แห่งที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

| ข้อมูลส่วนบุคคล              | จำนวน | ร้อยละ |
|------------------------------|-------|--------|
| เพศ:                         |       |        |
| ชาย                          | 177   | 43.92  |
| หญิง                         | 226   | 56.08  |
| อายุ:                        |       |        |
| 18 - 25 ปี                   | 253   | 62.78  |
| 26 - 30 ปี                   | 39    | 9.68   |
| 31 - 40 ปี                   | 42    | 10.42  |
| 41 - 50 ปี                   | 25    | 6.20   |
| 51 - 60 ปี                   | 29    | 7.20   |
| มากกว่า 60 ปี                | 15    | 3.72   |
| อาชีพ:                       |       |        |
| รับราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ | 47    | 11.66  |
| พนักงานเอกชน                 | 41    | 10.17  |
| เจ้าของกิจการ                | 28    | 6.95   |
| ครู/ อาจารย์                 | 10    | 2.48   |
| นักเรียน/ นักศึกษา           | 165   | 40.94  |
| เกษตรกร                      | 27    | 6.70   |
| อื่น ๆ                       | 85    | 21.09  |
| รายได้ต่อเดือน:              |       |        |
| น้อยกว่าเท่ากับ 10,000 บาท   | 226   | 56.08  |
| 10,001 - 20,000 บาท          | 134   | 33.25  |
| มากกว่า 20,000 บาท           | 43    | 10.67  |
| รูปแบบการเดินทาง:            |       |        |
| ภายในจังหวัด                 | 227   | 56.33  |
| ออกนอกจังหวัด                | 134   | 33.25  |
| เข้ามาในจังหวัด              | 42    | 10.42  |

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าจำนวนผู้โดยสารส่วนใหญ่นั้นเป็น นักเรียน/นักศึกษา มีอายุระหว่าง 18 - 25 ปี ซึ่งอายุของผู้โดยสารแปรผกผันกับจำนวนการใช้รถโดยสาร นั่นคือ ยิ่งผู้โดยสารมีอายุมากขึ้นจะเลือกใช้ระบบขนส่งรถโดยสารลดลง เช่นเดียวกันกับรายได้ต่อเดือน ที่แปรผกผันกับการใช้รถโดยสารเช่นกัน กล่าวคือ ยิ่งผู้โดยสารมีรายได้ต่อเดือนสูง ยิ่งมีปริมาณการใช้รถโดยสารต่ำ โดยรูปแบบการเดินทางของผู้โดยสารที่ตอบแบบสอบถามสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย รูปแบบที่ 1 กลุ่มผู้โดยสารที่เดินทางภายในจังหวัด คิดเป็นร้อยละ 56.33 รูปแบบที่ 2

กลุ่มผู้โดยสารที่เดินทางออกนอกจังหวัด คิดเป็นร้อยละ 33.25 และรูปแบบที่ 3 กลุ่มผู้โดยสารที่เดินทางเข้ามาในจังหวัด คิดเป็นร้อยละ 10.42 จึงสามารถกล่าวได้ว่า ณ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงราย แห่งที่ 1 มีผู้ที่เดินทางภายในจังหวัด หรือระหว่างอำเภอเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นผู้โดยสารที่เดินทางเชื่อมต่อเพื่อออกเดินทางจากจังหวัดเชียงราย และเพื่อเข้ามาในจังหวัดเชียงรายเป็นจำนวนน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้โดยสารต่อระบบขนส่งโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย วิเคราะห์จากคะแนนความพึงพอใจต่อปัจจัยรองในตารางที่ 2 ที่เกณฑ์ 1 ถึง 5 คะแนน โดยที่ 5 คะแนน หมายถึง ผู้โดยสารมีความพึงพอใจมากที่สุด โดยคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยนี้สามารถพิจารณาแยกตามรูปแบบการเดินทางได้ ดังแสดงในตารางที่ 5 กำหนดให้ รูปแบบที่ 1 คือ ผู้โดยสารที่เดินทางภายในจังหวัด รูปแบบที่ 2 คือ ผู้โดยสารที่เดินทางออกนอกจังหวัด และรูปแบบที่ 3 คือ ผู้โดยสารที่เดินทางเข้ามาในจังหวัด

ตารางที่ 5 คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยหลัก

| ปัจจัยหลัก      | ความพึงพอใจเฉลี่ย |                        |      |      |
|-----------------|-------------------|------------------------|------|------|
|                 | แบบรวม            | แบบแยกรูปแบบการเดินทาง |      |      |
|                 |                   | 1                      | 2    | 3    |
| การให้บริการ    | 3.52              | 3.48                   | 3.62 | 3.46 |
| บุคลากร         | 3.98              | 3.99                   | 4.04 | 3.90 |
| ยานพาหนะ        | 3.43              | 3.39                   | 3.53 | 3.38 |
| ความปลอดภัย     | 3.39              | 3.37                   | 3.54 | 3.27 |
| อาคารสถานที่    | 3.82              | 3.87                   | 3.75 | 3.84 |
| ค่าโดยสาร       | 3.89              | 3.91                   | 3.85 | 3.91 |
| ความน่าเชื่อถือ | 3.76              | 3.64                   | 3.81 | 3.82 |
| การบริการพิเศษ  | 3.23              | 3.22                   | 3.31 | 3.17 |



ภาพที่ 1 คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย

ตารางที่ 5 และภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ผู้โดยสารทุกกลุ่มมีความพึงพอใจต่อปัจจัยหลักในระดับปานกลางขึ้นไป (คะแนนความพึงพอใจมากกว่า 3 คะแนน) คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านบุคลากร รองลงมา คือ ด้านค่าโดยสาร เป็นอันดับที่สอง ตามด้วย ด้านอาคารสถานที่ ด้านความน่าเชื่อถือ ด้านการให้บริการ ด้านยานพาหนะ ด้านความปลอดภัย และด้านการบริการพิเศษ ตามลำดับ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยด้านบุคลากร ด้านอาคารสถานที่ ด้านค่าโดยสาร และด้านความน่าเชื่อถือ เป็นกลุ่มปัจจัยที่ได้คะแนนความพึงพอใจจากผู้โดยสารทั้ง 3 กลุ่ม มากกว่าปัจจัยด้านการให้บริการ ด้านยานพาหนะ ด้านความปลอดภัย และ ด้านการบริการพิเศษ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาระบบขนส่งโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นที่ปัจจัยหลักที่ได้ คะแนนความพึงพอใจจากผู้โดยสารต่ำ แต่เป็นปัจจัยที่มีค่าลักษณะเฉพาะหรือค่าน้ำหนักของปัจจัยสูง จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทีละคู่ของผู้เชี่ยวชาญ

### 3.3 ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาระบบขนส่งโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปัจจัยทีละคู่ (Pairwise Comparison) ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของแต่ละคู่ปัจจัย และสร้างเป็นตารางการเปรียบเทียบความสำคัญ เพื่อหาผลรวมในแนวตั้งของแต่ละปัจจัยหลัก จากนั้นนำค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของแต่ละคู่ปัจจัยมาหารด้วยผลรวมในแนวตั้งของปัจจัยใด ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยในแนวนอน จะนำมาซึ่งค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก หรือ ค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) (Prachakasem & Leelathanapipat 2021; Sukkrajang, 2017)

โดยในเบื้องต้นได้กำหนดให้ A คือ ปัจจัยด้านการให้บริการ B คือ ปัจจัยด้านบุคลากร C คือ ปัจจัยด้านยานพาหนะ D คือ ปัจจัยด้านความปลอดภัย E คือ ปัจจัยด้านอาคารสถานที่ F คือ ปัจจัยด้านค่าโดยสาร G คือ ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ และ H คือ ปัจจัยด้านการบริการพิเศษ ผู้วิจัยสามารถนำค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของแต่ละคู่ปัจจัยมาสร้างเป็นตารางการเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลัก ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลัก

| ปัจจัยหลัก | A      | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H     |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| A          | 1      | 3.67   | 2.00   | 0.23   | 5.00   | 3.00   | 1.67   | 4.00  |
| B          | 1/3.67 | 1      | 1.10   | 0.70   | 5.00   | 3.00   | 1.71   | 5.33  |
| C          | 1/2.00 | 1/1.10 | 1      | 0.44   | 3.67   | 3.00   | 3.67   | 3.00  |
| D          | 1/0.23 | 1/0.70 | 1/0.44 | 1      | 8.00   | 7.33   | 2.33   | 6.67  |
| E          | 1/5.00 | 1/5.00 | 1/3.67 | 1/8.00 | 1      | 2.11   | 3.11   | 1.22  |
| F          | 1/3.00 | 1/3.00 | 1/3.00 | 1/7.33 | 1/2.11 | 1      | 1.73   | 1.40  |
| G          | 1/1.67 | 1/1.71 | 1/3.67 | 1/2.33 | 1/3.11 | 1/1.73 | 1      | 7.00  |
| H          | 1/4.00 | 1/5.33 | 1/3.00 | 1/6.67 | 1/1.22 | 1/1.40 | 1/7.00 | 1     |
| ผลรวม      | 7.50   | 8.31   | 7.58   | 3.21   | 24.29  | 20.73  | 15.36  | 29.62 |

จากผลรวมแนวนั่งของแต่ละปัจจัยหลักในตารางที่ 6 สามารถคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก หรือ ค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) โดยเริ่มจากการนำความสำคัญระหว่างปัจจัยมาหารด้วยผลรวมในแนวนั่งของปัจจัยใด ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก

| ปัจจัยหลัก | A         | B         | C         | D         | E          | F          | G          | H          |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| A          | 1.00/7.50 | 3.67/8.31 | 2.00/7.58 | 0.23/3.21 | 5.00/24.29 | 3.00/20.73 | 1.67/15.36 | 4.00/29.62 |
|            | 0.13      | 0.44      | 0.26      | 0.07      | 0.21       | 0.14       | 0.11       | 0.14       |
| B          | 0.27/7.50 | 1.00/8.31 | 1.11/7.58 | 0.71/3.21 | 5.00/24.29 | 3.00/20.73 | 1.72/15.36 | 5.34/29.62 |
|            | 0.04      | 0.12      | 0.15      | 0.22      | 0.21       | 0.14       | 0.11       | 0.18       |
| C          | 0.50/7.50 | 0.90/8.31 | 1.00/7.58 | 0.44/3.21 | 3.67/24.29 | 3.00/20.73 | 3.67/15.36 | 3.00/29.62 |
|            | 0.07      | 0.11      | 0.13      | 0.14      | 0.15       | 0.14       | 0.24       | 0.10       |
| D          | 4.35/7.50 | 1.41/8.31 | 2.27/7.58 | 1.00/3.21 | 8.00/24.29 | 7.34/20.73 | 2.34/15.36 | 6.67/29.62 |
|            | 0.58      | 0.17      | 0.30      | 0.31      | 0.33       | 0.35       | 0.15       | 0.23       |
| E          | 0.20/7.50 | 0.20/8.31 | 0.27/7.58 | 0.13/3.21 | 1.00/24.29 | 2.12/20.73 | 3.12/15.36 | 1.23/29.62 |
|            | 0.03      | 0.02      | 0.04      | 0.04      | 0.04       | 0.10       | 0.20       | 0.04       |
| F          | 0.33/7.50 | 0.33/8.31 | 0.33/7.58 | 0.14/3.21 | 0.47/24.29 | 1.00/20.73 | 1.74/15.36 | 1.40/29.62 |
|            | 0.04      | 0.04      | 0.04      | 0.04      | 0.02       | 0.05       | 0.11       | 0.05       |
| G          | 0.60/7.50 | 0.58/8.31 | 0.27/7.58 | 0.43/3.21 | 0.32/24.29 | 0.57/20.73 | 1.00/15.36 | 7.00/29.62 |
|            | 0.08      | 0.07      | 0.04      | 0.13      | 0.01       | 0.03       | 0.07       | 0.24       |
| H          | 0.25/7.50 | 0.19/8.31 | 0.33/7.58 | 0.15/3.21 | 0.81/24.29 | 0.71/20.73 | 0.14/15.36 | 1.00/29.62 |
|            | 0.03      | 0.02      | 0.04      | 0.05      | 0.03       | 0.03       | 0.01       | 0.03       |

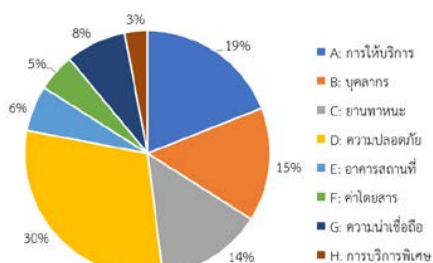


จากตารางที่ 7 นำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยในแนวนอน เพื่อหาค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก หรือ ค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) โดยปัจจัยใดที่มีค่าน้ำหนักของปัจจัยมากที่สุด คือ ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดในทางตรงกันข้าม ปัจจัยใดที่มีค่าน้ำหนักของปัจจัยน้อยที่สุด คือ ปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุด สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านความปลอดภัย มีค่าน้ำหนักสูงสุดที่ 0.30 ถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด รองลงมา คือ ด้านการให้บริการ ที่ 0.19 สอดคล้องกับการศึกษาของ Wichitphongsa et al. (2018) จากการศึกษา พบว่า ปัจจัยด้านความปลอดภัย และด้านการให้บริการ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ปัจจัยในอันดับถัดมา คือ ด้านบุคลากร ด้านยานพาหนะ ด้านความน่าเชื่อถือ ด้านอาคารสถานที่ ด้านค่าโดยสาร และ ด้านการบริการพิเศษ ที่ 0.15, 0.14, 0.08, 0.06, 0.05 และ 0.03 ตามลำดับ และสามารถแสดงร้อยละความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลักได้ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 8 ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลัก

| ปัจจัยหลัก | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | ค่าน้ำหนัก |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| A          | 0.13 | 0.44 | 0.26 | 0.07 | 0.21 | 0.14 | 0.11 | 0.14 | 0.19       |
| B          | 0.04 | 0.12 | 0.15 | 0.22 | 0.21 | 0.14 | 0.11 | 0.18 | 0.15       |
| C          | 0.07 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.24 | 0.1  | 0.14       |
| D          | 0.58 | 0.17 | 0.3  | 0.31 | 0.33 | 0.35 | 0.15 | 0.23 | 0.30       |
| E          | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.1  | 0.2  | 0.04 | 0.06       |
| F          | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.11 | 0.05 | 0.05       |
| G          | 0.08 | 0.07 | 0.04 | 0.13 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.24 | 0.08       |
| H          | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.03       |



ภาพที่ 2 ร้อยละความสำคัญของปัจจัยหลัก

เมื่อทราบค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลักดังตารางที่ 8 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) (Saaty, 1980) โดยเริ่มจากนำค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของแต่ละคู่ปัจจัยใด ๆ ในแนวตั้งจากตารางที่ 6 มาหารกับค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักนั้น ๆ ในตารางที่ 8 จากนั้นทำการหาค่าผลรวมของปัจจัยหลักแนวนอน หารกับน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การคำนวณค่าอัตราส่วนสอดคล้อง

| ปัจจัยหลัก    | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | ผลรวม | ผลรวม/ค่าน้ำหนัก |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------------|
| A             | 0.19 | 0.55 | 0.28 | 0.07 | 0.30 | 0.15 | 0.13 | 0.12 | 1.79  | 9.42             |
| B             | 0.05 | 0.15 | 0.15 | 0.21 | 0.30 | 0.15 | 0.14 | 0.16 | 1.31  | 8.73             |
| C             | 0.10 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.22 | 0.15 | 0.29 | 0.09 | 1.26  | 9.00             |
| D             | 0.83 | 0.21 | 0.32 | 0.30 | 0.48 | 0.37 | 0.19 | 0.20 | 2.89  | 9.63             |
| E             | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.11 | 0.25 | 0.04 | 0.60  | 10.00            |
| F             | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.14 | 0.04 | 0.46  | 9.20             |
| G             | 0.11 | 0.09 | 0.04 | 0.13 | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.21 | 0.71  | 8.88             |
| H             | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.29  | 9.67             |
| ผลรวมทั้งสิ้น |      |      |      |      |      |      |      |      |       | 74.53            |

