

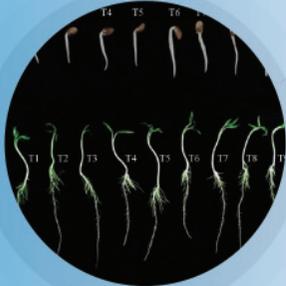


# วารสาร มทร.อีสาน

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 2672-9369 (Online)

ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2564



วารสาร มทร.อีสาน ได้รับการประเมินคุณภาพให้อยู่ในฐานข้อมูลของ  
ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2

# วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## RMUTI JOURNAL Science and Technology

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

#### Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI)

##### วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านวิชาการ ด้านงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ระหว่างนักวิชาการ และนักวิจัยกับผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ผลงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ของนักวิชาการและนักวิจัยสู่สาธารณชน

##### หลักเกณฑ์การส่งบทความ

วารสาร มทร.อีสาน เน้นบทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในสาขาวิชาดังต่อไปนี้

1. สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
2. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
3. สาขาวิชาสหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เป็นสาขาที่ศึกษาแนวความคิด ทฤษฎีและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่ระดับอนุภาค ระดับโมเลกุลไปจนถึงทั้งจักรวาล ปฏิบัติทางเคมี ระหว่างอะตอมและโมเลกุล อันเชื่อมโยงถึงองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต รวมถึงแนวความคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีความสำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนจนถึงประเด็นของการถกเถียงที่สำคัญๆ เกี่ยวกับพรมแดนแห่งความรู้ ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับสังคม และสิ่งแวดล้อม

##### เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0 - 4423 - 3063 โทรสาร 0 - 4423 - 3064

E-mail : rmuti.journal@gmail.com

##### พิมพ์เผยแพร่ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน

ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม

ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - เดือนธันวาคม

ทั้งนี้ ตั้งแต่ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2558 เป็นต้นไป

ยกเลิกการตีพิมพ์รูปเล่มตั้งแต่ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2562 เป็นต้นไป

เผยแพร่ออนไลน์เท่านั้น

##### ลิขสิทธิ์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ วารสาร มทร.อีสาน และบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่ง มิใช่เป็นความคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมิใช่เป็นความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน



รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์  
 รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา  
 รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส  
 รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย  
 รองศาสตราจารย์ ดร.สรายุธ  
 รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์  
 รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร  
 รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย  
 รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์  
 รองศาสตราจารย์ กาญจนา  
 รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรสิทธิ์  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสุดา  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักษดา  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ศักดิ์  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพันธ์  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา  
 ดร.จารุพงษ์  
 ดร.ชาคริต  
 ดร.เยาวพา  
 ดร.สุกัญญา  
 ดร.เดือนเพ็ญ

### กองบรรณาธิการ (ต่อ)

แพ่งคำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
 กอเจริญ วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา  
 ชัยจันทร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์  
 ลิงห์ยะบุญชัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
 เคชะปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา  
 ดุลย์จินดาชบาพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
 ไชยะ จังหวัดฉะเชิงเทรา  
 แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
 อัครวสุชี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 ต้นสุวรรณรัตน์ จังหวัดนครราชสีมา  
 สารีบุตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
 ลาดกระบัง  
 วสุเพ็ญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 สมณา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 อารังวุฒิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 สมณา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 วงศ์สุทธาวาส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 อุ่นเรือน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 บรรเทา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 นवलฉิมพลี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 ความหมั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 คำทล้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 วงศ์สอน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

### บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนากร

ภูเงินชำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

### ฝ่ายจัดการและธุรการ

นางสาวอรุณรักษ์

ตีราชมัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

## สารบัญ

### บทความวิจัย

ผลของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ต่อการเกิดอันตรกิริยาฟิสิกส์ของระบบแก้ว  $\text{P}_2\text{O}_5\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Sm}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$  1  
กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา, สวัสดิพงษ์ เฉพาะตน, ปริสา พรหมณโค, มริษฎา กวักจนาธา  
และพันธศักดิ์ กล้ากล่อมจิตร

การประยุกต์เส้นซิกส์ซิกมาไลจิสติกส์ในการปรับปรุงคลังวัสดุสิ้นเปลืองในศูนย์ซ่อมตัวถังและสี 14  
นัทธพงศ์ นันทสำเร้ง, พรนภา พญาธรรม และมณีนรัตน์ สุวรรณดี

อิทธิพลของการไพรม์เมิลด์ร่วมกับ  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  และ  $\text{GA}_3$  ต่อความงอกและการเจริญเติบโต 28  
ของต้นกล้าผักบุ้งจีน  
จักรพงษ์ กางโสภา, เพชรรัตน์ จีเพชร และจุฑามาศ อางนาเสียว

สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระการต้านเบาหวานและการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าวและข้าวโพดไทย 45  
สุรีย์ นานาสมบัติ, ปาริฉัตร พุดจอน, พรนภา เนตรจุฬารัตน์ และพัชรี อ่อนน้อม

ผลของค่าต่อการตกตะกอน และค่า pH ของน้ำสีสกัดจากใบโสมกวาง 65  
ศรายุทธ ใจงามดี, ศรันยา เชือกพ่อง, วัลลภ อาเรีรบ, รัตนพล มงคลรัตนาลิทธิ  
และอภิชาติ สนิธิสมบัติ

การเลือกปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ 75  
ด้วยวิธีแรปเปอร์  
ปริวรรต เพียรภายลุน และจารี ทองคำ

### บทความวิชาการ

การสร้างสรรค้งานออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน ห้องค้ันคว้่าส่วนงานวิจัย มหาวิทยาลัย 88

เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิไลวรรณ พานทอง

## Table of Contents

### Research Articles

**Effect of Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on Photon Interactions of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZnO-Li<sub>2</sub>O-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O Glass System** 1

*Kittisak Sriwongsa, Sawatdipong Chaphoaton, Parisa pramto, Marisada Kaweeijnara,  
and Punsak Glumglomchit*

**An Application of Lean Six Sigma Logistics for an Improvement for Supplies  
Warehouse in a Body & Paint Repairing Center** 14

*Natthapong Nanthasamroeng, Pornnapa Phayatham, and Maneerat Suwandee*

**The Influence of Primed Seed with KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> and GA<sub>3</sub> on Germination and  
Seedling Growth of Water Morning Glory (*Ipomoea aquatica* Forsk. Var. reptan)** 28

*Jakkrapong Kangsopa, Phetcarat Jeepet, and Chuthamat Atnaseo*

**Antioxidant, Antidiabetic and Prebiotic Properties of Thai Brown Rices and Corns** 45

*Suree Nanasombat, Pharichat Putjon, Pondnapa Netchularrat, and Patcharee Onnorm*

**Effects of alkalis on sedimentation and pH of the colored water extracted from  
Water Jasmine leaves** 65

*Sarayut Jaingamdee, Sarunya Puakpong, Wallop Arirop, Rattanaphol Mongkholrattanasit,  
and Apichart Sonthisombat*

**Factor Selection for Improving Vocational Certificate Course Selection Model  
Performance using Wrapper Method** 75

*Pariwat Pianpailoon and Jaree Thongkam*

### Academic Articles

**Creation of Interior Architecture for Reseach Room at Rajamangala University of** 88

**Technology Isan**

*Wilaiwan Phanthong*

# ผลของ $\text{Er}_2\text{O}_3$ ต่อการเกิดอันตรกิริยาโฟตอนของระบบแก้ว $\text{P}_2\text{O}_5\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Sm}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$

## Effect of $\text{Er}_2\text{O}_3$ on Photon Interactions of $\text{P}_2\text{O}_5\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Sm}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ Glass System

กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา<sup>1\*</sup> สวัสดิพงษ์ เฉพาะตน<sup>2</sup> ปริสา พรหมณโต<sup>2</sup> มริษฎา กวีกิจนารา<sup>2</sup>  
และพันธ์ศักดิ์ กล้ากลุ่มจิตร<sup>2</sup>

Kittisak Sriwongsa<sup>1\*</sup> Sawatdipong Chaphoaton<sup>2</sup> Parisa Pramto<sup>2</sup>  
Marisada Kaweekijnara<sup>2</sup> and Punsak Glumglomchit<sup>2</sup>

Received: March 6, 2021; Revised: June 4, 2021; Accepted: June 7, 2021

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวมและสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลย่อยของระบบแก้ว  $40\text{P}_2\text{O}_5\text{-}20\text{ZnO}\text{-}10\text{Li}_2\text{O}\text{-}1\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-}(29\text{-}x)\text{Na}_2\text{O}\text{-}x\text{Er}_2\text{O}_3$  ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของเออร์เบียมออกไซด์ ( $\text{Er}_2\text{O}_3$ ) ที่ปริมาณความเข้มข้น 0 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วยโปรแกรม WinXCom ในช่วงพลังงาน  $10^{-3}\text{-}10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ผลการวิจัยพบว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงของอันตรกิริยาย่อยในแต่ละช่วงพลังงานที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ การดูดกลืนโฟโต-อิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการผลิตคู่อิเล็กตรอน-โพสิตรอน (น้อยกว่า 100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์) กลาง (100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ถึง 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์) และสูง (มากกว่า 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์) ตามลำดับ ทั้งนี้ยังพบอีกว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะทางอิสระเฉลี่ยของระบบแก้วมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเออร์เบียมออกไซด์ ซึ่งผลการวิจัยทำให้ทราบว่าการเพิ่มปริมาณของเออร์เบียมออกไซด์ทำให้ระบบแก้วนี้มีความสามารถในการกักขังรังสีดีขึ้น

คำสำคัญ : แก้ว; อันตรกิริยาของโฟตอน; กักขังรังสี

<sup>1</sup> คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

<sup>2</sup> โรงเรียนหัวหินวิทยาลัย ประจวบคีรีขันธ์

<sup>1</sup> Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom

<sup>2</sup> Huahin Vitthayalai School, Prachuapkhirikhan

\* Corresponding Author E - mail Address: sriwongsa\_k@silpakorn.edu

## Abstract

The aim of this research is to study the total and partial mass attenuation coefficients of  $40\text{P}_2\text{O}_5\text{-}20\text{ZnO-}10\text{Li}_2\text{O-}1\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-(}29\text{-x)Na}_2\text{O-xEr}_2\text{O}_3$  glass system which varies the concentration of Erbium (III) oxide ( $\text{Er}_2\text{O}_3$ ) at 0, 1, 2 and 3 mol% respectively. These parameters have been estimated by theoretical approach using WinXCom program in the energy range of  $10^{-3}\text{-}10^5$  MeV. The results have been shown that the variations of partial interaction processes at different energy regions were composed three process. These processes are photoelectric absorption, Compton scattering and pair production which main process at low (less than 100 keV), medium (100 keV–1 MeV) and high (more than 1 MeV) photon energy, respectively. It was also found that the values of mass attenuation coefficients, effective atomic number and effective electron density of glass were increased while mean free path decreased with increasing Erbium (III) oxide concentration. The results indicated that the increasing concentration of Erbium (III) oxide were increased potential radiation shielding.

**Keywords:** Glass; Photon Interaction; Radiation Shielding

## บทนำ

ผลกระทบของกลุ่มธาตุโลหะหายาก (Rare-Earth ions; RE) บนโครงข่ายแก้วกลายเป็นหนึ่งในประเด็นร้อนทางวิทยาศาสตร์ด้านแก้ว เมื่อเร็ว ๆ นี้แก้วที่เจือด้วยออกไซด์ของกลุ่มธาตุโลหะหายากได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่พิเศษในการนำไปใช้งานทางเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เช่น ด้านการสื่อสารด้วยแสง [1] เลเซอร์โซลิดสเตต เช่น ไฟเบอร์เลเซอร์อินฟาเรดกลาง [2] และตัวแปลงความถี่ [3] ดังนั้นจึงมีความพยายามอย่างมากในการค้นหาวัสดุเพื่อใช้เป็นโครงสร้างหลักที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มธาตุโลหะหายาก แก้วมีบทบาทสำคัญมากในการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบพิเศษคือ แก้วเป็นไอโซโทปของคุณสมบัติทางกายภาพและมีต้นทุนในการจัดเตรียมต่ำ [4] ข้อดีที่น่าสนใจที่สุดของการใช้แก้วเป็นวัสดุหลัก คือ ความเป็นไปได้ที่จะสร้างรูปร่างผ่านกระบวนการผลิตที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพสูง [5] แก้วที่เจือด้วยธาตุหายากเป็นที่ทราบกันดีว่ามีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ยืดหยุ่น เช่น ความทนทานต่อสารเคมีที่สูงขึ้น แข็งแรงเพิ่มขึ้น และมีโมดูลัสยืดหยุ่นที่ดี เนื่องจากความแรงของสนามที่สูงเกินจริงของแก้วเหล่านี้มากกว่าตัวทำลายโครงข่ายของแก้วแบบอื่น [6] ในบรรดาการโครงข่ายแก้ว (Glass Matrix) กลุ่มแก้วฟอสเฟตมีคุณสมบัติทางแสงที่แน่นอน เช่น มีช่องส่งสัญญาณอินฟราเรดขนาดใหญ่ จุดหลอมเหลวต่ำ และความเข้มการรับแสงสูง ซึ่งความเข้มการรับแสงสูงในแก้วฟอสเฟตเกิดจากลักษณะเฉพาะของความสามารถในการละลายสูงของไอออน ซึ่งตัวกระตุ้นที่ใช้จะใช้ในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย [7] อย่างไรก็ตามข้อเสียของแก้วฟอสเฟต คือ มีความทนทานต่อสารเคมีที่ไม่ดีซึ่งสามารถแก้ไขข้อเสียนี้ได้โดยการใส่ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธเข้าไป [8] โดยทั่วไปแล้ว กลุ่มธาตุหายากจะประกอบส่วนใหญ่จะใช้เป็นตัวทำลายโครงข่ายแก้ว ซึ่งรวมกับ