จากผลรวมหารกับค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลักในตารางที่ 9 โดยที่  $n$  หรือ ปัจจัยศึกษา เท่ากับ 8 และ RI หรือ ค่าดัชนีการสุ่มตัวอย่าง (Random Index) ที่ 1.41 สามารถคำนวณหา  $\lambda_{\max}$  หรือ ค่าเวกเตอร์ ลักษณะเฉพาะสูงสุด (Max Eigenvector) เท่ากับ  $74.53/n = 74.53/8 = 9.32$  และ CI หรือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index) เท่ากับ  $(9.32-8)/(8-1) = 0.19$  ดังนั้นสามารถคำนวณ CR หรือ ค่าอัตราส่วนสอดคล้อง (Consistency Ration) ได้ 0.14 ซึ่งอยู่ในระหว่างค่าที่ยอมรับ นั่นคือ  $0.1 > CR > 1.5$  สำหรับการพิจารณาในโครงการทั่วไป หรือ โครงการที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาจะถูกพิจารณาจากค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยกับค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยหลัก ดังแสดงในตารางที่ 10 อีกทั้งสามารถนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยและค่าน้ำหนักความสำคัญ

| ปัจจัยหลัก      | ตัวแปร | ความพึงพอใจ | ค่าน้ำหนัก | แปลผล                         |
|-----------------|--------|-------------|------------|-------------------------------|
| ความปลอดภัย     | A      | 3.39        | 0.30       | ปัจจัยสำคัญและเร่งด่วน        |
| การให้บริการ    | B      | 3.52        | 0.19       | ปัจจัยสำคัญและเร่งด่วน        |
| บุคลากร         | C      | 3.98        | 0.15       | ปัจจัยสำคัญและไม่เร่งด่วน     |
| ยานพาหนะ        | D      | 3.43        | 0.14       | ปัจจัยสำคัญและเร่งด่วน        |
| ความน่าเชื่อถือ | E      | 3.76        | 0.08       | ปัจจัยสำคัญน้อยและไม่เร่งด่วน |
| อาคารสถานที่    | F      | 3.82        | 0.06       | ปัจจัยสำคัญน้อยและไม่เร่งด่วน |
| ค่าโดยสาร       | G      | 3.89        | 0.05       | ปัจจัยสำคัญน้อยและไม่เร่งด่วน |
| การบริการพิเศษ  | H      | 3.23        | 0.03       | ปัจจัยสำคัญน้อยและเร่งด่วน    |

ตารางที่ 11 การจัดลำดับความสำคัญ

|           | เร่งด่วน                            | ไม่เร่งด่วน                              |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| สำคัญ     | ความปลอดภัย, การให้บริการ, ยานพาหนะ | บุคลากร                                  |
| สำคัญน้อย | การบริการพิเศษ                      | ความน่าเชื่อถือ, อาคารสถานที่, ค่าโดยสาร |

จากการสรุปและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งจากแบบสอบถามผู้โดยสาร และการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ผู้วิจัยสามารถจัดลำดับความสำคัญปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบขนส่งโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ได้เป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) กลุ่มสำคัญเร่งด่วน คือ ปัจจัยด้านความปลอดภัย ด้านการให้บริการ และด้านยานพาหนะ 2) กลุ่มสำคัญไม่เร่งด่วน คือ ปัจจัยด้านบุคลากร 3) กลุ่มสำคัญน้อยเร่งด่วน คือ ปัจจัยด้านการบริการพิเศษ และ 4) กลุ่มสำคัญน้อยไม่เร่งด่วน คือ ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ ด้านอาคารสถานที่ ด้านค่าโดยสาร อีกทั้งสามารถแสดงสมการดัชนีสำหรับการพิจารณา (Substitution Factor Index: SFI) ระบบขนส่งรถโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ได้ดังนี้  $SFI = 0.30(A) + 0.19(B) + 0.15(C) + 0.14(D) + 0.08(E) + 0.06(F) + 0.05(G) + 0.03(H)$  เมื่อแทนค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ตัวแปร A ถึง H แปลงเป็นคะแนนเต็ม 1 คะแนน (Saaty, 1980) (จากเดิมที่มีค่าความพึงพอใจมากที่สุด 5 คะแนน) ลงในสมการ จะได้ดัชนีสำหรับการพิจารณา ดังนี้  $SFI_1 = 0.30(0.6780) + 0.19(0.7040) + 0.15(0.7960) + 0.14(0.6860) + 0.08(0.7520) + 0.06(0.7640) + 0.05(0.7780) + 0.03(0.6460) = 0.7169$  หรือร้อยละ 71.69 ค่าดัชนีสำหรับการพิจารณาที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ หรือ  $SFI_1$  ถือเป็นค่าประสิทธิผลในปัจจุบันก่อนการปรับปรุงและพัฒนา ระบบขนส่งรถโดยสารประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นค่าขั้นต้นสำหรับการเปรียบเทียบผลการพัฒนา โดยเริ่มต้นจากการศึกษาความพึงพอใจของผู้โดยสารภายหลังการปรับปรุงและพัฒนา จากนั้นนำค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยซึ่งแปลงเป็นคะแนนเต็ม 1 คะแนน แทนค่าลงในสมการ SFI ที่ตัวแปร A ถึง H โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะนำมาซึ่งค่าดัชนีสำหรับการพิจารณา หรือ  $SFI_2$  หรือ ค่าร้อยละ หลังการปรับปรุงและพัฒนาที่สูงขึ้น

### 3.4 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาระบบขนส่งโดยสาธารณะของจังหวัดเชียงราย

การเสนอแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาระบบขนส่งโดยสาธารณะ ด้วย การวิเคราะห์กลยุทธ์ (TOWS Matrix) โดยเริ่มจากการพิจารณาผลลัพธ์ดังแสดงในหัวข้อ 3.3 ร่วมกับ การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ระบบขนส่งโดยสาธารณะประจำทางสาธารณะของจังหวัดเชียงราย ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ

|                           | การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| จุดแข็ง<br>(Strength: S)  | S1: สถานีขนส่งมีศักยภาพและได้รับการพัฒนา<br>S2: ผู้โดยสารมีความพึงพอใจต่อบุคลากร (พนักงานขับรถ และพนักงานเก็บค่าโดยสาร) และค่าโดยสาร                                                                                       |
| จุดอ่อน<br>(Weakness: W)  | W1: ขาดการจัดการความร่วมมือระหว่างภาครัฐให้เกิดการขับเคลื่อนร่วมกัน<br>W2: ขาดการสนับสนุนให้เกิดการยกระดับผู้ประกอบการเดินรถปัจจุบัน<br>เนื่องจากในปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการรายย่อย                     |
| โอกาส<br>(Opportunity: O) | O1: บุคลากรในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพร้อมที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการผลักดันให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนา<br>รถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย<br>O2: การให้บริการขนส่งระบบรางเส้นทางใหม่ รถไฟฟ้าทางคู่ สายเด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ |
| อุปสรรค<br>(Threat: T)    | T1: ข้อจำกัดเกี่ยวกับนโยบายเส้นทางการเดินรถของผู้ประกอบการเดินรถ<br>ส่งผลให้บริษัทเอกชนที่มีศักยภาพรายใหม่ ๆ เข้ามาทำสัมปทานเส้นทางเดินรถได้ยาก<br>T2: สถานการณ์การแพร่ระบาด COVID-19                                      |

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์กลยุทธ์

|         | จุดแข็ง                     | จุดอ่อน                   |
|---------|-----------------------------|---------------------------|
| โอกาส   | กลยุทธ์เชิงรุก<br>S2 O1     | กลยุทธ์เชิงแก้ไข<br>W2 O2 |
| อุปสรรค | กลยุทธ์เชิงป้องกัน<br>S1 T2 | กลยุทธ์เชิงรับ<br>W1 T1   |

จากข้างต้นนำมาสู่ 4 กลยุทธ์ สำหรับการปรับปรุงและพัฒนาระบบขนส่งโดยสาธารณะประจำทางสาธารณะเชียงราย ดังแสดงในตารางที่ 13 ดังนี้ กลยุทธ์เชิงรุก เกิดจากการประกบคู่ระหว่าง S2 O1 จากข้อมูลการตอบแบบสอบถามของผู้โดยสารพบว่า ผู้โดยสารมีความพึงพอใจเรื่องบุคลากรสูงที่สุด แต่ความพึงพอใจด้านยานพาหนะและความปลอดภัยต่ำ เห็นได้ว่าผู้ประกอบการมีความพร้อมเรื่องการให้บริการที่สามารถพัฒนาได้ แต่ไม่มีความพร้อมในการพัฒนาเรื่องยานพาหนะและความปลอดภัย ที่ต้องอาศัยงบประมาณในการพัฒนาสูง ดังนั้น นโยบายเชิงรุกที่สามารถสร้างผลลัพธ์ที่ให้ประโยชน์สูงสุดจากจุดแข็งและโอกาสที่มีคือ รัฐบาลต้องเพิ่มการสนับสนุนงบประมาณในดำเนินการและการพัฒนา เนื่องจากงบประมาณที่ได้รับ ณ ขณะนี้ยังไม่เพียงพอต่อการพัฒนาทั้งด้านยานพาหนะและความปลอดภัย รวมถึงการสนับสนุนด้านองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องให้แก่บุคลากร

กลยุทธ์เชิงแก้ไข เกิดจากการประกบคู่ระหว่าง W2 O2 การยกระดับการให้บริการรถโดยสารสาธารณะเพื่อเชื่อมต่อรูปแบบการเดินทางหลัก ทั้งท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวงเชียงราย และสถานีรถไฟที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ รถไฟฟ้าทางคู่ สาย เด่นชัย-เชียงราย-เชียงของ จะเข้ามาเป็นรูปแบบการเดินทางสาธารณะหลักอีกรูปแบบหนึ่งของจังหวัดเชียงราย ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในทุกภาคส่วนทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ควรร่วมกันขับเคลื่อนพันธกิจและสร้างแรงผลักดันด้านการให้บริการขนส่งสาธารณะ ตลอดจนร่วมกันกำหนดแผนการพัฒนาอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อให้เกิดโครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมและเชื่อมต่อกันทั่วทั้งจังหวัดเชียงราย

กลยุทธ์เชิงป้องกัน เกิดจากการประกบคู่ระหว่าง S1 T2 ปัจจุบันสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 ได้เบาบางลงแล้ว อีกทั้งกระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศให้เป็นโรคประจำถิ่น นักท่องเที่ยวเริ่มออกเดินทางท่องเที่ยวกันเป็นจำนวนมาก จึงเป็นโอกาสดี ที่ต้องเร่งดำเนินการประชาสัมพันธ์เส้นทางการให้บริการระบบขนส่งโดยสาธารณะ การเตรียมความพร้อมของอาคารสถานที่เพื่อรองรับผู้โดยสาร การส่งเสริมการตลาด การสร้างความน่าเชื่อถือและแรงจูงใจให้เกิดการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ ตลอดจนการสร้างการรับรู้ของทั้งประชาชนในพื้นที่และนักท่องเที่ยว

ซึ่งวิธีการที่ง่ายและใช้งบประมาณไม่สูงสามารถดำเนินการได้ทันที เช่น การติดสติ๊กเกอร์ชี้ทูลด้านข้างซ้าย-ขวาของยานพาหนะที่ใช้บริการผู้โดยสาร ถือเป็นการประชาสัมพันธ์ที่สามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว

กลยุทธ์เชิงรับ เกิดจากการประกบคู่ระหว่าง W1 T1 เพื่อมุ่งไปสู่กลยุทธ์เชิงรุก การออกแบบโครงข่ายรถโดยสารสาธารณะเพื่อป้อนผู้โดยสารเข้าสู่รูปแบบการเดินทางหลัก ได้แก่ เครื่องบิน และรถไฟ โดยการวางแผนและออกแบบโครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะในจังหวัดเชียงรายให้เป็นโครงข่ายเดียวกัน สามารถป้อนผู้โดยสารเข้าสู่รูปแบบการเดินทางหลักได้ทั่วทั้งจังหวัดเชียงราย รวมทั้งการจัดสรรสัมปทานเส้นทางรถโดยสารในจังหวัดเชียงราย เพื่อให้เกิดการแข่งขันในภาคเอกชน ทั้งด้านคุณภาพการให้บริการและค่าโดยสาร เพื่อประโยชน์สูงสุดต่อผู้โดยสาร ตลอดจนประชาชนในพื้นที่

#### 4. สรุปผลการศึกษา

ผู้โดยสารมีความพึงพอใจต่อบริการหลักในระดับปานกลางขึ้นไป โดยปัจจัยด้านบุคลากร ด้านอาคารสถานที่ ด้านค่าโดยสาร และด้านความน่าเชื่อถือ เป็นกลุ่มปัจจัยที่ได้คะแนนความพึงพอใจจากผู้โดยสารมากกว่า ปัจจัยด้านการให้บริการ ด้านยานพาหนะ ด้านความปลอดภัย และ ด้านการบริการพิเศษ นำมาสู่ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนา กล่าวคือ ปัจจัยหลักที่มีความสำคัญสูง แต่ได้คะแนนความพึงพอใจจากผู้โดยสารต่ำ ซึ่งปัจจัยด้านความปลอดภัย มีค่าน้ำหนักสูงสุด รองลงมา ด้านการให้บริการ ด้านบุคลากร ด้านยานพาหนะ ด้านความน่าเชื่อถือ ด้านอาคารสถานที่ ด้านค่าโดยสาร และ ด้านการบริการพิเศษ ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้พบแนวทางการพัฒนาที่สำคัญซึ่งจะมุ่งเน้นสร้างผลลัพธ์ให้เกิดความยั่งยืนและเป็นประโยชน์สูงสุดต่อระบบขนส่งรถโดยสารสาธารณะของจังหวัดเชียงราย เกี่ยวข้องถึง ด้านความปลอดภัย ด้านการให้บริการ และ ด้านยานพาหนะ ผ่านกลยุทธ์เชิงรุก กล่าวคือ รัฐบาลต้องเพิ่มการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการพัฒนา ด้านยานพาหนะ และ ด้านความปลอดภัย เนื่องจาก งบประมาณที่ได้รับในปัจจุบันยังไม่เพียงพอต่อการพัฒนา รวมถึงการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องให้กับบุคลากรเพื่อตอบสนองการเดินทางของประชาชนในพื้นที่และนักท่องเที่ยว ตลอดจน กลยุทธ์เชิงแก้ไข เกี่ยวข้องถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนต้องเร่งสร้างความร่วมมือ ด้านการให้บริการ ผลักดันให้เกิดโครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมและเชื่อมต่อกันทั่วทั้งจังหวัดเชียงราย อีกทั้งควรคำนึงถึง กลยุทธ์เชิงป้องกัน คือ การเตรียมความพร้อมของอาคารสถานที่เพื่อรองรับผู้โดยสาร การส่งเสริมการตลาด การสร้างความน่าเชื่อถือและแรงจูงใจให้เกิดการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ ตลอดจน การสร้างการรับรู้ของทั้งประชาชนในพื้นที่และนักท่องเที่ยว สำหรับกลยุทธ์เชิงรับเกี่ยวข้องกับการเตรียมความพร้อมด้านการออกแบบโครงข่ายการให้บริการรถโดยสารสาธารณะเพื่อป้อนผู้โดยสารเข้าสู่รูปแบบการเดินทางหลัก ทั้งท่าอากาศยานนานาชาติแม่ฟ้าหลวงเชียงราย และสถานีรถไฟที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ ทั้งด้านคุณภาพการให้บริการ และค่าโดยสารเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อผู้โดยสารและประชาชนในจังหวัดเชียงราย

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานพื้นฐาน (Fundamental Fund; FF) ประจำปีงบประมาณ 2565 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภายใต้แผนโครงการวิจัยและพัฒนาการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม โดยใช้กระบวนการสะเต็มศึกษาสำหรับสร้างมูลค่าเชิงรุกบนฐานทุนทรัพยากรและวัฒนธรรมล้านนา รวมถึงผู้เชี่ยวชาญจากเทศบาลนครเชียงราย สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงราย และสำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดเชียงราย ตลอดจนผู้โดยสารกลุ่มตัวอย่างที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์

#### 6. เอกสารอ้างอิง

Bhandhasu, A., & Bejrananda, M. (2011). Travel Behavior in Regional City: A Case Study of Chiang Mai City. *Built Environment Inquiry Journal*, 10(1), 74-91. (in Thai)