ช่องว่างระหว่าง รูปร่างโมเลกุลทรงสี่หน้าของ  $\text{PO}_4$  ( $\text{PO}_4$  Tetrahedral) เนื่องจากรัศมีไอออนิกของ แลนทาไนด์จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเลขอะตอม นอกจากนี้ความแรงของสนามจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามการเปลี่ยนแปลงของรัศมีไอออนิก [9] การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เกิดคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ มากมาย [10] รูปร่างโมเลกุลทรงสี่หน้าฟอสเฟต  $\text{PO}_4$  ที่เชื่อมต่อกันใน  $\text{P}_2\text{O}_5$  ที่มีลักษณะคล้ายแก้ว โดยสามมุมของออกซิเจนและมุมที่สี่เชื่อมติดกันเป็นสองเท่า [11] การรวมตัวไอออนของธาตุหายาก (RE) (ตัวทำลายโครงข่าย) ไต ๆ ในแก้วฟอสเฟตส่งผลให้เกิดการสลายพันธะยึดเหนี่ยวของพันธะ P-O-P และการก่อตัวของพันธะที่ไม่ยึดเหนี่ยวต่อของพันธะ P-O-RE [12] ตามจำนวนของออกซิเจนในการเชื่อมโครงสร้างของรูปร่างโมเลกุลทรงสี่หน้าของ  $\text{PO}_4$  สามารถอธิบายได้ด้วยอัตรา  $Q_n$  ที่ใช้โดย Moustafa, Y. M. and El-Egili, K. [13] ในบรรดาแก้วแลนทาไนด์ฟอสเฟต แก้วที่เจือด้วย  $\text{Er}^{3+}$  มีความน่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานมากมาย เช่น เลเซอร์ ไมโครชิป เออร์เบียมเจือไฟเบอร์แอมพลิฟายเออร์ (EDFA) ในระบบมัลติเพล็กซ์การแบ่งความยาวคลื่น (WDM) และระบบเลเซอร์ที่ปลอดภัยต่อดวงตา [14] เนื่องจาก  $\text{Er}_2\text{O}_3$  มีคุณสมบัติที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นทั้งเรื่องของความหนาแน่นและเลขอะตอม [15] - [16] รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ ถูกนำมาใช้ในด้านการศึกษา อุตสาหกรรม ฟิสิกส์พลังงานสูง และด้านอื่น ๆ รังสีทั้งสองมีอันตรายต่อมนุษย์ วิธีการป้องกันรังสีแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ 1) เวลา ควรใช้เวลาให้น้อย ๆ เมื่ออยู่ใกล้รังสี 2) ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี กล่าวคือควรอยู่ห่างมาก ๆ และ 3) วัสดุกำบังรังสี กล่าวคือเป็นวัสดุที่ใช้พื้นฐานโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับตัวกลางที่รังสีผ่านเข้าไป อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างรังสีวัสดุ เช่น การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ และอันตรกิริยาคู่ เป็นต้น โอกาสในการเกิดปฏิกิริยานี้ส่งโดยตรงต่อเครื่องมือวัดรังสี เช่น รูปถ่ายทางการแพทย์ และวัสดุกำบังรังสี ในปัจจุบันนักวิจัยด้านวัสดุกำบังรังสีพบว่าสามารถพัฒนาคุณสมบัติในการกำบังรังสีให้ดีขึ้นจากการผสมธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ เข้าไป แก้วกำบังรังสี ถูกนิยมนำมาใช้ในด้านรูปถ่ายทางการแพทย์ ออปติคอลอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุกำบังรังสี [17] - [22] ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  ต่อการเกิดอันตรกิริยาโฟตอนของระบบแก้ว  $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{ZnO}$ - $\text{Li}_2\text{O}$ - $\text{Sm}_2\text{O}_3$ - $\text{Na}_2\text{O}$  ตามสูตรแก้ว  $40\text{P}_2\text{O}_5$ - $20\text{ZnO}$ - $10\text{Li}_2\text{O}$ - $1\text{Sm}_2\text{O}_3$ -( $29-x$ ) $\text{Na}_2\text{O}$ - $x\text{Er}_2\text{O}_3$  โดยที่  $x = 0$  1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โมล ในช่วงพลังงาน  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ตัวแปรที่จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ ได้แก่ อันตรกิริยาลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล และระยะทางอิสระเฉลี่ย

## วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ระบบแก้ว  $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{ZnO}$ - $\text{Li}_2\text{O}$ - $\text{Sm}_2\text{O}_3$ - $\text{Na}_2\text{O}$  ตามสูตรแก้ว  $40\text{P}_2\text{O}_5$ - $20\text{ZnO}$ - $10\text{Li}_2\text{O}$ - $1\text{Sm}_2\text{O}_3$ -( $29-x$ ) $\text{Na}_2\text{O}$ - $x\text{Er}_2\text{O}_3$  โดยที่  $x = 0$  1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โมล ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ถูกนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้านรังสี ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass Attenuation Coefficient;  $\mu_m$ ) สามารถคำนวณได้โดยการใช้โปรแกรม WinXCom ซึ่งบอกถึงอัตราการเกิดอันตรกิริยาของโฟตอนต่อตัวกลางทั้งแบบอันตรกิริยารวมและอันตรกิริยาลดทอนของแต่ละธาตุและสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้ตาม “กฎการผสม (Mixture Rule)” จากสมการที่ (1) [23]:

$$\mu_m = \sum_i W_i (\mu_m)_i \quad (1)$$

เมื่อ

$w_i$  แทนสัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุ  
 $(\mu_m)_i$  แทนสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ

ค่า  $(\mu_m)_i$  สามารถนำไปหาภาคตัดขวางเชิงอะตอม (Atom Cross-Section;  $\sigma_a$ ) และภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน (Electron Cross-Section;  $\sigma_{el}$ ) ได้จากสมการที่ (2) และ (3) [24]:

$$\sigma_a = \frac{\mu_m}{N_A \sum_i (w_i/A_i)} \quad (2)$$

$$\sigma_{el} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (3)$$

เมื่อ

$N_A$  แทนเลขอาโวกาโดร  
 $A_i$  แทนมวลอะตอมของแต่ละธาตุ  
 $f_i$  แทนสัดส่วนจำนวนอะตอม  
 $Z_i$  แทนเลขอะตอมของแต่ละธาตุ

การหาค่าเลขอะตอมยังผล (Effective Atomic Number;  $Z_{eff}$ ) และการหาค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน (Effective Electron Density;  $N_{el}$ ) สามารถหาได้จากสมการที่ (4) และ (5) [24]:

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_{el}} \quad (4)$$

$$N_{el} = \frac{\mu_m}{\sigma_{el}} \quad (5)$$

และค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย (Mean Free Path; MFP) คือ ระยะทางเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของโฟตอนก่อนที่จะอันตรกิริยาชนกับวัสดุ ซึ่งอธิบายได้ตามสมการที่ [25]:

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (6)$$

เมื่อ

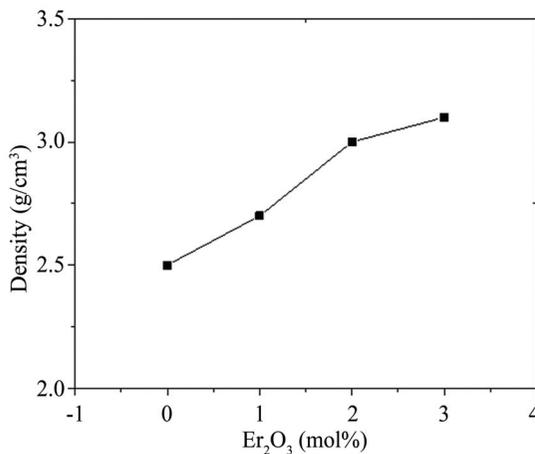
$\mu$  แทนสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

**ผลการทดลองและอภิปรายผล**

สัดส่วนทางเคมีของระบบแก้วตัวอย่างเพื่อนำไปคำนวณหาอันตรกิริยาของรังสีต่อระบบแก้วตัวอย่างในการวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสีแสดงดังตารางที่ 1

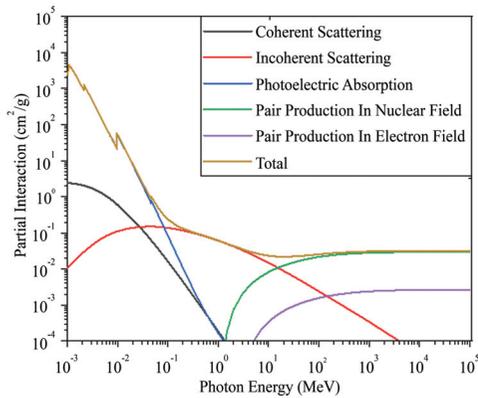
ตารางที่ 1 สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โมล) ของระบบแก้วตัวอย่าง [26]

รหัส	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โมล)					
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO	Li <sub>2</sub> O	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ex1	40	20	10	1	29	0
Ex2	40	20	10	1	28	1
Ex3	40	20	10	1	27	2
Ex4	40	20	10	1	26	3
Ex5	40	20	10	1	25	4

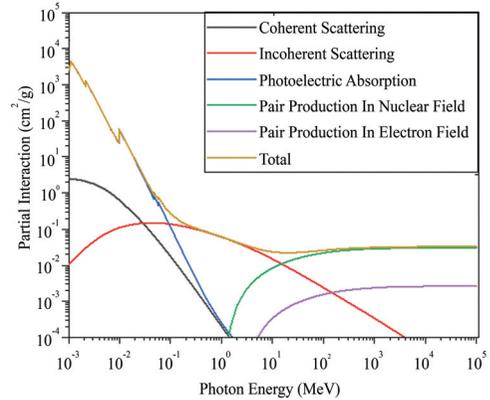


รูปที่ 1 ความหนาแน่นของระบบแก้ว P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ZnO-Li<sub>2</sub>O-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O

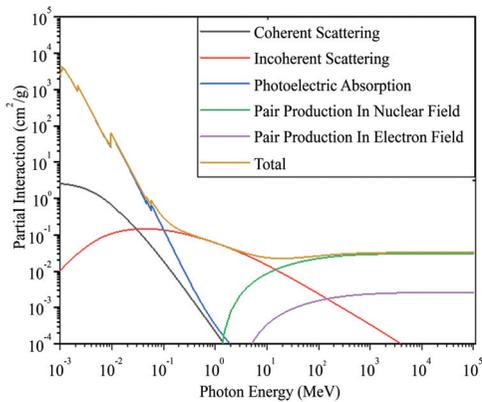
จากการศึกษาอันตรกิริยาของรังสีต่อระบบแก้ว 40P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-20ZnO-10Li<sub>2</sub>O-1Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(29-x)Na<sub>2</sub>O-xEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> โดยที่ x = 0 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โมล ในช่วงพลังงาน 10<sup>-3</sup>-10<sup>5</sup> เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสีพบว่า ค่าความหนาแน่นของระบบแก้วมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ซึ่งเกิดจากการแทนที่อะตอมของ Na<sub>2</sub>O ด้วย Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่มีมวลโมเลกุลที่มากกว่าดังรูปที่ 1 นั้นทำให้โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของรังสีกับระบบแก้วมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ระบบแก้วตัวอย่างมีโอกาสในการเป็นวัสดุกำบังรังสีที่ดี