- Boonmee, R. (2018). **Accessibility Analysis of Present Public Transport Compare to Future Master Plan in Muang Phitsanulok** (Bachelor Thesis). Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Cochran, W.G. (1997). **Sampling Techniques**. 3<sup>rd</sup> Edition, reprinted 1997. New York: John Wiley & Sons.
- Dangsawas, P., & Wongkhae, K. (2011). **Study of Land Public Transportation and Factors Affecting Travelling Distribution of Surat Thani Using Gravity Model**. Thaksin University, Songkhla. (in Thai)
- Jaroentharn, S. (2016). **Public Fixed Route Bus Service in Phuket City** (Master Thesis). Songkla University, Songkla. (in Thai)
- Kerdrit, K. (2019). Behavior and Needs in using the Public Transportation of Japanese Tourists. **Journal of Humanities and Social Sciences, Rajapruk University**, 5(2), 125-136. (in Thai)
- Khemapech, I., & Kidbunjong, L. (2014). Operational Issues and Solutions of Public Transportation System. **The Journal of KMUTNB**, 24(2), 355-363. (in Thai)
- Leamkom, C., & Napompech, K. (2018). Marketing Mix Factors in using Taxi Service for Grab Applications of the Passenger in the Central Region. **Journal of Administration and Management**, 8(2), 151-174. (in Thai)
- Michael, A.H., Dennis, R.M., & Robert, L.M. (2002). **Effective Management**. New York: West Publishing Company.
- Ministry of Tourism & Sports. (2022). **Tourism Statistics 2022**. Retrieved 6 Sep 2023, from <https://www.mots.go.th/news/category/655>. (in Thai)
- Miskeen, M.A.A.B., Alhodairi, A.M., & Rahmat, R.A.A.B.O. (2013). Modeling a Multinomial Logit Model of Intercity Travel Mode Choice Behavior for All Trips in Libya. **International Journal of Civil and Environmental Engineering**, 7(9), 636-645.
- Namthip, N, Phoklang, A, & Rotwannasin, P. (2020). Car Sharing and Transport Development for Smart Tourism, In P. Asnachinda (Ed.), **Proceedings of the 25th National Convention on Civil Engineering** (pp. 1-9). Chonburi: Burapha University. (in Thai)
- Ngoc, A.M., Hung, K.V., & Tuan, V.A. (2017). Towards the Development of Quality Standards for Public Transport Service in Developing Countries: Analysis of Public Transport Users' Behavior. **Transportation Research Procedia**, 25, 4560-4579.
- Penpong, M.S. (2017). A Study of Influenced Factors on Workers' Choice of Vehicles in Kao Samui, Suratthani Province. **DRIRDI Research for Community Service Journal**, 3(2), 40-58. (in Thai)
- Phalung, P. (2019). **Impacts of Customer Service on Customer's Satisfaction in Public Transport Industry: A Case Study at Nakhonchai Air Company in Bangkok** (Master IS). Ramkhamhaeng University, Bangkok. (in Thai)
- Phanchai, N. (2021). **The Railway Construction Project: Den Chai - Chiang Rai - Chiang Khong**. Retrieved 6 Sep 2023, from <https://library.parliament.go.th/th/radioscript-rr2564-nov3>. (In Thai)
- Prachakasem, V., & Leelathanapipat, J. (2021). Application of AHP the Selection of the Pattern Furniture Case Study: Convenience Stores. **Journal of Industrial Business Administration**, 3(1), 8-34. (in Thai)

- Promchat, S. (2009). **Research of Passenger Satisfaction in the Air Conditioned Bus Services of the 407 Pattana Company LTD.,** (Master Thesis). Srinakharinwirot University, Bangkok. (in Thai)
- Rovinelli, R.J., & Hambleton, R.K. (1997). On the Use of Content Specialists in the Assessment of Criterion-referenced Test Item Validity. **Dutch Journal of Educational Research**, 2, 49-60.
- Rungsoi, N., Woraphatthirakul, P., & Rungsoi, W. (2020). Guidelines for Solving Public Transportation Services of the Department of Land Transport. **Journal of MCU Nakhondhat**, 7(9), 163-174. (in Thai)
- Saaty, T.L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation.** New York: Mcgraw-Hill.
- Sankae, N., Sricharoenpramong, S., Burakachonkun, N., Phokaew, P., & Suksamai, K. (2018). **Guidelines for the Development of Public Transportation in Chanthaburi Province** (research report). Chanthaburi: Rambhai Barni Rajabhat University. (in Thai)
- Sirirut, T. (2011). **Guidelines for City Round Bus Service Improvement in Chachoengsao Province** (Master Thesis). Burapha University, Chonburi. (in Thai)
- Sriphayak, S., & Wichiensin, M. (2017). Factors Impacting of Travels by Bus for the Visually Impaired in the Bangkok Metropolitan Region. **Ladkrabang Engineering Journal**, 34(2), 56-62. (in Thai)
- Su-angka, K. (2014). **Public Transport for Thai Elderly Case Study in North East Region.** Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- Sukkrjang, K. (2017). The Impact Factor of Decision to Select Location of Gas Retailer by AHP. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 10(1), 1-11. (in Thai)
- Thi Phuong, L.L., & Tu, A.T. (2016). Encouraging Public Transport Use to Reduce Traffic Congestion and Air Pollutant: A Case Study of Ho Chi Minh City, Vietnam. **Procedia Engineering**, 142, 236-243.
- Uthayarat, W. (2013). **Analysis of Public Van Safety** (Master Thesis). Burapha University, Chonburi. (in Thai)
- Wichitphongsa, W., Pochan, J., Settawach, D., & Nawakitangsan, N. (2018). Development of Fuzzy Random Utility Model for Travel Mode Choice by Rail Transport of Tourist in ASEAN Economic Community: A Case Study of Double-Track Rail link Den Chai - Chiang Rai. **Parichart Journal, Thaksin University**, 31(3), 185-197. (in Thai)
- Wongngamsai, T. (2019). **The Decision to Get on the Public Buses of People in Bangkok Metropolis** (Master IS). Ramkhamhaeng University, Bangkok. (in Thai)
- Yitthanichkul, K. (2019). **A Good Passenger Service through a Systematic Fare Adjustment.** Retrieved 25 Aug 2023, from <https://tdri.or.th/2019/05/adjust-bangkok-bus-fare/>. (in Thai)
- Yourawd, P. (2009). **Application of the AHP Method of Logistics Service Providers Selection: A Case Study of a Commercial Bank** (Master Thesis). Dhurakij Pundit University, Bangkok. (In Thai)

(Received: 18/Oct/2023, Revised: 27/Dec/2023, Accepted: 28/Dec/2022)



# การออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

## Design of A Multi-Purpose Table Set Used to Promote the Quality of Life of The Visually Impaired

สุวินัย อินทรศักดิ์<sup>1\*</sup>, ยิงยง รุ่งฟ้า<sup>2</sup> และ พิสิทธิ์ ควรอนันต์<sup>2</sup>

Suwainai Inthasak<sup>1\*</sup>, Yingyong Rungfa<sup>2</sup> and Pisit Kuananan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน <sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<sup>1</sup> Interior Architecture, <sup>2</sup> Industrial Product Design Technology,

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

\*E-mail: Suvainai.in@gmail.com Tel: 081-5635803

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้พิการทางสายตาในสังคมไทยยังไม่ได้รับการอำนวยความสะดวกต่อการดำรงชีวิตและมีความยากลำบากในการดำเนินชีวิตประจำวัน จากการศึกษาศูนย์พัฒนาสมรรถภาพคนตาบอด มูลนิธิช่วยคนตาบอดแห่งประเทศไทย พบว่าผู้พิการทางสายตาที่พักอาศัยอยู่เป็นห้องพักที่มีขนาดเล็ก มีเพียงที่นอนกับโต๊ะ โดยเฉพาะโต๊ะมีความสำคัญต่อการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ได้แก่ การใช้โต๊ะในการรับประทานอาหาร การใช้โต๊ะเพื่อการอ่านอักษรเบลล์ และ การใช้โต๊ะในการเก็บอุปกรณ์ในการดำเนินชีวิต สำหรับโต๊ะที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันยังไม่ได้ออกแบบมาให้มีลักษณะเฉพาะกับผู้พิการทางสายตาจึงทำให้ไม่สะดวกต่อการทำกิจกรรมดังกล่าวและยังส่งผลต่ออันตรายในการใช้โต๊ะที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาเฉพาะ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาและออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาโดยนำไปทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยทำการทดสอบแรงสถิตกระทำในแนวดิ่ง และ ยังนำไปประเมินความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน วิธีการศึกษาทำการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความต้องการในการออกแบบจากผู้พิการทางสายตา แนวคิดทฤษฎีที่ข้องเกี่ยวกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา แนวคิดในการออกแบบ ตลอดจนการสังเกตพฤติกรรมในการใช้โต๊ะในการกิจวัตรประจำวันของผู้พิการทางสายตา และการสัมภาษณ์ปัญหาความต้องการในการออกแบบโต๊ะจากผู้พิการทางสายตา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ผู้พิการทางสายตาประเภทคนตาบอดสนิท เพศชาย และหญิง ในการคัดเลือกแบบเจาะจง 30 คน ที่อาศัยอยู่ในศูนย์พัฒนาสมรรถภาพคนตาบอด มูลนิธิช่วยคนตาบอดแห่งประเทศไทย อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ซึ่งผลการวิจัยมีประเด็นดังนี้ ผลการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตารูปแบบออกแบบให้สามารถถอดประกอบและพับได้ เลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างและวัสดุที่นำมาประกอบให้มีความแข็งแรงซึ่งรูปแบบโต๊ะอเนกประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตาประกอบไปด้วย เก้าอี้ที่มีรูปทรงที่มีความสอดคล้องกับโต๊ะ มีระบบเซ็นเซอร์เพื่อตรวจป้องกันการเดินชนของผู้พิการทางสายตา มีลิ้นชักและชั้นวางของราวกับติดตั้งราวกันลื่นของลิ้น ที่อยู่ด้านบนของพื้นโต๊ะ มีปลั๊กไฟพร้อมสวิตช์ตัดไฟเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า มีวิธีการใช้งานที่เป็นอักษรเบลล์ ตลอดจนมีการติดพื้นผิวสัมผัสตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานได้สะดวก ส่วนผลการทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของโต๊ะอเนกประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตา ใช้วิธีการทดสอบโดยการใส่แรงสถิตกระทำในแนวดิ่ง การใช้แรงกด 1200 นิวตัน จำนวน 3 จุด จุดละ 10 ครั้งพบว่าผ่านการทดสอบเสถียรภาพและความแข็งแรงทนทานผ่านตามมาตรฐาน มอก. 1494-2541 และการประเมินความพึงพอใจด้านการใช้พบว่าพึงพอใจมาก

**คำสำคัญ :** ชุดโต๊ะอเนกประสงค์ การส่งเสริมคุณภาพชีวิต ผู้พิการทางสายตา

## Abstract

At present, in Thai Society disabled vision person still do not receive comfort for living and have difficult to take a daily lifestyle. From a study of the Center for Competency Development for the Blind Foundation for the Blind Authority of Thailand found that the disabled vision person, who lives in a small room with only a bed mattress and a table. Tables are very important for various activities in daily life, such as use for dining, to practice Braille letters reading and to store equipment for living. The table is used in current still has not specific design for the disabled vision person. Cause to inconvenience to run such activities and affect to danger when use the tables that have not specific design. From the mentioned problem, the researcher has idea to design a multi-purpose table used to promote quality of life for the disabled vision person. The objective purpose to design a multi-purpose table for promote the quality of life for the disabled vision person by taking to the standard test industrial to test a vertical static force and evaluated satisfaction of application. The methods of study: study from documents and research related to problem in design requirement from the disabled vision person. Theory concept which related to promote quality of life for the disabled vision person. The concept to design throughout observe the behavior of tables using in the daily activities of disabled vision person. And interviews to know what needs of table design from disabled vision person. The sample groups used in this research are both male and female of completely blind person, specific selection of 30 persons who stay at the Center for the Development of the Blind. Foundation for the Blind Authority of Thailand, Pak Kred District, Nonthaburi Province. The results of research have point as; The result of design a multi-purpose table to promote the quality of life for the disabled vision person is designed to be able disassemble and fold it. Choose the materials to produce structure and use the strong materials to assemble. Model of the multi-purpose table for the disabled vision person consists of a shape of chair coherent with the table. There is a sensor system to detect and prevent a walk-crash. There are drawers and shelves with an installation bar for protecting the overflow items on the tabletop. There is a power plug with a power cut-off switch to prevent a danger from electrical defect. There is instruction in Braille letters. As well as close the touch surfaces at various points on table for the disabled vision person can use it easily and comfort. The test of strength and durable of the multi-purpose table, was tested method by used static force applied vertically, at the pressure of 1200 newtons, 3 points, 10 times per point. It found that the stability and durability test passed the TIS 1494-2541 standard and the evaluation of Satisfaction in using is at Very satisfied.

**Keywords :** multi-purpose table set, quality of life promotion, disabled vision person

## 1. บทนำ

ปัจจุบันผู้ที่บกพร่องทางสายตา ในสังคมไทยยังไม่ได้รับการอำนวยความสะดวกสาธารณะอุปโภคพื้นฐานที่มีในสังคม การดำรงชีวิตของผู้ที่บกพร่องทางสายตานั้นเป็นไปในรูปแบบตามมีตามเกิดบ้างก็สามารถพัฒนาทักษะจนพึ่งพาตัวเองได้บ้างก็ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมและใช้ชีวิตเป็นปกติได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลรอบด้าน ตั้งแต่ระดับญาติพี่น้องไปจนถึงคนที่รู้จัก ผู้พิการในประเทศไทยนั้นประกอบไปด้วยความพิการหลายรูปแบบเช่น ผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยินผู้ที่มีความบกพร่องทางสมองและผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น ซึ่งจากปัญหาดังกล่าว

กลุ่มที่บกพร่องทางสายตานั้นควรได้รับการพัฒนาศักยภาพอย่างเร่งด่วน เพื่อให้พวกเขาดำรงชีวิตได้ดีเหมือนคนปกติทั่วไป อย่างไรก็ตามผู้พิการคือบุคคลซึ่งมีข้อจำกัดในการปฏิบัติกิจกรรมในชีวิตประจำวันหรือการเข้าไปมีส่วนร่วมทางสังคม Gurdal Dursin (2021) ได้กล่าวถึงความพิการคือสภาวะที่บุคคลไม่สามารถทำความเข้าใจอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างได้ด้วยตนเอง ความบกพร่องทางร่างกายหรือจิตใจอาจสร้างสภาวะนี้ได้ อุปสรรคเหล่านี้นำมาซึ่งปัญหาในชีวิตของคนพิการมาโดยตลอด มาตรฐานคุณภาพชีวิตและบริการที่ประเทศของตนจัดเตรียมไว้สำหรับประชากรพิการเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการแสดงระดับของรัฐ การดูแลสุขภาพ การศึกษา และการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา นโยบายใหม่เกี่ยวกับความพิการได้รับการพัฒนาในระดับนานาชาติในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการริเริ่มโครงการอำนวยความสะดวกด้านชีวิตเพื่อคนพิการจำนวนมาก จากการศึกษาพบว่ามีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ช่วยเหลือผู้มีความบกพร่องทางการมองเห็นที่ส่งผลต่อการช่วยให้ผู้พิการใช้ชีวิตได้ง่ายขึ้นอย่างไรก็ตาม (Department of Promotion and Development of Quality of Life for Persons with Disabilities, 2007) สำหรับบุคคลที่มีความบกพร่องทางการเห็น (ในที่นี้เรียกว่า “ผู้พิการทางสายตา”) ได้แก่ บุคคลที่สูญเสียการมองเห็นตั้งแต่ระดับเล็กน้อยจนถึงบอดสนิท (Ministry of Education, 2019) ซึ่งผู้พิการที่ส่วนอื่น ๆ ของร่างกายมีความเป็นปกติเช่นเดียวกับคนทั่วไปแต่มีความบกพร่องทางการเห็นเพียงอย่างเดียวนั้นยังสามารถประกอบกิจการอื่นได้ตามปกติ

จากความบกพร่องทางการเห็น ยังหมายถึงคนที่มีความตาข้างที่ต่ำกว่าเมื่อใช้แว่นสายตาธรรมดาแล้วมองเห็นน้อยกว่า 6/18 หรือ 20/70 ลงไปจนมองไม่เห็นแม้แต่แสงสว่างหรือคนที่มีความตาข้างต่ำกว่า 30 องศา ความพิการทางการเห็น แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สายตาเลือนรางจะเห็นได้เพียงแสงและเงาไม่เห็นรายละเอียดของวัตถุกับตาบอดสนิท Nitiruangjarat (2018) ได้อธิบายว่าการฟื้นฟูสมรรถภาพผู้พิการทางสายตา (Rehabilitation) เป็นวิธีที่ส่งเสริมให้คนพิการทางการเห็นมีการฟื้นตัวจากโรคทางจักษุที่เป็นอยู่ได้อย่างเหมาะสมและรวดเร็วขึ้นป้องกันไม่ให้เกิดความผิดปกติหรือภาวะแทรกซ้อนมากขึ้น รวมทั้งให้สามารถใช้เครื่องช่วยการมองเห็นที่เหมาะสม การให้การฟื้นฟูสภาพแบบองค์รวมโดยฟื้นฟูสภาพทั้งทางกาย จิตใจและสังคมให้กลับคืนมาสู่สภาพที่เหมาะสมและสามารถพึ่งตนเองได้ที่จะผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตาซึ่ง Kruenet, (2016) การพัฒนาคุณภาพชีวิตเป็นการสร้างรากฐานของการดำรงชีวิตของตนให้ดีขึ้น และมีความสัมพันธ์อันกลมกลืนระหว่างการดำเนินชีวิตของบุคคลกับสภาพแวดล้อมและมุ่งการกระทำตนให้มีความสุขด้วยตนเองรู้เท่าทันตนเอง เข้าใจตนเองมากกว่าการพึ่งพาอาศัยวัตถุจึงเป็นแนวทางการพัฒนาชีวิตที่ยั่งยืน จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาคุณภาพชีวิต ทั้งด้านร่างกายคนสังคมที่อยู่อาศัยรอบตัวคนด้วยชีวิตที่มีคุณภาพย่อมเป็นชีวิตที่ประสบความสำเร็จ รู้จักยับยั้งความต้องการทางร่างกายและความต้องการทางอารมณ์ของตนเองให้อยู่ในขอบเขตที่พอดี การส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตเป็นการฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการทางสายตาที่เป็นการสนับสนุนให้คนพิการทางสายตาสามารถดำรงชีวิตอิสระ มีศักดิ์ศรีแห่งความเป็นมนุษย์และเสมอภาคกับบุคคล WHO (2007) กล่าวถึงพัฒนาคุณภาพชีวิตเป็นส่งเสริมการรับรู้เกี่ยวกับการใช้ชีวิตของแต่ละบุคคลตามบริบทของวัฒนธรรมและระบบค่านิยมซึ่งสัมพันธ์กับเป้าหมายความคาดหวังและมาตรฐานที่ตนตั้งใจไว้การพัฒนาคุณภาพชีวิตมีโครงสร้างหลากหลายมิติโดยจะมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาด้านกายภาพ ด้านจิตใจ ด้านสังคม สภาพแวดล้อมและความสัมพันธ์ทางสังคม