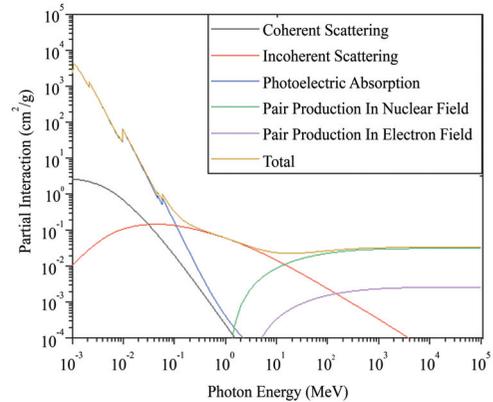
(ก) EX1



(ข) EX2



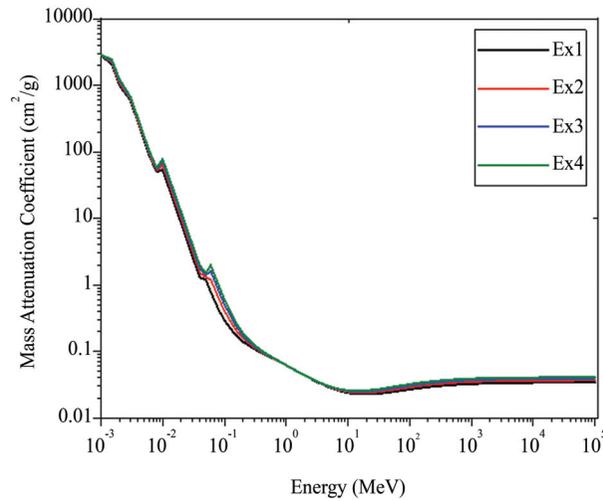
(ค) EX3



(ง) EX4

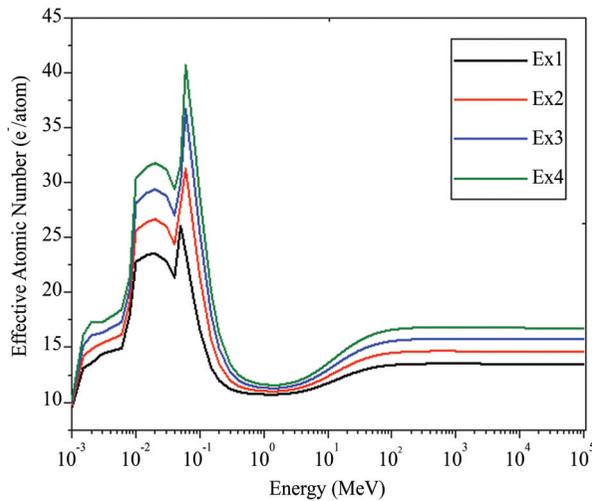
รูปที่ 2 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยารวมและอันตรกิริยาย่อยของระบบแก้ว ตัวอย่างกับระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลแบบอันตรกิริยารวมและอันตรกิริยาย่อยของระบบแก้วตัวอย่าง ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม WinXCom แสดงลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ การลดทอนเชิงมวลแบบอันตรกิริยารวมของระบบแก้วตัวอย่างในช่วงพลังงาน  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิ์การลดทอน เชิงมวลของระบบแก้วตัวอย่างในช่วงพลังงาน  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

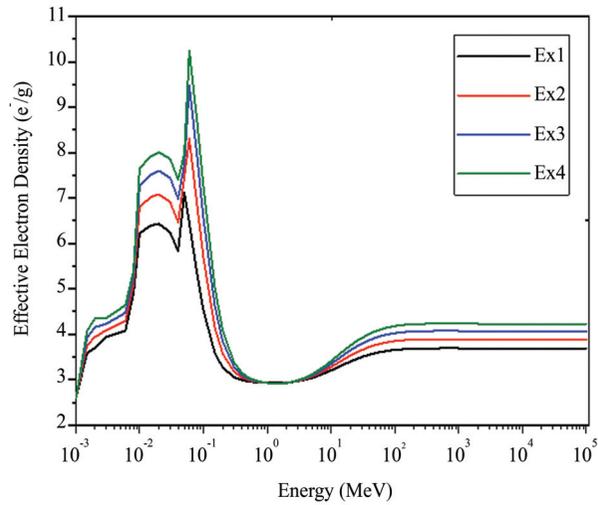


รูปที่ 3 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลกับระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

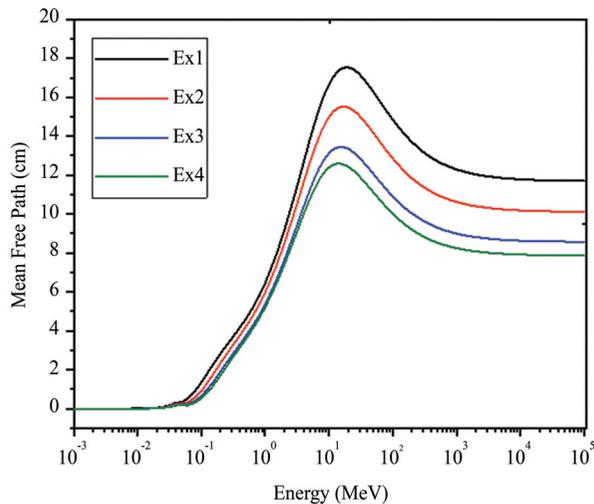
ค่าเลขอะตอมยังผล ( $Z_{eff}$ ) และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล ( $N_{el}$ ) ของระบบแก้วตัวอย่าง ในระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ แสดงดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 เลขอะตอมยังผลของระบบแก้วตัวอย่างกับระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 5 ความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลของระบบแก้วตัวอย่างกับระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 6 ระยะทางอิสระเฉลี่ยของระบบแก้วกับระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางอิสระเฉลี่ยของระบบแก้วตัวอย่างที่ระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์แสดงดังรูปที่ 6

### อภิปรายผลการวิจัย

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยารวมของระบบแก้วตัวอย่างกับระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่าลักษณะของกราฟมีแนวโน้มลดลงตามระดับพลังงาน

ที่เพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์หลังจากพลังงานโฟตอนที่ 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพลังงานโฟตอนเพิ่มขึ้นและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการกระเจิงแบบคอมป์ตันมีอัตราการลดลงเช่นเดียวกัน การลดลงของทั้งสองมีสัดส่วนผกผันกันต่อพลังงานโฟตอน ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพลังงานโฟตอนเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากภาคตัดขวางโฟโตอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลงตามการผกผันของพลังงานโฟตอน  $E^{7/2}$  ส่วนประกอบทางเคมีของแก๊วออกไซด์มีความสำคัญมากเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกจะขึ้นกับเลขอะตอมในวัสดุโดยมีอันตรกิริยาเป็นแบบ  $Z^{4-5}$  ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการผลิตคู่แบบนิวเคลียร์ และแบบอิเล็กตรอน ตามลำดับนั้น พบว่าทั้งสองแบบจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานโฟตอนเพิ่มขึ้นถึง 400 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ หลังจากพลังงานนั้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าเกือบจะคงที่ อาจเป็นเพราะสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการผลิตคู่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ  $\log E$  การผลิตคู่แบบนิวเคลียร์จะขึ้นกับค่า  $Z^2$  ในขณะที่การผลิตคู่แบบอิเล็กตรอนเกือบจะเป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นในช่วงพลังงานสูงลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวมในรูปจะมาจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการผลิตคู่แบบนิวเคลียร์ที่ขึ้นกับค่า  $Z^2$  [27] - [28]

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยาของระบบแก๊วตัวอย่างกับระดับพลังงานในช่วง  $10^3-10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่าลักษณะของกราฟมีแนวโน้มลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมาจากการเกิดอันตรกิริยาในแต่ละช่วงพลังงาน แบ่งออกเป็น 3 ปรากฏการณ์หลักคือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเกิดที่พลังงานต่ำกว่า 100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตันจะเกิดที่พลังงาน 100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ถึง 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และการผลิตคู่จะเกิดที่พลังงานตั้งแต่ 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นถึงระดับพลังงาน 400 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ หลังจากนั้นจะมีค่าเกือบคงที่เป็นเส้นขนานกันตามซึ่งแต่ละกระบวนการจะแปรผันกับค่าพลังงาน  $E^{-3.5}$ ,  $E^{-1}$  and  $\log E$  [27] จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแก๊วตัวอย่าง Ex4 มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสูงที่สุดนั้นแสดงให้เห็นว่าแก๊วตัวอย่างนี้มีสมบัติการกำบังรังสีดีที่สุดในบรรดาแก๊วตัวอย่างทั้งหมด

ผลการศึกษาเลขอะตอมยังผล ( $Z_{eff}$ ) และความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล ( $N_{ef}$ ) ของระบบแก๊วตัวอย่างกับระดับพลังงานในช่วง 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ถึง 100 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก โดยพบจุดสูงสุดของค่าเลขอะตอมยังผลและความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลที่พลังงาน 0.06 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0.06 - 0.3 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ จนถึงจุดต่ำสุดที่ 1.5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นช่วงอันตรกิริยาการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ หลังจากนั้นค่าเลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับพลังงานสูงขึ้น และเริ่มคงที่จากช่วงระดับพลังงาน  $> 100$  MeV เป็นต้นไปดังรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่าแก๊วตัวอย่าง Ex4 มีค่าเลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลสูงที่สุดนั้นแสดงให้เห็นว่าแก๊วตัวอย่างนี้มีโอกาสจะเกิดอันตรกิริยากับโฟตอนได้ดีที่สุดส่งผลให้มีสมบัติการกำบังรังสีดีที่สุดเมื่อเปรียบกับบรรดาแก๊วตัวอย่างทั้งหมด

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางอิสระเฉลี่ย (MFP) ของระบบแก้วตัวอย่างที่ระดับพลังงานในช่วง  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ดังรูปที่ 6 พบว่าแก้วตัวอย่าง Ex4 มีค่าต่ำกว่าแก้วตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีคุณสมบัติในการกักขังรังสีที่ดีกว่าตัวอย่างแก้วอื่น ๆ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกักขังรังสีได้ [27], [29] - [30]

## สรุปผล

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์มีผลต่อการป้องกันรังสีของระบบแก้วที่ใช้ในงานวิจัย ตามสูตร  $40\text{P}_2\text{O}_5\text{-}20\text{ZnO-}10\text{Li}_2\text{O-}1\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-(}29\text{-x)Na}_2\text{O-xEr}_2\text{O}_3$  โดยที่  $x = 0, 1, 2$  และ  $3$  เปอร์เซ็นต์โมล ที่ช่วงพลังงาน  $10^{-3}$ - $10^5$  เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ โดยการวิเคราะห์ความหนาแน่น และคำนวณจากโปรแกรมมาตรฐาน WinXCom พบว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยารวมของระบบแก้วมีค่าลดลงตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ช่วง ซึ่งขึ้นกับพลังงานในแต่ละช่วงที่แตกต่างกัน คือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการผลิตคู่ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาหลักที่จะเกิดในช่วงพลังงานต่ำ ช่วงกลางของพลังงาน และช่วงพลังงานสูง ตามลำดับ ค่าระยะทางอิสระเฉลี่ยของแก้วตัวอย่างที่ประกอบด้วยปริมาณ  $\text{Er}_2\text{O}_3$  สูงสุด (Ex4) มีคุณสมบัติในการกักขังรังสีที่ดีกว่าตัวอย่างแก้วอื่น ๆ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกักขังรังสีได้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ Thailand Science Research and Innovation (TSRI) ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. Gerward L. สำหรับซอฟต์แวร์ WinXCom

## References

- [1] Rivera-López, F., Babu, P., and Jyothi, L. (2012).  $\text{Er}^{3+}\text{-Yb}^{3+}$  Codoped Phosphate Glasses Used for An Efficient  $1.5 \mu\text{m}$  Broadband Gain Medium. **Optical Materials**. Vol. 34, Issue 8, pp. 1235-1240. DOI: 10.1016/j.optmat.2012.01.017
- [2] Sójka, L., Tang, Z., and Furniss, D. (2014). Broadband, Midinfrared Emission from  $\text{Pr}^{3+}$  Doped  $\text{GeAsGaSe}$  Chalcogenide Fiber, Optically Clad. **Optical Materials**. Vol. 36, Issue 6, pp. 1076-1082. DOI: 10.1016/j.optmat.2014.01.038
- [3] Wang, H. Q., Batentschuk, M., Osvet, A., Pinna, L., and Brabec, C. J. (2011). Rare-Earth Ion Doped Up-Conversion Materials for Photovoltaic Applications. **Advanced Materials**. Special Issue: Hierarchical Structures Towards Functionality. Vol. 23, Issue 22-23, pp. 2675-2680. DOI: 10.1002/adma.201100511