จากการศึกษาศูนย์พัฒนาสมรรถภาพคนตาบอด มูลนิธิช่วยคนตาบอดแห่งประเทศไทย อำเภอบางกรวด จังหวัดนนทบุรี พบว่าส่วนใหญ่ เป็นผู้พิการทางสายตาที่ไม่มีรายได้จากการประกอบอาชีพที่ต้องเข้ามาพักพิงภายในศูนย์ที่พักอาศัยของผู้พิการทางสายตาเป็นห้องพักที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ใช้สอยไม่มากและไม่สะดวกสบายต่อการประกอบกิจวัตรประจำวันต่อผู้พิการทางสายตา สำหรับห้องพักสำหรับผู้พิการทางสายตาจะประกอบไปด้วยโต๊ะกับที่นอน ซึ่งโต๊ะเป็นส่วนหนึ่งของการทำกิจกรรมของผู้พิการทางสายตาได้แก่ การใช้โต๊ะในการรับประทานอาหาร การใช้โต๊ะในการฝึกการอ่านอักษรเบรลล์ และการใช้โต๊ะในการเก็บอุปกรณ์ในการดำเนินชีวิต สำหรับโต๊ะที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันยังไม่ได้ออกแบบมาให้มีลักษณะเฉพาะกับผู้พิการทางสายตาจึงทำให้ไม่สะดวกต่อการทำกิจกรรมดังกล่าวและยังส่งผลต่ออันตรายในการใช้โต๊ะอีกด้วย

จากความเป็นมาและปัญหาดังกล่าวผู้จึงเห็นความสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา จึงมีแนวความคิดทำการศึกษาและออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา ซึ่งแนวทางในการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาออกแบบให้มีลักษณะเฉพาะสำหรับผู้พิการทางสายตาเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถช่วยเหลือตัวเองได้มากที่สุด โดยทำการศึกษาปัญหาความต้องการในการออกแบบโดยนำมาบูรณาการร่วมกับหลักการออกแบบเครื่องเรือนนำมาเป็นกรอบในการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาที่คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของผู้พิการทางสายตา ข้อจำกัดทางด้านร่างกายของผู้พิการทางสายตาตลอดจนหน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรง ความสะดวกสบายในการใช้งาน การดูแลรักษา

## 2. วิธีการศึกษา

การวิจัยเรื่อง การออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา มีวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อนำไปสู่เป้าหมายและครอบคลุมทุกส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยซึ่งผู้วิจัยได้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

### 2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

#### 2.1.1 การศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความต้องการในการออกแบบจากผู้พิการทางสายตา การศึกษาลักษณะทางกายภาพ พฤติกรรมของพิการทางสายตา การศึกษาแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องเรือน การออกแบบเพื่อคนทั้งมวล และแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา ตลอดจนการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องเรือนสำหรับผู้พิการทางสายตา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา

#### 2.1.2 การสำรวจภาคสนาม

การลงพื้นที่ศูนย์พัฒนาสมรรถภาพคนตาบอด มูลนิธิช่วยคนตาบอดแห่งประเทศไทย อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี สังเกตพฤติกรรมการใช้โต๊ะในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้พิการทางสายตา ได้แก่ การใช้โต๊ะในการรับประทานอาหาร การใช้โต๊ะในการฝึกการอ่านอักษรเบลล์ และ การใช้โต๊ะในการเก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินชีวิต ตลอดจนการสัมภาษณ์ปัญหาความต้องการในการออกแบบโต๊ะจากผู้พิการทางสายตา การศึกษารูปแบบต่าง ๆ ของโต๊ะที่ใช้สำหรับผู้พิการทางสายตาจากผู้ผลิต ผู้จำหน่ายและจากหน่วยงานต่างๆที่มีการบำบัดฟื้นฟูผู้พิการทางสายตา

### 2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อนำผลการวิจัยมาทำการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา มีขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้ 2.2.1 ขอความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย 2.2.2 ทำลงพื้นที่เก็บข้อมูล และรวบรวมข้อมูล 2.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุป

### 2.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

#### 2.3.1 ขอบเขตการศึกษาข้อมูล

2.3.1.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความต้องการในการออกแบบจากผู้พิการทางสายตา

2.3.1.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ พฤติกรรมของพิการทางสายตา

2.3.1.3 การศึกษาแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องเรือน

2.3.1.4 การศึกษาวัสดุอุปกรณ์ ระบบเตือนที่ใช้ในการส่งเสริมความสะดวกในการใช้งานของผู้พิการทางสายตา

2.3.1.5 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา

2.3.1.6 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องเรือนสำหรับผู้พิการทางสายตา

### 2.3.2 ขอบเขตการออกแบบ

- 2.3.2.1 ทำการออกแบบจากปัญหาและความต้องการจากผู้พิการทางสายตา
- 2.3.2.2 เป็นเครื่องเรือนประเภทโต๊ะที่มีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้พิการทางสายตา
- 2.3.2.3 มีความสะดวกในการใช้งานโดยมีผิวสัมผัสและอักษรเบลล์เพื่อเรียนรู้วิธีการใช้งาน
- 2.3.2.4 สามารถพับเก็บเพื่อช่วยลดพื้นที่และสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
- 2.3.2.5 เลือกใช้วัสดุที่อยู่ในประเทศและไม่เป็นอันตรายต่อผู้พิการทางสายตา
- 2.3.2.6 การใช้ระบบการส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นระบบเสียงเตือนป้องกันอันตราย

### 2.3.3 การกำหนดประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

การดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูลจากการวิจัยในศูนย์พัฒนาสมรรถภาพคนตาบอด มูลนิธิช่วยคนตาบอดแห่งประเทศไทย อำเภอบางเกร็ง จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีผู้พิการทางสายตา ชาย หญิงทั้งสิ้นจำนวน 87 คน โดยทำการคัดเลือกผู้พิการทางสายตาแบบเจาะจง (Purposive sampling) ทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีสายตาทาบอดสนิท โดยนำมาเป็นกลุ่มประชากรที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 30 คน (เนื่องจากช่วยให้สามารถควบคุมการทดลองได้ และสามารถทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ดี) โดยแบ่งเป็นเพศชาย 18 คน และเพศหญิง 12 คนที่อายุตั้งแต่ 15-30 ปี เพื่อทำการประเมินความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน

### 2.3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

- 2.3.4.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา
- 2.3.4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ความพึงพอใจทางด้านการใช้งาน รูปแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา และความแข็งแรงทนทานตามมาตรฐาน มอก. 1494-2541

## 2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 2.4.1 แบบสัมภาษณ์ (Interview)

- 2.4.1.1 แบบสัมภาษณ์ผู้พิการทางสายตาเป็นการสัมภาษณ์ถึงปัญหาความต้องการในการออกแบบเพื่อนำมาวิเคราะห์หาแนวทางในการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับผู้พิการทางสายตา
- 2.4.1.2 แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกิจกรรมบำบัดผู้พิการทางสายตาเป็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับกิจกรรมบำบัดที่ส่งผลต่อการดำเนินชีวิตของผู้พิการทางสายตา
- 2.4.1.3 แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบเป็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับรูปแบบและประโยชน์ใช้สอยของชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการดำเนินชีวิตผู้พิการทางสายตา

### 2.4.2 แบบสังเกตการณ์ (Observe)

แบบสังเกตการณ์กิจกรรมการดำเนินชีวิตภายในที่พักอาศัย ได้แก่ กิจกรรมการใช้โต๊ะในการรับประทานอาหาร กิจกรรมการใช้โต๊ะในการฝึกการอ่านอักษรเบลล์ และกิจกรรมการใช้โต๊ะในการเก็บอุปกรณ์ในการดำเนินชีวิต โดยการบันทึกภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหวตลอดจนจดบันทึกเพื่อเป็นข้อมูลในการหาแนวทางในการออกแบบต่อไป

### 2.4.3 แบบประเมินความพึงพอใจ (Satisfaction assessment)

เป็นการประเมินความพึงพอใจด้านการใช้งานทำการประเมินจากต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นทำการประเมินโดยผู้พิการทางสายตาที่มีสายตาทาบอดสนิท โดยมีประเด็นในการประเมินทางด้านหน้าที่ใช้สอย ด้านความปลอดภัย ด้านความแข็งแรงด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน ด้านการดูแลรักษา

## 3. ผลการศึกษา

### 3.1 ผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป็นผลจากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความต้องการในการออกแบบจากผู้พิการทางสายตา การศึกษาลักษณะทางกายภาพ พฤติกรรมของพิการทางสายตา การศึกษาแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องเรือน การ

ออกแบบเพื่อคนทั้งมวล และแนวคิดทฤษฎีซึ่งกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา ตลอดจนการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องเรือนสำหรับผู้พิการทางสายตา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ให้มีความสอดคล้องในการใช้งานในด้านความสะดวกสบาย ความปลอดภัยกับการดำเนินชีวิตของผู้พิการทางสายตา

### 3.2 ผลการสัมภาษณ์

3.2.1 ผลการสัมภาษณ์ผู้พิการทางสายตาควรทำการออกแบบให้มีรูปแบบให้มีความสะดวกสบายในการใช้งาน มีอุปกรณ์เสริมปลั๊กไฟในการต่อใช้งานเครื่องไฟฟ้า มีชั้นวางของ ลิ้นชักเก็บของ และต้องพื้นผิวสัมผัสตามจุดต่าง ๆ เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน

3.2.2 ผลการสัมภาษณ์นักกิจกรรมบำบัดผู้พิการทางสายตาทำการออกแบบโดยประโยชน์ใช้สอยต่าง ๆ ออกแบบให้สามารถพับเก็บเพื่อลดพื้นที่ในการจัดเก็บ ออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดภัยและให้มีผิวสัมผัสตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาใช้งานได้สะดวก ตลอดจนออกแบบโดยเลือกใช้โครงสร้างและวัสดุที่นำมาประกอบให้มีความแข็งแรง

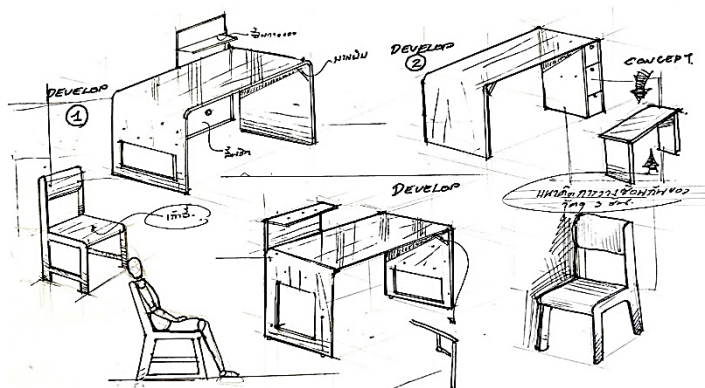
3.2.3 ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบให้มีประโยชน์ใช้สอยในการใช้งาน เลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงและสามารถผลิตในระบบอุตสาหกรรมได้เพื่อการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

### 3.3 ผลการออกแบบ

เป็นผลจากการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องเรือน และแนวคิดทฤษฎีซึ่งกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตาตลอดจนผลการสัมภาษณ์ผู้พิการทางสายตา ผลการสัมภาษณ์นักกิจกรรมบำบัดผู้พิการทางสายตา และผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบโดยนำผลมาวิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้น

#### 3.3.1 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้น

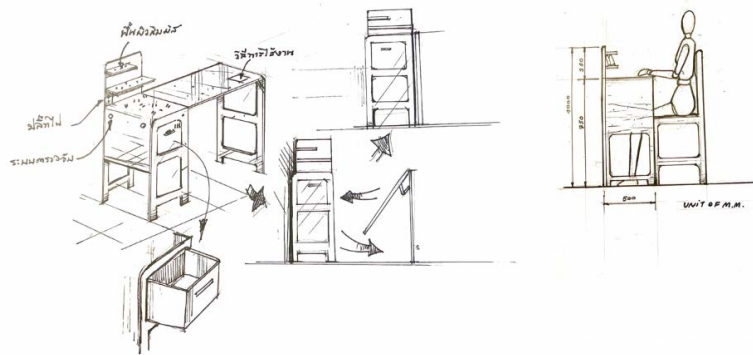
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นที่เป็นผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตลอดจนผลจากคำแนะนำผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดเบื้องต้นชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

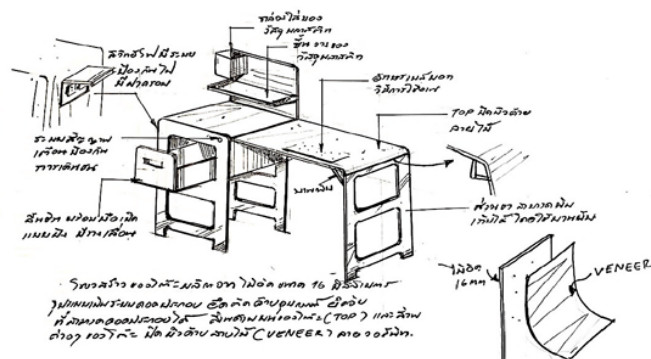
จากภาพที่ 1 เป็นการแสดงแนวคิดเบื้องต้นที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้พิการทางสายตา และผู้เชี่ยวชาญ นำมาวิเคราะห์แล้วนำมาทำการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา





ภาพที่ 2 การพัฒนาแบบร่างชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

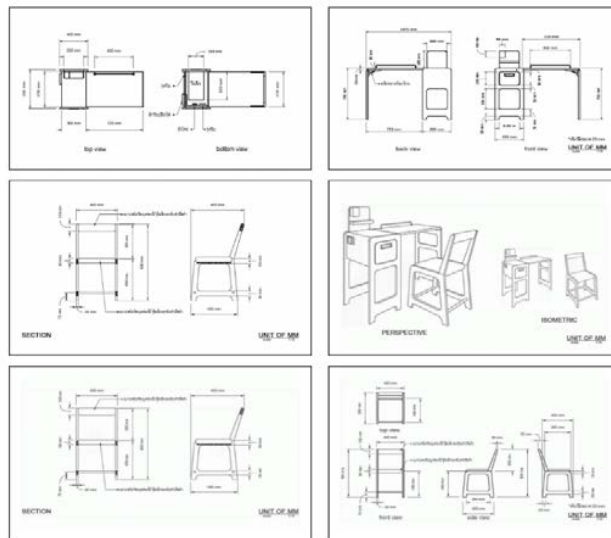
จากภาพที่ 2 เป็นการพัฒนาแบบร่างมีแนวทางในการออกแบบโดยมีระบบเซ็นเซอร์เพื่อตรวจป้องกันการเดินชนของผู้พิการทางสายตา มีลิ้นชักและชั้นวางของราวกับติดตั้งราวกันลื่นของบันไดอยู่ด้านบนของพื้นโต๊ะ มีปลั๊กไฟพร้อมสวิตช์ตัดไฟเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า มีวิธีการใช้งานที่เป็นอักษรเบลล์ ตลอดจนมีการติดพื้นผิวสัมผัสตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาสามารถใช้งานได้สะดวกตลอดจนเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง ความสะอาดสวยงาม ใ้การใช้งานโดยมีขนาดสัดส่วนที่สอดคล้องกับผู้ใช้งาน และการดูแลรักษาสามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการซ่อมแซมได้ง่าย



ภาพที่ 3 แบบร่างรายละเอียดของชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

จากภาพที่ 3 แบบร่างแสดงรายละเอียดของชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาทำการออกแบบให้สามารถพับเก็บได้โดยกำหนดให้โครงสร้างใช้ไม้เนื้อขนาด 16 มิลลิเมตร ปิดผิวด้วย Veneer ลายธรรมชาติมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ระบบส่งสัญญาณกันการเดินชน ลิ้นชัก กล่องและชั้นวางของ สวิตช์ไฟ

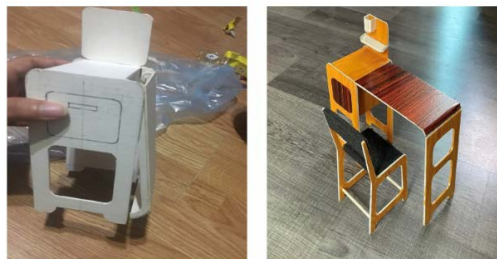
### 3.3.2 การเขียนแบบขั้นผลิต



ภาพที่ 4 การเขียนแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

จากภาพที่ 4 การเขียนแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาเพื่อนำมาเป็นแบบในการผลิตในระบบอุตสาหกรรม