- [4] Chen, L., He, D., Luan, F., Hu, L., and Chen, W. (2009). An Efficient Erbium Doped Phosphate Laser Glass for High Average Power Pumping. **Journal of Alloys and Compounds**. Vol. 482, Issue 1-2, pp. 261-263. DOI: 10.1016/j.jallcom.2009.03.173
- [5] Hajer, S. S., Halimah, M. K., Azmi, Z., and Azlan, M. N. (2014). Optical Properties of Zinc-Borotellurite Doped Samarium. **Chalcogenide Letters**. Vol. 11, No. 11, pp. 553-566
- [6] Aronne, A., Esposito, S., and Pernice, P. (1997). FTIR and DTA Study of Lanthanum Aluminosilicate Glasses. **Materials Chemistry and Physics**. Vol. 51, Number 2, pp. 163-168
- [7] Pugliese, D., Boetti, N. G., and Lousteau, J. (2016). Concentration Quenching in an Er-Doped Phosphate Glass for Compact Optical Lasers and Amplifiers. **Journal of Alloys and Compounds**. Vol. 657, pp. 678-683. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.10.126
- [8] Rasool, S. N., Jamalalah, B. C., Suresh, K., Moorthy, L. R., and Jayasankar, C. K. (2017). Spectroscopic Properties of Er<sup>3+</sup>-doped Phosphate Based Glasses for Broadband 1.54  $\mu\text{m}$  Emission. **Journal of Molecular Structure**. Vol. 1130, pp. 837-843
- [9] Liang, X., Li, H., Wang, C., Yu, H., Li, Z., and Yang, S. (2014). Physical and Structural Properties of Calcium Iron Phosphate Glass Doped with Rare Earth. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 402, pp. 135-140. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2014.05.021
- [10] Lofaj, F., Satet, R., Hoffmann, M. J., and de Arellano López, A. R. (2004). Thermal Expansion and Glass Transition Temperature of the Rare-Earth Doped Oynitride Glasses. **Journal of the European Ceramic Society**. Vol. 24, Issue 12, pp. 3377-3385. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2003.10.012
- [11] Stoch, P., Stoch, A., Ciecinska, M., Krakowiak, I., Sitarz, M. (2016). Structure of Phosphate and Iron-Phosphate Glasses by DFT Calculations and FTIR/Raman Spectroscopy. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 450, pp. 48-60. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2016.07.027
- [12] Sołtys, M., Pisarska, J., Leśniak, M., Sitarz, M., and Pisarski, W. A. (2018). Structural and Spectroscopic Properties of Lead Phosphate Glasses Doubly Doped with T<sup>b3+</sup> and Eu<sup>3+</sup> ions. **Journal of Molecular Structure**. Vol. 1163, pp. 418-427. DOI: 10.1016/j.molstruc.2018.03.021
- [13] Moustafa, Y. M. and El-Egili, K. (1998). Infrared Spectra of Sodium Phosphate Glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 240, Issue 1-3, pp. 144-153. DOI: 10.1016/S0022-3093(98)00711-X
- [14] Soo, S. (2014). Structural, Thermal and Spectroscopic Properties of Highly Er<sup>3+</sup>-doped Novel Oxyfluoride Glasses for Photonic Application. **Materials Research Bulletin**. Vol. 51, pp. 336-344. DOI: 10.1016/j.materresbull.2013.12.023
- [15] Tijani, S. A., Kamal, S. M., Al-Hadeethi, Y., Arib, M., Hussein, M. A., Wageh, S., and Dim, L. A. (2018). Radiation Shielding Properties of Transparent Erbium Zinc Tellurite Glass System Determined at Medical Diagnostic Energies. **Journal of Alloys and Compounds**. Vol. 741, pp. 293-299. DOI: 10.1016/j.jallcom.2018.01.109

- [16] Li, R., Gu, Y., Zhang, G., Yang, Z., Li, M., and Zhang, Z. (2017). Radiation Shielding Property of Structural Polymer Composite: Continuous Basalt Fiber Reinforced Epoxy Matrix Composite Containing Erbium Oxide. **Composites Science and Technology**. Vol. 143, pp. 67-74. DOI: 10.1016/j.compscitech.2017.03.002
- [17] Agar, O., Kavaz, E., Altunsoy, E. E., Kilicoglu, O., Tekin, H. O., Sayyed, M. I., Erguzel, T. T., and Tarhan, N. (2019).  $\text{Er}_2\text{O}_3$  Effects on Photon and Neutron Shielding Properties of  $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O-ZnO-Nb}_2\text{O}_5$  Glass System. **Results in Physics**. Vol. 13, p. 102277. DOI: 10.1016/j.rinp.2019.102277
- [18] Tekin, H. O., Altunsoy, E. E., Kavaz, E., Sayyed, M. I., Agar, O., and Kamislioglu, M. (2019). Photon and Neutron Shielding Performance of Boron Phosphate Glasses for Diagnostic Radiology Facilities. **Results in Physics**. Vol. 12, pp. 1457-1464. DOI: 10.1016/j.rinp.2019.01.060
- [19] Boonin, K., Yasaka, P., Limkitjaroenporn, P., and Rajaramakrishna, R. (2020). Effect of BaO on Lead Free Zinc Barium Tellurite Glass for Radiation Shielding Materials in Nuclear Application. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 550, p. 120386. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120386
- [20] Abouhaswa, A. S. and Kavaz, E. (2020).  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  Effect on Physical, Optical, Structural and Radiation Safety Characteristics of  $\text{B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-ZnO-CaO}$  Glass System. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 535, p.119993. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2020.119993
- [21] Hanane, B., Soumya, F., Moutataouia, M., Baach, B., Elbadaoui, A., Abderrazak, N., and Taoufiq, G. (2020). Structural Investigation of  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-B}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$  Quaternary Glass System by Raman, FTIR and Thermal Analysis. **Chemical Physics Letters**. Vol. 760, p. 138031. DOI: 10.1016/j.cplett.2020.138031
- [22] Boukhris, I., Kebaili, I., Buriahi, M. S. A., and Sayyed, M. I. (2021). Radiation Shielding Properties of Tellurite-Lead-Tungsten Glasses Against Gamma and Beta Radiations. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 551, p. 120430. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120430
- [23] Chanthima, N. and Kaewkhao, J. (2013). Investigation on Radiation Shielding Parameters of Bismuth Borosilicate Glass from 1 keV to 100 GeV. **Annals of Nuclear Energy**. Vol. 55, pp. 23-28. DOI:10.1016/j.anucene.2012.12.011
- [24] Khobkham, C., Chiphaksa, W., Limkitjaroenporn, P., Prongsamrong, P., Wiwatkanjana, P., and Kaewkhao, J. (2016). Theoretical Study of the Photon Interaction for Zirconium Alloy at 1 keV to 100 MeV. **Key Engineering Materials**. Vol. 675-676, pp. 730-733. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.675-676.730
- [25] Issa, Shams A. M., Kumar, Ashok., Sayyed, M. I., Dong, M. G., and Elmahroug, Y. (2018). Mechanical and Gamma-Ray Shielding Properties of  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-NiO}$  Glasses. **Materials Chemistry and Physics**. Vol. 212, pp. 12-20. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2018.01.058
- [26] Elbakey, A. A., Farag, M. A., El-Okr, M., Elrasasi, T. Y., and El-Mansy, M. K. (2020). Preparation and Characterization of Phosphate Glasses Co-doped with Rare Earth Ions. **Egyptian Journal of Chemistry**. Vol. 63, Issue 5, pp. 1955-1964. DOI: 10.21608/ejchem.2019.15556.1944