### 3.3.3 การทำหุ่นจำลอง



ภาพที่ 5 การทำหุ่นจำลองทดสอบรูปร่างรูปทรง

จากภาพที่ 5 การทำหุ่นจำลองชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาเพื่อหาความเหมาะสมของรูปร่าง รูปทรง ขนาดสัดส่วนให้มีความสัมพันธ์กับผู้พิการทางสายตา

### 3.2.4 การสร้างต้นแบบ



ภาพที่ 6 การสร้างต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

จากภาพที่ 6 การสร้างต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาโครงสร้างหลักที่ได้แก่ ไม้อัดขนาด 16 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นงานตามแบบ ปิดผิวด้วยวัสดุปิดผิวลายธรรมชาติ

### 3.2.5 ต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา



ภาพที่ 7 ต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา

จากภาพที่ 7 ต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตาประเมินความพึงพอใจโดยผู้พิการทางสายตา รูปแบบออกแบบให้สามารถถอดประกอบและพับได้ เลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างและวัสดุที่นำมาประกอบให้มีความแข็งแรง



ภาพที่ 8 การนำต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ไปประเมินความพึงพอใจ

จากภาพที่ 8 ต้นแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตานำไปประเมินความพึงพอใจทางด้านหน้าที่ใช้สอย ด้านความปลอดภัย ด้านความแข็งแรงด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน ด้านการดูแลรักษา ทำการประเมินโดยผู้พิการทางสายตา

### 3.3 ผลการประเมินความพึงพอใจ

เป็นการประเมินความพึงพอใจด้านการใช้งานจากต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นทำการประเมินโดยผู้พิการทางสายตาโดยมีประเด็นในการประเมินทางด้านหน้าที่ใช้สอย ด้านความปลอดภัย ด้านความแข็งแรงด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน ด้านการดูแลรักษา ทำการประเมินโดยผู้พิการทางสายตา

## ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านรูปแบบของชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา (N = 30)

| หัวข้อในการประเมิน                                                                         | Mean        | S.D         | ระดับความพึงพอใจ  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| <b>ด้านหน้าที่ใช้สอย</b>                                                                   |             |             |                   |
| 1. มีหน้าที่ใช้สอยตอบสนองความต้องการในการใช้งานของผู้พิการทางสายตา                         | 4.33        | 0.96        | พึงพอใจ           |
| 2. มีรูปแบบที่เหมาะสมต่อหน้าที่ใช้สอยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา                       | 4.67        | 0.58        | พึงพอใจมาก        |
| 3. มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อหน้าที่ใช้สอยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา | 4.70        | 0.57        | พึงพอใจมาก        |
| <b>รวม</b>                                                                                 | <b>4.56</b> | <b>0.70</b> | <b>พึงพอใจมาก</b> |
| <b>รูปแบบมีความปลอดภัยต่อการใช้งานของผู้พิการทางสายตา</b>                                  |             |             |                   |
| 1. รูปแบบมีความปลอดภัยต่อการใช้งานของผู้พิการทางสายตา                                      | 4.33        | 0.96        | พึงพอใจ           |
| 2. มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา      | 4.60        | 0.55        | พึงพอใจมาก        |
| 3. มีระบบส่งเสียงเพื่อป้องกันอันตรายจากการเดินของผู้พิการทางสายตา                          | 5.00        | 0           | พึงพอใจมาก        |
| <b>รวม</b>                                                                                 | <b>4.64</b> | <b>0.50</b> | <b>พึงพอใจมาก</b> |
| <b>ด้านความแข็งแรง</b>                                                                     |             |             |                   |
| 1. วัสดุที่นำมาผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน                                 | 4.33        | 0.96        | พึงพอใจ           |
| 2. วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุประกอบมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน                            | 4.60        | 0.55        | พึงพอใจมาก        |
| 3. วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุในการยึดจับมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน                       | 4.67        | 0.58        | พึงพอใจมาก        |
| <b>รวม</b>                                                                                 | <b>4.55</b> | <b>0.69</b> | <b>พึงพอใจมาก</b> |
| <b>ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน</b>                                                        |             |             |                   |
| 1. มีรูปแบบมีความสะดวกสบายในการใช้งานกับผู้พิการทางสายตา                                   | 4.70        | 0.57        | พึงพอใจมาก        |
| 2. มีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้พิการทางสายตา                                              | 4.33        | 0.96        | พึงพอใจ           |
| 3. มีความสะดวกสบายในการพับเก็บหลังเลิกใช้งาน                                               | 4.33        | 0.96        | พึงพอใจ           |
| <b>รวม</b>                                                                                 | <b>4.45</b> | <b>0.83</b> | <b>พึงพอใจ</b>    |
| <b>ด้านการดูแลรักษา</b>                                                                    |             |             |                   |
| 1. สามารถถอดประกอบเพื่อนำมาทำความสะอาดได้                                                  | 4.33        | 0.96        | พึงพอใจ           |
| 2. สามารถถอดชิ้นส่วนต่างๆเพื่อนำมาซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ได้                              | 4.60        | 0.55        | พึงพอใจมาก        |
| 3. วัสดุที่ใช้ในการยึดติดสามารถถอดเพื่อเปลี่ยนอะไหล่ได้                                    | 4.67        | 0.58        | พึงพอใจมาก        |
| <b>รวม</b>                                                                                 | <b>4.53</b> | <b>0.69</b> | <b>พึงพอใจมาก</b> |
| <b>ผลการประเมินรวม</b>                                                                     | <b>4.54</b> | <b>0.86</b> | <b>พึงพอใจมาก</b> |

จากตาราง 1 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านรูปแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากโดยมีด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ ด้านความปลอดภัย และด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน สามารถเรียงลำดับจากด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

**ด้านความปลอดภัย** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.64 โดยสามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อที่ 2 มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60

ข้อที่ 3 วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุในการยึดจับมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00

ข้อที่ 1 วัสดุที่นำมาผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

**ด้านหน้าที่ใช้สอย** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 โดยสามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อที่ 2 รูปแบบที่เหมาะสมต่อหน้าที่ใช้สอยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

ข้อที่ 3 มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อหน้าที่ใช้สอยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.67

ข้อที่ 1 มีหน้าที่ใช้สอยตอบสนองความต้องการในการใช้งานของผู้พิการทางสายตา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

**ด้านความแข็งแรง** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 โดยสามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อที่ 3 วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุในการยึดจับมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

ข้อที่ 2 วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุประกอบมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60

ข้อที่ 1 วัสดุที่นำมาผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

**ด้านการดูแลรักษา** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 โดยสามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อที่ 3 วัสดุที่ใช้ในการยึดติดสามารถถอดเพื่อเปลี่ยนอะไหล่ได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67

ข้อที่ 2 สามารถถอดชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อนำมาซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60

ข้อที่ 1 สามารถถอดประกอบเพื่อนำมาทำความสะอาดได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

**ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 โดยสามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อที่ 1 มีรูปแบบมีความสะดวกสบายในการใช้งานกับผู้พิการทางสายตา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70

ข้อที่ 2 มีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้พิการทางสายตา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

ข้อที่ 3 มีความสะดวกสบายในการพับเก็บหลังเลิกใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33

### 3.4 ผลการทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรม

การทดสอบชุดโต๊ะเนกประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตา โครงสร้างทำจากไม้ัดโดยมีขนาดกว้าง 445 x ยาว 1,115 x สูง (หน้าโต๊ะ) 747 (มม.) ทำการทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของโต๊ะโดยใช้วิธีทดสอบแรงสถิตกระทำในแนวดิ่ง บนพื้นที่หลักให้แรงกดพื้นโต๊ะในแนวดิ่ง 1,200 นิวตัน ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่อาจจะเกิดการเสียหายได้ง่าย 3 จุด จุดละ 10 ครั้ง ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของชุดโต๊ะเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา**

| วิธีการทดสอบ          | การทดสอบ                   | ผลทดสอบ |
|-----------------------|----------------------------|---------|
|                       | ความแข็งแรงและทนทานของโต๊ะ |         |
| แรงสถิตกระทำในแนวดิ่ง | แรงกด 1200 นิวตัน 10 ครั้ง | ผ่าน    |

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของโต๊ะเนกประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตา ที่เป็นผลจากการทดสอบแรงสถิตกระทำในแนวดิ่ง บนพื้นที่หลักให้แรงกดพื้นโต๊ะในแนวดิ่ง 1,200 นิวตัน ณ ตำแหน่ง

ใด ๆ ที่อาจจะเกิดการเสียหายได้ง่าย 3 จุด จุดละ 10 ครั้ง ผลการทดสอบพบว่าแรงสถิติกระทำในแนวตั้งแรงกด 1,200 นิวตัน 10 ครั้ง มีความแข็งแรงตรงตามมาตรฐานการทดสอบ

## 4. สรุป

### 4.1 สรุปผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุปผลจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความต้องการในการออกแบบจากผู้พิการทางสายตา การศึกษา ลักษณะทางกายภาพ พฤติกรรมของพิการทางสายตา การศึกษาแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องเรือน การออกแบบเพื่อคนทั้งมวล และแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา ตลอดจนการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องเรือนสำหรับผู้พิการทางสายตา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมคุณภาพ ชีวิตของผู้พิการทางสายตาจากผลการศึกษาผู้วิจัยได้นำผลจากการศึกษามาเป็นแนวทางในการออกแบบชุดโต๊ะ เอนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา ให้มีความสอดคล้องกับการใช้งาน ความปลอดภัยในการ ใช้งาน ความแข็งแรง ความสะดวกสบายในการใช้งาน ขนาดสัดส่วนให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน การดูแลรักษา การซ่อมแซม

### 4.2 สรุปผลการสัมภาษณ์

สรุปผลจากการสัมภาษณ์เป็นผลการสัมภาษณ์ผู้พิการทางสายตา นักกิจกรรมบำบัดผู้พิการทางสายตาและ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ พบว่าออกแบบให้มีความสะดวกสบายในการใช้งานเช่น มีอุปกรณ์เสริมปลั๊กไฟในการ ต่อใช้งานเครื่องไฟฟ้า มีชั้นวางของ และช่องเก็บของ ออกแบบให้สามารถพับเก็บเพื่อลดพื้นที่ในการจัดเก็บ ออกแบบให้ มีความปลอดภัยและให้มีผิวสัมผัสตามจุดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาใช้งานได้สะดวกและคำนึงถึงความแข็งแรง สอดคล้องกับ Jarinthong (2019) กล่าวถึงการใช้งานของโต๊ะควรทำการออกแบบให้มีความสะดวกในการทำงาน และ สะดวกในการเคลื่อนย้าย สามารถพับเก็บได้ เนื่องจากผู้ใช้เป็นผู้พิการทางสายตา และออกแบบให้สามารถผลิตในระบบ อุตสาหกรรมได้เพื่อการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์สอดคล้องกับ Saributr (2007) ได้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องเรือนควร ทำการออกแบบให้สามารถผลิตในระบบอุตสาหกรรมได้

### 4.3 สรุปผลการออกแบบ

สรุปผลการออกแบบชุดโต๊ะเอนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตารูปแบบออกแบบ ให้สามารถถอดประกอบและพับได้ เลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างและวัสดุที่นำมาประกอบให้มีความแข็งแรงซึ่ง รูปแบบโต๊ะเอนกประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตาประกอบไปด้วย เก้าอี้ที่มีรูปทรงที่มีความสอดคล้องกับโต๊ะ มีระบบ เช่นเซอร์เพื่อตรวจสอบป้องกันการเดินชนของผู้พิการทางสายตา มีลิ้นชักและชั้นวางของราวกับติดตั้งราวกันลื่นของลิ้นที่อยู่ ด้านบนของพื้นโต๊ะ มีปลั๊กไฟพร้อมสวิตช์ตัดไฟเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า มีวิธีการใช้งานที่เป็นอักษรเบลล์ ตลอดจน มีการติดพื้นผิวสัมผัสตามจุดต่าง ๆ มีความสอดคล้องกับ Jarinthong (2019) ได้ศึกษาการใช้งานของโต๊ะควรทำการ ออกแบบให้มีความสะดวกในการทำงาน และสะดวกในการเคลื่อนย้าย สามารถพับเก็บได้ ตลอดจนยังคำนึงถึงหน้าที่ ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรงด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน การดูแลรักษา สอดคล้องกับแนวคิดในการ ออกแบบออกแบบเฟอร์นิเจอร์ของ Saributr (2007) กล่าวถึงการออกแบบออกแบบเฟอร์นิเจอร์ต้องคำนึงถึงหน้าที่ใช้สอย ออกแบบให้มีความสอดคล้องกับการใช้งาน ความปลอดภัยควรออกแบบให้ความปลอดภัยในการใช้งาน ความแข็งแรง การเลือกใช้วัสดุทั้งโครงสร้างและวัสดุประกอบให้คำนึงถึงความแข็งแรง ด้านความสะดวกสบายในการใช้งานออกแบบ โดยให้มีขนาดสัดส่วนให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน การดูแลรักษาออกแบบให้สามารถถอดประกอบเพื่อการซ่อมแซมหรือเปลี่ยน อะไหล่ต่าง ๆ ของเครื่องเรือนได้และผลของการออกแบบยังส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา มีความสอดคล้อง กับการพัฒนาคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลก WHO (2007) กล่าวถึงตัวชี้วัดถึงคุณภาพชีวิตของแต่ละบุคคล สามารถ อธิบายได้ดีที่สุดจากความพึงพอใจที่แต่ละบุคคลได้รับได้การจัดสภาพที่อยู่อาศัยสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้ออำนวย ให้กับการใช้ชีวิตของผู้พิการทางสายตา



#### 4.4 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจ

สรุปผลการประเมินความพึงพอใจด้านรูปแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ที่ใช้ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้พิการทางสายตา พบว่า

**ด้านความปลอดภัย** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจ มีการการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา การเลือกใช้วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุในการยึดจับและวัสดุที่นำมาผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน

**ด้านหน้าที่ใช้สอย** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก มีรูปแบบที่เหมาะสมต่อหน้าที่ใช้สอยกับการใช้งานของผู้พิการทางสายตา มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น มีปลั๊กไฟในการต่อใช้งานเครื่องไฟฟ้าที่จำเป็น มีชั้นวางของ และช่องเก็บของที่เหมาะสมต่อหน้าที่ใช้สอยและตอบสนองความต้องการในการใช้งานของผู้พิการทางสายตา

**ด้านความแข็งแรง** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก เลือกใช้วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุในการยึดจับเช่น น็อต ฉาก เข็มมูที่เป็นวัสดุสแตนเลสที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุประกอบเช่น บานพับ รางบานพับ รางเลื่อนเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง ส่วนโครงสร้างเลือกใช้แผ่นไม้อัดขนาด 16 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน

**ด้านการดูแลรักษา** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดติด ที่สามารถถอดเพื่อ การซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ได้ ชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น บานพับและรางเลื่อนสามารถถอดนำไปซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ ได้รวมถึง อุปกรณ์ทุกชิ้นยังสามารถถอดประกอบเพื่อนำมาทำความสะอาดได้

**ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน** ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก รูปแบบมีความสะดวกสบายในการ ใช้งานกับผู้พิการทางสายตา โดยมีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับผู้พิการทางสายตา และยังสามารถพับเก็บหลังเลิกใช้งาน

ผลการประเมินความพึงพอใจมีความสอดคล้องกับแนวคิดในการออกแบบออกแบบเฟอร์นิเจอร์ของ Saributr (2007) กล่าวถึงการออกแบบออกแบบเฟอร์นิเจอร์ ต้องคำนึงถึงหน้าที่ใช้สอยออกแบบให้มีความสอดคล้องกับการใช้งาน ความปลอดภัยควรออกแบบให้ความปลอดภัยในการใช้งาน ความแข็งแรงการเลือกใช้วัสดุทั้งโครงสร้างและวัสดุประกอบ ให้คำนึงถึงความแข็งแรง ด้านความสะดวกสบายในการใช้งานออกแบบโดยให้มีขนาดสัดส่วนให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน การดูแลรักษาออกแบบให้สามารถถอดประกอบเพื่อการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ต่าง ๆ ของเครื่องเรือนได้ตลอดจน ยังช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา

ส่วนด้านที่มีข้อที่ค่าเฉลี่ยน้อยได้แก่ ด้านหน้าที่ใช้สอย ข้อที่ 1 มีหน้าที่ใช้สอยตอบสนองความต้องการในการ ใช้งานของผู้พิการทางสายตา ในส่วนของการพับเพื่อจัดเก็บโต๊ะควรทำการติดตั้งอุปกรณ์ผ่อนแรงช่วยในการพับเก็บและ ควรทำการออกแบบล้อที่สามารถล้อได้เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ด้านความปลอดภัย ข้อที่ 1 รูปแบบมีความปลอดภัย ต่อการใช้งานของผู้พิการทางสายตา ควรทำการติดตั้งอุปกรณ์กันกระแทกตามจุดต่าง ๆ ด้านความสะดวกสบายในการ ใช้งาน ข้อที่ 1 มีรูปแบบมีความสะดวกสบายในการใช้งานกับผู้พิการทางสายตา เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและขนาด สัดส่วนของผู้พิการทางสายตามีขนาดสัดส่วนต่างกันควรทำการออกแบบใช้สามารถปรับขนาดให้มีความเหมาะสมกับ ผู้ใช้งาน โดยเฉพาะความสูง ความกว้าง ด้านการดูแลรักษา ข้อที่ 1 สามารถถอดประกอบเพื่อนำมาทำความสะอาดได้ ควรทำการออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ทุกชิ้น ทั้งนี้ควรเลือกใช้อุปกรณ์ถอดประกอบ (fitting) ที่สะดวกต่อการ ถอดทำความสะอาดสำหรับผู้พิการทางสายตา

#### 4.5 สรุปผลการทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรม

ผลการทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของโต๊ะอเนกประสงค์สำหรับผู้พิการทางสายตา ใช้แรงสถิติกระทำ ในแนวตั้งเป็นวิธีในการทดสอบ โดยในการทดสอบใช้แรงกด 1200 นิวตัน จำนวน 3 จุด จุดละ 10 ครั้ง ผ่านการทดสอบ เสถียรภาพและความแข็งแรงทนทาน ตามมาตรฐาน มอก. 1494-2541

## 5. เอกสารอ้างอิง

- Chanprasert, P. (2017). **Elderly people, self-reliance**. Office of Knowledge Creation and Management. Bangkok: Department of Health, Ministry of Public Health. (in Thai)
- Department of Promotion and Development of Quality of Life for Persons with Disabilities. (2007). **Promotion and development of quality of life of persons with disabilities act 2007**. Retrieved from <https://dep.go.th/th/home>. (in Thai)
- Gurdal Dursin, A. (2021). **Information and education design for the visually impaired and blind. Department of Visual Arts Education**. Faculty of Education, Abant İzzet Baysal University, Bolu, Turkey.
- Jarinthong, K. (2019). Project to design and develop a multi-purpose woodworking laboratory table. **Journal of Nmcccon**, 20, 264-271. (in Thai)
- Kruenet, S. (2016). **Improving the quality of life**. Bangkok: Liang Chiang Publishing House. (in Thai)
- Ministry of Education. (2009). **Specifying the types and criteria for persons with disabilities in education**. Retrieved from <https://th.wikisource.org/> (in Thai)
- Nitiruangjarat, K. (2018). **Improving the quality of life of the visually impaired according to the 4 principles of the Khao Suan Kwang Blind Association. Khao Suan Kwang District**. (Research report) Khon Kaen Province: Research report, Mahachulalongkornrajavidyalaya University. (in Thai)
- Ministry of Industry. (1998). **Industrial Standards Institute**. Retrieved from <https://www.kpp-local.go.th/> (in Thai)
- Panyindee, S. (2018). The way of life of blind musicians in Thai society: a case study of Bangkok. **Journal of Krasatadham**, 12, 100-119.
- Saributr, U. (2007). **Furniture design**. Bangkok: Odeon Store Publishing.
- WHO. (2007). **The World Health Organization Quality of Life**, p. 607. (Cited in Butler and Ciarrochi, 2007).

(Received: 28/Oct/2023, Revised: 27/Dec/2023, Accepted: 28/Dec/2022)

## Assessment of the Positional Accuracy of Digital Elevation Model Derived from Low-Cost UAV

พีรพัฒน์ คำเกิด<sup>1</sup> ดุษฎี คำบุญเรือง<sup>1\*</sup> และ นเรนทร บุญส่ง<sup>2</sup>

Phurith Meeprom<sup>1\*</sup>, Narong Pleerux<sup>1</sup>, Sawarin Lerk-u-suke<sup>2</sup>

and Wirote Laongmanee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Geo-Informatics, Burapha University

<sup>2</sup> Department of Geo-Informatics, School of Information and Communication Technology, University of Phayao

<sup>3</sup> Faculty of Marine Technology, Burapha University Chanthaburi Campus

\*E-mail: phurith@buu.ac.th Tel: 089-9251829

### Abstract

The objective of this research was to evaluate the positional accuracy of a digital elevation model derived from low-cost Unmanned Aerial Vehicle in the Recreation Park of Burapha University, Mueang district, Chonburi province using 6 ground control points and 24 checkpoints obtained through Real-Time Kinematic (RTK) surveys. The results indicated that the Root Mean Square. Error (RMSE) value at the confidence level of 95%, without using GCPs had a horizontal positional accuracy of 0.073-0.246 meters and a vertical positional accuracy of 0.270-0.429 meters. These values meet the standards set by the National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) and the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Based on these results, the researchers recommend creating a photographic map at a scale of 1:4,000. Additionally, contour range data should be generated with a minimum interval of 100 centimeters. When GCPs were utilized in the process, the RMSE value at the confidence level of 95%, demonstrated the horizontal positional accuracy ranged from 0.054-0.093 meters, while the vertical positional accuracy ranged from 0.114-0.333 meters. These values also complied with NSSDA and ASPRS requirements, allowing for the creation of a 1:1,000 scale photographic map. Additionally, contour range data can be generated with a minimum interval of at least 50 cm. According to this study, digital elevation models from low-cost UAVs can be used both without and with GCPs for applications that do not require very detailed and precise verticality values, such as building elevation surveys, tree height, or the height of large billboards, etc., because the difference in elevation values between features within the study area is still within acceptable criteria.

**Keywords :** Assessment of the Positional Accuracy, Digital Elevation Modelling, Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle

### 1. Introduction

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is equipped with high definition digital cameras with software to help control automatic flight This makes it possible to record aerial photographs with high resolution at the Mega Pixel (MP) level and can produce numerical elevation data using the Digital UAV Photogrammetry surveying principle by surveying UAV Photogrammetry with three-dimensional coordinate data and using the 3D point cloud classification technique (Pix4D, 2021) to create a Digital Elevation Model, a survey process with aerial photographs from Unmanned Aerial Vehicle. Therefore,

it is an alternative that is gaining popularity today to utilize in generating spatial data with centimeter-level high spatial resolution and creating a Digital Elevation Model (Santise et al., 2014; Uysal et al., 2015; Webster et al., 2018).

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is a generic aircraft designed to operate with no human pilot onboard. Recent development in sensors and flying platforms has significantly broadened their application (Raczynski, 2017) and their usage in land surveying has become a common practice. Low quality photographs directly affect the bundle adjustment results together with accuracy and density of generated point clouds and the generated Digital Terrain Model, consequently reducing the accuracy of orthophotos and extracted coordinates (Wierzbicki et al., 2017). Although, no measurement in a survey is exact (Mantey et al., 2022), errors must be kept to a minimum as possible. This study seeks to investigate the appropriate time of the day to achieve the highest positional accuracy when using UAV surveys with emphasis on horizontal coordinates.

The term UAV is used commonly in Geomatics and Computer Science, Robotics and Artificial Intelligence, as well as the Photogrammetry and Remote Sensing communities. Recently, UAVs are equipped with several units and sensors, which has become an integral part of the UAV and helps in the photogrammetric process. To be able to perform autonomous flight with predetermined waypoints or path, a GNSS receiver is introduced in the design of UAV. GNSS is not only used for autonomous steering but also for georeferencing the images. Currently, Real Time Kinematics (RTK) GNSS are being tested for their ability to perform direct georeferencing to eliminate or reduce the necessity of using Ground Control Points (GCPs). Unmanned Aerial Vehicle are widely used in many applications for different purposes. Recent developments in sensor and flying platforms have significantly broadened their application (Raczynski, 2017).

Accuracy is one of the most important factors of land surveys. The purpose of land survey is to accurately determine or establish relative positions of points above, on or beneath the Earth surface (Mantey et al., 2022). Although accuracy of land surveys is very important, surveys have not always been as accurate as they are now as a result of technological advancement in the land survey profession (Hung et al., 2019). Over the years, the fundamental basics of land surveying have hardly changed, however, the technology and methods used have advanced along with the accuracy of surveying. This makes the equipment and methods used an important element that affects the accuracy of surveying.

The preparation of the Digital Elevation Model (DEM) should consider the spatial accuracy of the obtained Digital Elevation Model (DEM) data because the acquisition of the Digital Elevation Model from various processes has a certain level of reliability and reliability different accuracy based on fundamental data, processes and controls, the aerial surveying process is now regarded as highly accurate. But the process of creating a Digital Elevation Model in various ways is quite complex and requires a high knowledge of operations Development is therefore quite limited. In addition, the accuracy problem of the Digital Elevation Model also requires different resolutions depending on the type of application. Therefore, accuracy must be evaluated by considering the RMSE value compared to the reference value. This may be obtained by various methods, such as surveying

coordinates with the Global Navigation Satellite System (GNSS) or comparing with the National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) at a confidence level of 95 percent or comparing the standard map scale of flat resolution according to the Cartographic Society Standards from the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) (Kanplumjit et al., 2020; Laphitchayangkul et al., 2020). Assessment of accuracy of orthophotos can be qualitative or quantitative. Qualitative assessment of orthophotos involves visually inspecting them. Daramola et al. (2017) qualitatively assessed the accuracy of orthophoto by overlaying measured features on the digitized features. Visual assessment of the overlaid feature was done by comparing the digitized feature on Orthomosaic with the area computed through conventional survey. With a qualitative assessment, minor deformations can be detected on the orthophoto and can further be analyzed with the purpose of illustrating the type of error present. Quantitative assessment on the other hand deals with analyzing measurements made on the orthophoto. They consist of parameters such as positional and geometric accuracy (Hung et al., 2019). Positional accuracy includes horizontal and vertical accuracies of checkpoints. Geometric accuracy is also similar to positional accuracy in terms of measurement. The only difference here is that accuracies are assessed on an object level in geometric accuracy. A number of permanent objects are digitized and measured on an orthophoto, and their values are compared with the actual measurements made on the ground (Koeva et al., 2018).

The accuracy of an orthophoto or any final photogrammetric product is dependent on a number of factors (Hung et al., 2019). Variation in these factors in either way affects the final accuracy of the product (Gindraux et al., 2017). These factors range from the data acquisition stage to the production of the final output. Some of the factors which accuracy of orthophotos depend on include initial image quality; accuracy of GCPs; distribution of GCPs; image overlap (forward and side); flight altitude; camera resolution; and software for processing (Mantey et al., 2022). The preparation of the Digital Elevation Model in many studies has used positional data from UAVs to study by Hung et al. (2019), creating a local photo map with a small Unmanned Aerial Vehicle automatically. The study found that they can produce map photographs from small Unmanned Aerial Vehicle in a large scale of 1: 1,000 and produces a contour range of not less than 24 cm (Santise et al., 2014). The study to evaluate the accuracy of the creation of a Digital Elevation Model from UAV aerial photographs at the university campus in Par at the flying height of 70 meters and 140 meters, it was found that at the flying height of 140 meters, the RMSE value was better than that of the flying height of 70 meters, except for some of the roofs of tall buildings. Assessment of the accuracy of positional data results for quality and compliance with standard requirements can be verified by conducting a horizontal accuracy assessment based on the United States National Standard for Positional Data Accuracy (NSSDA) of the Federal Geographic Data Committee (FGDC) and the American Society for Visual Surveying and Remote Sensing (ASPRS) standards (Engineering Institute of Thailand, 2018).

The aim of this study is to assess the positional accuracy of a digital elevation model (DEM) generated from low-cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in the Recreation Park of Burapha University, located in the Mueang district of Chonburi province. In the case of a small area like the Recreation Park of Burapha University, the conditions for conducting a survey with high-accuracy data, such as

establishing precise ground control points (GCPs), can be challenging. High-accuracy GCPs are typically used to improve the positional accuracy of photogrammetric products derived from UAV imagery.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Study Sites

This study was conducted in Recreation Park of Burapha University, Mueang district, Chonburi province. The study area covers about 0.15 square kilometers.



Figure 1 Study site in Recreation Park of Burapha University

### 2.2 Materials

The materials used in achieving the objectives of this study included GCPs, aerial images, software, GNSS RTK e-Survey (e-300 Pro) equipment and personal computer. The data sources used in this study were entirely primary data. The data included UAV derived images of the area under study as well as measured ground coordinates of points in the study area. The software used in this study was Drone deploy and Open Drone Map (ODM). The primary data was acquired using the following equipment: DJI Mavic 2 PRO Drone with Transmitter (Figure 2); e-300 Pro GNSS RTK receivers (Figure 3).



Figure 2 DJI Mavic 2 PRO Drone





Figure 3 e-300 Pro GNSS RTK receivers

## 2.3 Methodology

The methods employed in this study were in four phases. The first phase was the data acquisition process, the second phase was the data processing and orthophoto generation, the third phase was the feature extraction from the orthophotos, and the last phase was the accuracy assessment (Figure 4).

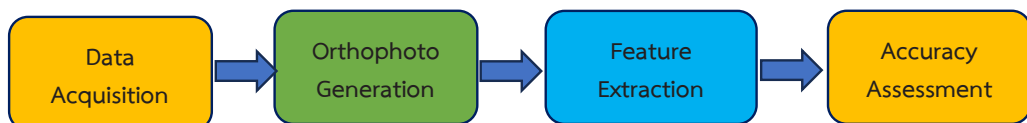


Figure 4 Flow chart of the methodology

### 2.3.1 Data Acquisition

The data used for this study included surveyed GCPs and aerial images acquired with a UAV (DJI Mavic 2 PRO). Ground coordinates of control points and check points were also determined using static GNSS survey.

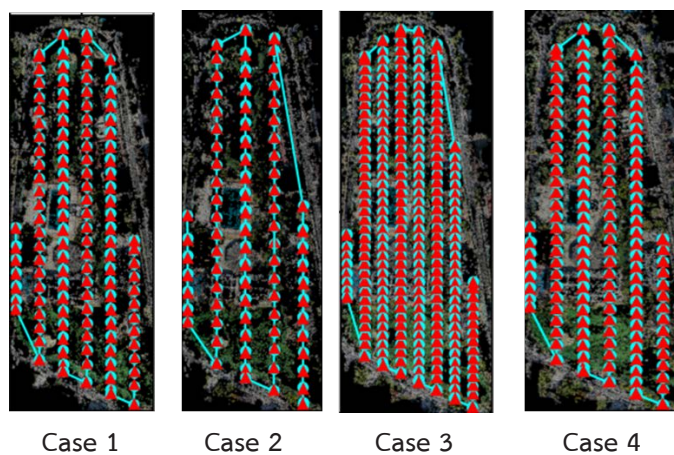
1) Reconnaissance: A preliminary inspection of the study area was first performed. Part of the reconnaissance included identifying an open space that could be used as a safe take-off and landing area. Controls within the study area were also identified to be used as GCPs. Tall buildings, telecommunication masks, electric and network poles, trees, and other obstructions were identified and avoided in planning the flight.

2) Flight Planning: The Drone deploy software was used in planning the mission of the UAV. Parameters set in the drone deploy software remained the same for all flights. Reconnaissance before the mission planning helped in choosing parameters for the flight. Batteries of the drone were fully charged and calibrated. Before flight, Pre-flight tests were also carried out to ensure proper functioning before proceeding to take-off. Flight lines were designed for the area under study on a digital map embedded in the software. The photography plan was divided into 4 case studies including defining 2 levels of flying height, such as flying height at 70 and 90 meters and defining front overlap and side overlap in 2 types, such as 80% front overlap and 70% side overlap; and 70 % of

the front overlay and 60 % of the side overlay, which obtained the number of images in each case study as shown in Table 1.

**Table 1: Parameters used in planning the flights**

| Parameters                  | Case 1        | Case 2       | Case 3        | Case 4        |
|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Flight height or altitude   | 70 m          | 90 m         | 70 m          | 90 m          |
| Time of flight              | 12 min 22 sec | 9 min 38 sec | 23 min 13 sec | 15 min 48 sec |
| GSD                         | 4.5 cm/px     | 5.8 cm/px    | 4.4 cm/px     | 5.9 cm/px     |
| Front overlap               | 70%           | 70%          | 80%           | 80%           |
| Side overlap                | 60%           | 60%          | 70%           | 70%           |
| Number of images per flight | 123           | 83           | 247           | 146           |



**Figure 5 Flight Planning in four case study**

3) Measurement of Ground Control Points (GCPs) and Check Points: GCPs are included in aerial surveys to enhance the accuracy of the final product and can be avoided or minimized if the UAV has a dual frequency GNSS onboard. Precise survey pillars were used as GCPs. This was due to the fact that GCPs were placed on the ground. before flight would not persist for the whole period of the image acquisition due to human activities. Conspicuous existing natural and artificial features on the ground were also used as check points considering their clarity on the aerial photographs. The precise coordinates of the control points and check points were all surveyed using differential GNSS technique in the static mode. Six GCPs and 24 check points were distributed in the study area and used as testing and correction points. The coordinates of the GCPs are shown in Table 2 and Figures 6.

4) Image Acquisition: In preparation for the flight, the UAV, the Radio Connection transmitter, and an iPad tablet were connected. The drone only took off after ensuring that all checklists had been verified. These checklists consisted of: Connection of transmitter (controller) to drone; Drone GPS satellites; Camera is ready; Drone is calibrated; and Mission uploaded to drone. Other important factors such as the battery levels for both the transmitter and drone among others were also checked.

The drone images of the study area were acquired in four case studies (Flight height at 70 m and 90 m, Front overlap/ Side overlap 80/70 and 70/60) During the aerial survey, the number of satellites visible to the onboard GNSS ranged between 14 to 19.

**Table 2 Coordinates (in UTM Zone 47N) of GCPs and Check Points**

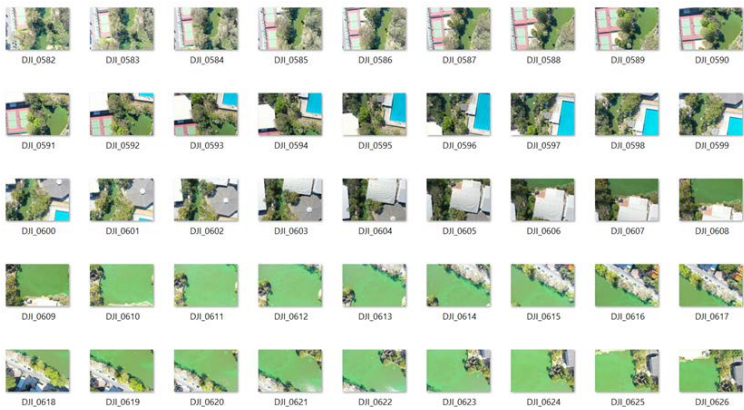
| Point Name | UTM WGS84  |             |        |
|------------|------------|-------------|--------|
|            | E (m.)     | N (m.)      | H (m.) |
| GCP00      | 708748.833 | 1468480.848 | 2.603  |
| GCP01      | 708778.296 | 1468649.755 | 2.694  |
| GCP02      | 708901.540 | 1468371.027 | 2.569  |
| GCP03      | 708789.684 | 1468246.296 | 2.470  |
| GCP04      | 708937.977 | 1468231.691 | 2.705  |
| GCP05      | 708754.902 | 1468628.714 | 2.623  |
| GCP06      | 708735.375 | 1468307.249 | 2.301  |
| GCP07      | 708739.847 | 1468365.089 | 2.475  |
| GCP08      | 708883.905 | 1468519.340 | 2.443  |
| GCP09      | 708748.210 | 1468244.379 | 2.184  |
| GCP10      | 708904.616 | 1468163.821 | 2.637  |
| GCP11      | 708867.849 | 1468177.522 | 2.403  |
| GCP12      | 708747.277 | 1468506.142 | 2.710  |
| GCP13      | 708755.081 | 1468562.429 | 2.612  |
| GCP14      | 708930.091 | 1468285.770 | 2.870  |
| GCP15      | 708771.813 | 1468428.123 | 2.270  |
| GCP16      | 708881.442 | 1468586.660 | 2.556  |
| GCP17      | 708812.392 | 1468459.613 | 2.477  |
| GCP18      | 708892.287 | 1468261.163 | 2.690  |
| GCP19      | 708840.852 | 1468409.599 | 1.939  |
| CP20       | 708742.747 | 1468419.431 | 2.840  |
| GCP21      | 708839.262 | 1468354.172 | 2.100  |
| GCP22      | 708856.666 | 1468304.228 | 1.932  |
| GCP23      | 708794.893 | 1468597.772 | 2.389  |
| GCP24      | 708759.460 | 1468309.825 | 2.191  |
| GCP25      | 708904.189 | 1468437.146 | 2.426  |
| GCP26      | 708798.659 | 1468498.349 | 1.977  |
| GCP27      | 708857.659 | 1468625.320 | 2.731  |
| GCP28      | 708784.368 | 1468227.542 | 2.294  |
| GCP29      | 708865.263 | 1468599.843 | 2.682  |

2.3.2 Orthophoto Generation (Data Processing)

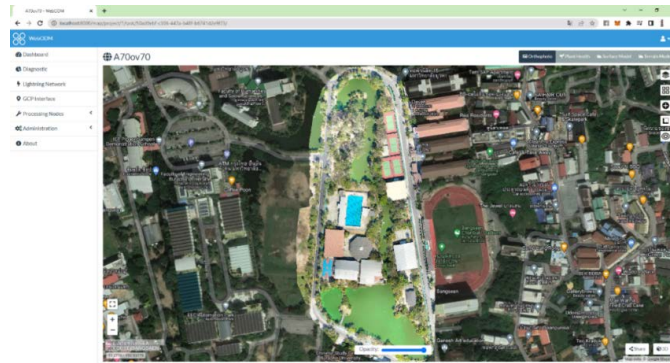
Data processing and orthophoto generation was done using an Open Drone Map (ODM) and QGIS Desktop Software. A series of procedures were undertaken in the software before the orthophotos were produced. The first step in creating the orthophotos was to load the UAV acquired images in the Open Drone Map. It involved selecting images from the appropriate folder for further processing. The next step after adding photos in the software was to align the uploaded images. At this stage software finds the camera position and orientation for each photo and builds a sparse point cloud model. In the software, alignment is done with the Structure for Motion (SfM), technique. SfM detects geometrical similarities with specific details that serve as image feature points. The movement of these points throughout the whole sequence in the workspace is thereby monitored giving an estimation of feature point positions and subsequently rendered as three-dimensional point cloud. When these are identified, the software refines camera calibration parameters to create point cloud data and a set of camera positions [16], generate and visualize a Digital Elevation Model (DEM). A DEM was rasterized from the dense point cloud for higher accuracy. DEM is required in the production of orthophoto since software uses the Triangular Irregular Network (TIN) surface to correct for displacement and calculated exterior orientations for georeferencing in the orthorectification process Orthomosaic were built based on the generated DEM.



Figures 6 The distribution of GCPs and check points in the study area



Figures 7: Aerial images acquired with a UAV



Figures 8: Orthophoto generation

### 2.3.3 Extraction of Coordinates and Accuracy Assessment

Evaluation of the positional accuracy of the Digital Elevation Model In this study, the accuracy of the horizontal and vertical positional data was compared using 2 methods:

1) Positional accuracy analysis without using ground control points (GCPs) and using GCPs by taking the horizontal and vertical coordinates of all test points Let's read the coordinates of the same location with a geospatial program. and calculate the Root Mean Square Error (RMSE) of the ground image control point. and check point using the following equation:

$$RMSE_x = \sqrt{\sum(x_{data} - x_{Gnss})^2/n} \quad [1]$$

$$RMSE_y = \sqrt{\sum(y_{data} - y_{Gnss})^2/n} \quad [2]$$

$$RMSE_{total} = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \quad [3]$$

$$RMSE_z = \sqrt{\sum(z_{data} - z_{Gnss})^2/n} \quad [4]$$

Then use the RMSE value obtained to calculate the positional accuracy at the confidence level of 95 percent according to the NSSDA standard as in equation 4-5.

Horizontal positioning accuracy (Accuracy H)

$$Accuracy\ 95\% = 1.7308 \times RMSE \quad [5]$$

Vertical positioning accuracy (Accuracy Z)

$$Accuracy\ 95\% = 1.9600 \times RMSE \quad [6]$$

The positional accuracy at the 95% confidence level was compared with the standard ASPRS [17], which is a criterion for positional accuracy on the map scale which will show that the Digital Elevation Model that is in the ASPRS standard, which scale map is suitable for production.

2) Comparison of accuracy in pixel units without using GCPs and using GCPs was analyzed by converting RMSE value to RMSE/ GSD which shows accuracy in pixel unit in form of radiance discrepancy. The results were then compared with the ASPRS standard, which determined that the horizontal positioning accuracy, both the east (E) and north (N) values that are less than or equal to 1 pixel are orthophotos that can be used in the highest accuracy work, if less than or equal to 2 pixels are orthophotos that can be used. In Standard Mapping and GIS work and if more than 3

orthophoto points are low quality orthophotos, can be used in Visualization and less accurate work to know if the Digital Elevation Model is in the ASPRS standard.

### 3. Result

Evaluation results of positional accuracy of the Digital Elevation Model both horizontally and vertically. The research findings are as follows:

1) The results of the horizontal and vertical positional accuracy analysis (RMSE) without using GCPs and using GCPs showed that the use of GCPs resulted in both horizontal and vertical positional accuracy than not using GCPs as shown in Table 3.

**Table 3 Comparison of positional accuracy without GCPs and with GCPs**

| Case Study | Horizontal Accuracy |           | Vertical Accuracy |           |
|------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|
|            | Without GCPs        | With GCPs | Without GCPs      | With GCPs |
| 1          | 0.042               | 0.035     | 0.138             | 0.117     |
| 2          | 0.061               | 0.054     | 0.159             | 0.124     |
| 3          | 0.099               | 0.031     | 0.219             | 0.058     |
| 4          | 0.142               | 0.051     | 0.19              | 0.17      |

When taking the RMSE value of the horizontal and vertical positional coordinates to calculate the positional accuracy at the confidence level of 95 percent according to the NSSDA standard, it was found that without using GCPs, the horizontal positional accuracy was 0.073-0.246 m, and when using the GCPs, the horizontal positional accuracy was 0.054. -0.093 meters at the 95% confidence level. When without using GCPs, the vertical positional accuracy is 0.270-0.429 meters and when using the GCPs, the vertical positional accuracy is 0.114-0.333 meters at the 95% confidence level. 95 results are shown in Table 4.

**Table 4 Horizontal and Vertical Positional Accuracy Values at the confidence level of 95%**

| Case Study | Horizontal Accuracy |           | Vertical Accuracy |           |
|------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|
|            | Without GCPs        | With GCPs | Without GCPs      | With GCPs |
| 1          | 0.073               | 0.061     | 0.270             | 0.229     |
| 2          | 0.106               | 0.093     | 0.312             | 0.243     |
| 3          | 0.171               | 0.054     | 0.429             | 0.114     |
| 4          | 0.246               | 0.088     | 0.372             | 0.333     |

When the results of horizontal and vertical positioning accuracy at the confidence level of 95 percent are compared with the map scale according to the ASPRS Class 1 standard, the results are shown in Table 5.



**Table 5 Map Scale Comparison According to Horizontal Positional Accuracy and standard vertical ASPRS (Class 1)**

| Case Study | Horizontal Accuracy |           | Vertical Accuracy |           |
|------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|
|            | Without GCPs        | With GCPs | Without GCPs      | With GCPs |
| 1          | 1:500               | 1:500     | 1:4,000           | 1:4,000   |
| 2          | 1:500               | 1:500     | 1:4,000           | 1:4,000   |
| 3          | 1:1,000             | 1:500     | 1:10,000          | 1:1,000   |
| 4          | 1:1,000             | 1:500     | 1:10,000          | 1:10,000  |

Comparing the map scale according to the horizontal position accuracy according to the ASPRS standard (class 1) found that without using the GCPs, case studies 1 and 2 were able to make a plane map at a scale of 1:500 with x and y deviations, y is not more than 0.125 m, and case studies 3 and 4 can make a flat map at a scale of 1:1,000 with a x and y error of not more than 0.25 m. When using GCPs, all case studies can make a flat map at a scale 1:500 with x and y tolerances of not more than 0.125 m.

When comparing the map scale according to the ASPRS standard vertical positioning accuracy (class 1), it was found that without using GCPs, case studies 1 and 2 were able to make a vertical map on a scale of 1:4,000 with no x and y deviations exceeds 0.33 m, produces contour intervals of not less than 1.0 m, while case studies 3 and 4 can produce a vertical map at a scale of 1:10,000 with x and y deviations of no more than 0.67 m, producing contour intervals, the height is not less than 2.0 m. For the use of GCPs, case study 3 can make a vertical map at a scale of 1:1,000 with x and y deviations of not more than 0.17 m, producing contour range data of not less than 0.5 m. In case studies 1 and 2, a vertical map can be made at a scale of 1:4,000 with an x and y error of not more than 0.33 m. The contour range data can be produced at least 1.0 m. A vertical map with a scale of 1:10,000 has an x and y error of not more than 0.67 m, producing data with a contour range of not less than 2.0 m.

2) The comparison results of accuracy in the unit of image pixels without using GCPs and using GCPs were analyzed by converting RMSE to RMSE/ GSD by comparing the results with ASPRS standards. The results are shown in Table 6.

**Table 6 Comparison of pixel accuracy without GCPs and using GCPs**

| Case Study | Horizontal Accuracy<br>(RMSE/ GSD) |           | Vertical Accuracy<br>(RMSE/ GSD) |           |
|------------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
|            | Without GCPs                       | With GCPs | Without GCPs                     | With GCPs |
| 1          | <=1                                | <=1       | <=3                              | <=3       |
| 2          | <=1                                | <=1       | <=3                              | <=3       |
| 3          | <=2                                | <=1       | <=3                              | <=2       |
| 4          | <=3                                | <=1       | <=3                              | <=3       |

Accuracy in pixel according to standard ASPRS standard (class 1) without GCPs. Case study 1 and 2 are orthophoto that can be used in highest accuracy work. Case study 3 is orthophoto that can be used in Standard Mapping and GIS work and case study 4 is a low-quality orthophoto that can be used in Visualization and less accurate work when using GCPs highest accuracy. It is an orthophoto that can be used in mapping and geographic information. When comparing the map scale according to the ASPRS standard vertical positional accuracy (class 1), it was found that the non-GCPs were low quality orthophotos. It can be used for applications that do not require high accuracy, and when using GCPs, Case Study 3 is an orthophoto that can be used for mapping and geographic information. Case studies 1, 2, and 4 were low-quality orthophotos. It can be used in applications that do not require a lot of accuracy.

#### 4. Conclusion and Discussions

This evaluation of the positional accuracy of the Digital Elevation Model from a low-cost UAV has determined factors in flight planning to suit the terrain, to obtain a precision positional accuracy by setting factors such as altitude, flight front overlay and side stacks that different effects on modeling. The study found that setting the flying height at 70 and 90 meters and setting the front and side overlaps to 80% and 70% and 70% and 60%, respectively, can provide good image quality and not much difference. When creating a Digital Elevation Model, it was found that planning a flight with 80% frontal overlap and 70% side overlapping would give the best results according to the results of the study in Case Study 3, which had a flying height equal to 70 meters and set the front and side overlaps to be 80% and 70% has the best horizontal and vertical positioning accuracy which corresponds to Hamilton (2017) has done research on Aerial photography using Unmanned Aerial Vehicle for archaeological applications. It was found that 75% front overlay and 95% side overlap would be effective in creating a Digital Elevation Model. However, the limitations of high-level modeling, to be highly accurate is to collect both horizontal and vertical positional data to cover the area. and set the front overlay and side overlays to suit the area conditions.

When comparing the accuracy of spatial data horizontally and vertically using 2 methods, namely 1) analyzing the positional accuracy without using GCPs points and using GCPs points and 2) comparing the accuracy in unit of image pixel without using GCPs and using GCPs, it was found that using GCPs would be accurate in both horizontal and vertical positions than without using GCPs. It was found that when GCPs were not used, the horizontal discrepancy was less than 25 cm. and the vertical discrepancy was not more than 70 cm., which is consistent with the study of Villanueva (2019) which uses 24 GCPs and has a discrepancy of 12 cm and the study of [20] that GCPs are important for mapping aerial photographs low cost unmanned and it is necessary to produce maps with centimeter accuracy.

Evaluation of the validity of the numerical height model by evaluating positional accuracy at 95% confidence level. It is a method to verify the position accuracy according to NSSDA standard by using standard error (RMSE) at 95% confidence level. In case of not using GCPs Digital Elevation Model points that are in the NSSDA standard in the map scale of 1: 4,000 and when using the GCPs

Digital Elevation Model points that are in the NSSDA standard in the map scale of 1:1,000 and compared with the ASPRS standard. It was found that the obtained Digital Elevation Model was able to be used in mapping and geographic information. This is consistent with the research of Kanplumjit (2020), which assessed the accuracy of the numerical topographic model. using the NSSDA standard and the ASPRS standard as well.

Comparison of the accuracy in image pixel units without GCPs and with horizontal GCPs found that it can create an orthophoto that can be used in the work with the highest accuracy. While accurate in vertical pixel units, the use of GCPs can create an orthophoto that can only be used in mapping and geographic information applications. This is in line with the research of Nagendran et al. (2018) which has taken the positional accuracy compared to the ASPRS standard. It can also be used for work with the highest accuracy. According to this study, digital elevation models from low-cost UAVs can be used both without and with GCPs for applications that do not require very detailed and precise verticality values, such as building elevation surveys, tree height, or the height of large billboards, etc., because the difference in elevation values between features within the study area is still within acceptable criteria. In the future UAV studies should consider incorporating multi-probe sensors mounted on the aircraft for more comprehensive Digital Elevation Model (DEM) assessments. The use of DEM assessments is crucial in environmental studies, providing valuable information about the topography of the terrain, which is important for various applications such as land use planning, flood modeling, and environmental impact assessments.

## 5. Reference

- ASPRS. (2015). **ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data**. Retrieved 10 Mar 2022, from [https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2015/01/ASPRS\\_Positional\\_Accuracy\\_Standards\\_Edition1\\_Version100\\_November2014.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2015/01/ASPRS_Positional_Accuracy_Standards_Edition1_Version100_November2014.pdf).
- Daramola, O., Olaleye, J., Ajayi, O.G. and Olawuni, O. (2017). Assessing the Geometric Accuracy of UAV Based Orthophotos. **South African Journal of Geomatics**, 6(3), 395.
- Engineering Institute of Thailand. (2018). **Unmanned Aerial Survey Standards for Engineering**. Bangkok. The Council of Engineers Thailand (COET). (in Thai)
- Gindraux, S., Boesch, R., and Farinotti, D. (2017). Accuracy Assessment of Digital Surface Models from Unmanned Aerial Vehicle' Imagery on Glaciers. **Remote Sensing**, 9, (2), 186.
- Hamilton, S. (2017). **UAV (drone) Aerial Photography and Photogrammetry and its Utility for Archaeological Site Documentation, Lakehead University**. Retrieved 10 Mar 2022, from [http://www.apaontario.ca/resources/Documents/APA\\_OccasionalPaper2\\_DroneTesting\\_2017.pdf](http://www.apaontario.ca/resources/Documents/APA_OccasionalPaper2_DroneTesting_2017.pdf). t.
- Hung, I-Kuai., Unger, D., Kulhavy, D., & Zhang, Y. (2019). Positional Precision Analysis of Orthomosaics Derived from Drone Captured Aerial Imagery. **Drones**, 3(2), 46.
- Kanplumjit, T., Ketthong, W., Poonphakdee, N., Phrommet, S. (2020). **Application of UAVs Surveying for Rock volume measurement at Khao Bandai Nang quarry Songkhla Province**. NCCE25. 250:SGI04. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce25/article/view/611>. (in Thai)

- Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M. and Nex, F. (2018). Using UAVs for Map Creation and Updating: A Case Study in Rwanda”, **Survey Review**, **50**(361), 312-325.
- Mantey, S., & Michael Soakodan Aduah. S. (2022). Assessment of positional accuracies of UAV-based coordinates derived from orthophotos at varying times of the day- A case study. **South African Journal of Geomatics**, **10**(1), 46–59. <https://doi.org/10.4314/sajg.v10i1.4>
- Nagendran, S. K., Tung, W. Y., & Mohamad Ismail, M. A. (2018). Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, **169**, 012031.
- Laphitchayangkul. T., Pasada. A., Wangyao, K. (2020). Application of Low-cost Unmanned Aerial Vehicle for Accurate Mapping: Case Study at King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Ratchaburi. Residential College. **KMUTT R&D Journal** **3**, 2020, 311-324. (in Thai)
- Pix4D. (2021). **Ground control points: why are they important?**. Retrieved 10 Mar 2022, from <https://www.pix4d.com/blog/why-ground-control-points-important>.
- Raczynski, R.J. (2017). **Accuracy analysis of products obtained from UAV-borne photogrammetry influenced by various flight parameters**. Master’s thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology. Norway.
- Santise, M., Forlani, G. and Roncella, R. (2014). Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery. The International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences** XL-5, 529-536.
- Uysal, M., Toprak, A. S. and Polat, N. (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hil. **Measurement: Elsevier**, **73**, 539-543.
- Villanueva, J.K.S. and Blanco, A.C. (2019). Optimization of Ground Control Point (GCP) Configuration for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Survey using Structure from Motion (SfM). ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XLII-4/W12, 167-174.
- Volkman, W. and Barnes, G. (2014). Virtual Surveying: Mapping and Modeling Cadastral Boundaries Using Unmanned Aerial Systems (UAS). **Proceedings XXV FIG Congress 2014**, Kuala Lumpur, Malaysia 16-21 June 2014.
- Webster, C., Westoby, M., Rutter, N., & Jonas, T. (2018). Three-dimensional thermal characterization of forest canopies using UAV photogrammetry. **Remote Sensing of Environment**, **209**, 835-847.
- Wierzbicki, D., Kedzierski, M. and Fryskowska, A. (2015). Assessment of the Influence of UAV Image Quality on the Orthophoto Production. The International Archives of Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, **40**, 1, 8.

(Received: 5/Jul/2023, Revised: 27/Dec/2023, Accepted: 28/Dec/2022)

## ภาคผนวก

## วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม)

### 1. บทควมวิจัย

#### ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. ที่อยู่หน่วยงาน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์
4. ตัวเลขยก ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้สืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

#### ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. วิธีการทดลอง (Materials and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology) เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการวิจัยแต่ละประเภท
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion) ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. สรุปผล (Conclusion) สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
6. เอกสารอ้างอิง (References) ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น

## 2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

### การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซม.  
ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซม.  
ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซม. ความสูง 27 ซม.
- กระดาษ

### รูปแบบตัวอักษร

แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น

### หมายเลขหน้า

ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14

### การย่อหน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9

### จำนวนหน้าทั้งหมด

6 - 10 หน้า

### การพิมพ์ส่วนปก

พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)

### การพิมพ์ส่วนเนื้อหา

พิมพ์ 1 คอลัมน์

### ชื่อบทความ

ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา)  
จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

### ชื่อผู้เขียน

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา)  
ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

### ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล

ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

### ที่อยู่

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

### E-mail และโทรศัพท์

ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)

### ชื่อบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา)  
จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

### เนื้อหาบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

### ชื่อคำสำคัญ (Keyword)

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)

### คำสำคัญ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

### ชื่อหัวเรื่องใหญ่

ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา  
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล  
4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง  
ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

### ชื่อหัวเรื่องรอง

ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

### ชื่อหัวเรื่องย่อย

ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5

### เนื้อหาบทความ

ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย

### ชื่อตาราง

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย

### ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง

### เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 12



**การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง** ตรงกับการอ้างอิงท้ายเรื่อง โดยใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Jamsawat (2011) หรือ (Jamsawat, 2011) หรือ Dan and Hamasaki (2011) หรือ Jamsawat and Piempol (2016) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Dan *et al.* (2011) หรือ (Dan *et al.*, 2011) เป็นต้น

**การอ้างอิงท้ายเรื่อง** ให้อ้างอิงตามรูปแบบ APA (American Psychological Association) โดยผู้เขียนบทความภาษาไทยที่มีรายการอ้างอิงเป็นภาษาไทย ต้องเปลี่ยน (แปล) ให้เป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai) โดยให้แนบรายการอ้างอิงภาษาไทยเดิมไว้ด้วยเพื่อให้กองบรรณาธิการตรวจสอบความถูกต้องในการแปล

**ตัวอย่างเช่น**

**ภาษาอังกฤษ**

Pornsuriya, P. (2014). *Biometrical Analysis in Plant Breeding*. Bangkok: O.S. Printing House. (in Thai)

**ภาษาไทย**

ปราโมทย์ พรสุริยา. (2557). *การวิเคราะห์ทางไบโอเมตริกในการปรับปรุงพันธุ์พืช*. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นตัง เฮ้าส์.

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อ และชื่อย่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์

**\*หมายเหตุ\*** ต้นฉบับบทความที่น่าส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

#### **\* ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

##### **1. การอ้างอิงวารสาร (Journal)**

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร, ปีที่ (ฉบับที่), เลขหน้าเริ่มต้น-หน้าสุดท้าย.

Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A., & Blair, M. W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. *The crop journal*, 4(5), 367-376.

##### **2. การอ้างอิงตำรา (Text book) และหนังสือ**

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Singh, R.K., & Chaudhary, B.D. (2012). *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. 3rd Edition, reprinted 2012. New Delhi: Kalyani Publishers.

##### **3. การอ้างอิงวิทยานิพนธ์ (Thesis)**

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทหรือปริญญาตรีบัณฑิต). สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์.

Pornsuriya, P. (2005). *Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (Cucumis melo L. var. conomon Makino)* (Doctoral Thesis). Kasetsart University, Bangkok.

4. การอ้างอิงเรื่องย่อในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องกันเขียน และมีบรรณาธิการ (Chapter in a book) ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่องย่อ. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), ชื่อหนังสือ (เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Gauch, H.G. & Zobel, R.W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In Kang, M.S. and H.G. Gauch (eds.), **Genotype by environment interaction** (85-122). Boca Raton, FL: CRC Press.

5. การอ้างอิงรายงานการวิจัย (Research report)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง (รายงานผลการวิจัย). เมืองที่พิมพ์: สถาบัน หรือหน่วยงาน หรือสำนักพิมพ์.

Theraumpon, N. (2003). **Automatic classification of white blood cells in bone marrow images** (research report). Chiangmai: Chiangmai University.

6. การอ้างอิงจากเอกสารประชุมวิชาการ (Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.), ชื่อเรื่องการประชุม (เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด). เมือง สถานที่จัด: หน่วยงานที่จัดหรือสำนักพิมพ์.

Pornsuriya, P., Pornsuriya, P. & Julakasewee, A. (2018). Genetic variability, heritability and genetic advance among yardlong bean lines. In A. Songrak (Ed.), **Proceedings of the 9th International Conference of Rajamangala University of Technology** (pp. 189-195). Trang: Rajamangala University of Technology Srivijaya.

7. การอ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Online document) ที่สามารถนำมาอ้างอิงทางวิชาการได้

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. สืบค้น วันเดือนปี, จาก URL.

The Secretariat of The House of Representatives. (2019). **Helping farmers to reduce the risk of drought in agriculture**. Retrieved 27 Nov 2019, from <https://www.parliament.go.th/library>. (in Thai)

# ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง  
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ  
ขนาด 18 หน้า

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หน้า }  
วิระพล แจ่มสวัสดิ์  
Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี  
Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus, Chonburi  
E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12  
E-mail และโทรศัพท์  
ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หน้า { บทคัดย่อ

ผลจากการทดลองการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 6% เปลือกสับปะรดสดและหญ้าขนเป็นอาหารทดแทนเลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลส์ไธน์ ฟรีเซียน สายเลือดประมาณ 62.5% ที่กำลังให้น้ำนมโดยให้อาหารข้นมีโปรตีนรวม 16% ตามปริมาณการให้น้ำนมต่ออาหารข้น เท่ากับ 2 :1 และให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่เป็นเวลา 165 วัน

เนื้อหาบทคัดย่อ  
ภาษาไทยและ  
อังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow. } ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หน้า

และ คำสำคัญ ขนาด 14 บาง

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หน้า

1. บทนำ } ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดน้อยลงเรื่อยๆ (วิระพล, 2557)

เนื้อหาบทความ  
ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น } ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หน้า

| วัตถุดิบ            | จำนวน |
|---------------------|-------|
| รำละเอียด           | 45    |
| กากมะพร้าว          | 30    |
| กากถั่วลิสง         | 15    |
| ปลาป่น              | 5     |
| เกลือป่น            | 2     |
| แร่ธาตุผสม (premix) | 1     |
| รวม                 | 100   |

ขอบซ้าย  
2.5 ซม.

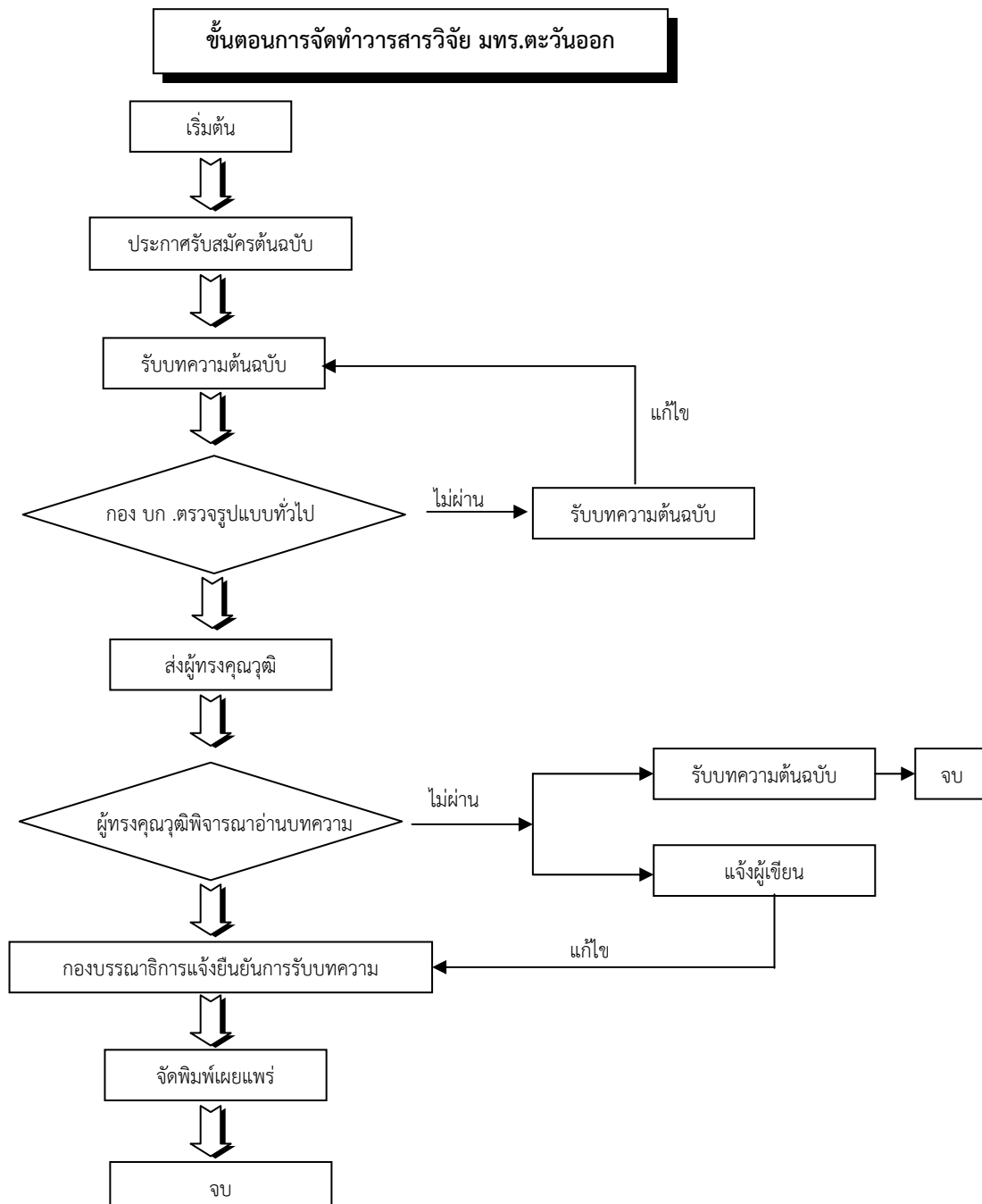
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบขวา  
2.0 ซม.

ขอบล่าง 2.0 ซม.

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับ  
ที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ





**แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย**  
**วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว .....
2. ระดับการศึกษาสูงสุด .....  
ตำแหน่งทางวิชาการ .....
3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....  
(ภาษาอังกฤษ) .....
4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1) .....  
(2) .....  
(3) .....  
(4) .....  
(5) .....
5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
โทรศัพท์..... มือถือ..... แฟกซ์.....  
E-mail : .....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....  
(.....)

**แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ  
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐ ☐ ☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... ท่าน

4. หัวข้อที่พิจารณา

| หัวข้อ                                              | ผ่าน | ผ่านและมีการแก้ไข | ไม่ผ่าน | ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ |
|-----------------------------------------------------|------|-------------------|---------|---------------------|
| บทคัดย่อ (Abstract)                                 |      |                   |         |                     |
| บทนำ                                                |      |                   |         |                     |
| วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา                           |      |                   |         |                     |
| ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล /<br>ผลการศึกษาและอภิปรายผล |      |                   |         |                     |
| สรุปผล                                              |      |                   |         |                     |
| เอกสารอ้างอิง                                       |      |                   |         |                     |
| คุณค่าทางวิชาการ                                    |      |                   |         |                     |

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....





หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ  
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

.....  
.....  
.....

โดย

.....  
.....  
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

.....

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก

ให้ ณ วันที่.....

## นโยบายการพิจารณาบทความ

1. วารสารรับพิจารณาบทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุมหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น / รวมทั้งจะไม่นำเสนอไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ อีกนับจากวันที่ได้ส่งบทความฉบับนี้มาที่กองบรรณาธิการวารสาร ทั้งนี้ทางวารสารไม่มีค่าธรรมเนียมใด ๆ ในการตีพิมพ์เผยแพร่
2. ขอบเขตของวารสาร จะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer Review) กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความบทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องผ่านกระบวนการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องดังนี้
  - 3.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้แต่งทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว พร้อมตรวจสอบรูปแบบความถูกต้อง
  - 3.2 กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพงานวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ
  - 3.3 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นสมควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไปโดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 2 ท่านประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double - blind peer review process)
  - 3.4 เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ เห็นควรอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ได้ และจะส่งบทความนั้นไปให้ผู้แต่งได้แก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นให้ผู้แต่งส่งกลับมาให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

# มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3313-6099 ต่อ 1181-1187 โทรสาร/สายตรง 0-3835-8142

<http://ird.rmutto.ac.th>, <http://journal.rmutto.ac.th>