- [27] Agar, O., Kavaz, E., Altunsoy, E. E., Kilicoglu, O., Tekin, H. O., Sayyed, M. I., Erguzel, T. T., and Tarhan, N. (2019). Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Effects on Photon and Neutron Shielding Properties of TeO<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>O-ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Glass System. **Results in Physics**. Vol. 13, p. 102277. DOI: 10.1016/j.rinp.2019.102277
- [28] Gupta, S. and Sidhu, G. S. (2013). Measurement of Total and Partial Mass Attenuation Coefficients of Oxide Glasses: A Radiation Field. **International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)**. Vol. 3, Issue 6, pp. 3830-3835
- [29] Sayyed, M. I., Tekin, H. O., Taki, M. M., Mhareb, M. H. A., Agar, O., Şakar, E., Kaky, K. M. (2020). Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO-BaO-Li<sub>2</sub>O Glass System for Gamma Ray Shielding Applications. **Optik**. Vol. 201, p. 163525. DOI: 10.1016/j.ijleo.2019.163525
- [30] Dong, M. G., Sayyed, M. I., Lakshminarayana, G., Ersundu, M. Ç., Ersundu, A. E., Nayar, P., and Mahdi, M. A. (2017). Investigation of Gamma Radiation Shielding Properties of Lithium Zinc Bismuth Borate Glasses Using XCOM Program and MCNP5 Code. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 468, pp. July. 12-16. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2017.04.018

การประยุกต์สินชิกล์ชิกมาโลจิสติกส์ในการปรับปรุงคลังวัสดุสิ้นเปลือง  
ในศูนย์ซ่อมตัวถังและสี

## An Application of Lean Six Sigma Logistics for an Improvement for Supplies Warehouse in a Body & Paint Repairing Center

นัทธพงศ์ นันทสำเริง<sup>1\*</sup> พรนภา พญาธรรม<sup>1</sup> และมนิรัตน์ สุวรรณดี<sup>1</sup>

Natthapong Nanthasamroeng<sup>1\*</sup> Pornnapa Phayatham<sup>1</sup> and Maneerat Suwandeey<sup>1</sup>

Received: April 3, 2021; Revised: July 20, 2021; Accepted: July 21, 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการดำเนินงานและประยุกต์แนวคิดสินชิกล์ชิกมาโลจิสติกส์ในการควบคุมและลดต้นทุนในคลังวัสดุสิ้นเปลืองแผนกซ่อมตัวถังและสีของศูนย์บริการรถยนต์แห่งหนึ่งจากการระบุปัญหาและวัดค่าสภาพเริ่มต้นพบว่ามีความสูญเสียเปล่าด้านการรอคอยและการเบิกสีเพื่อมากเกินไปเกินความจำเป็น เมื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าเกิดจากการจัดคลังสินค้าไม่เหมาะสมและขาดมาตรฐานการทำงาน งานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงกระบวนการโดยจัดพื้นที่ใหม่และติดป้ายแสดงตำแหน่งของวัสดุสิ้นเปลืองในท้องเก็บวัสดุเพื่อเป็นมาตรการในการควบคุมด้วยสายตา และจัดทำมาตรฐานในการผสมสีของช่างสี ผลการปรับปรุงพบว่าเวลาที่ใช้ในการเบิกจ่ายเฉลี่ยลดลง 100.18 วินาที คิดเป็นร้อยละ 40.32 และต้นทุนรวมของวัสดุสิ้นเปลืองประเภทสีรถยนต์ลดลงจากเดิมเฉลี่ย 5,135.90 บาทต่อการซ่อมสีรถยนต์หนึ่งคัน คิดเป็นร้อยละ 22.13 หรือประมาณ 1,540,770 บาทต่อปี

คำสำคัญ : สินชิกล์ชิกมาโลจิสติกส์; การจัดการสินค้าคงคลัง; การจัดการคลังสินค้า; การวางแผนคลังสินค้า

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี

<sup>1</sup> Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani

\* Corresponding Author E-mail Address: Natthapong.n@ubru.ac.th

## Abstract

This research aimed to study the working condition and apply the lean six sigma logistics concept in controlling and reducing cost in a supplies warehouse of the body & paint repairing center. The defining and measuring of initial condition result revealed that there were waiting wastes and excessive colors requisition. After analyzing the problems, the root causes of problem were inappropriate warehouse managing and lack of working standards. Therefore, the processes were improved by re-layout of warehouse areas and used the location identification banners as a visual control standard. In addition, the color mixing standard of operation for painting technician was established. The improvement results revealed that supplies requisition time reduced 100.18 seconds (40.32 %) and average total cost of painting colors reduced 5,135.90 Baht per car (22.13 %) or can reduce 1,540,770 Baht per year.

**Keywords:** Lean Six Sigma Logistics; Inventory Management; Warehouse Management; Warehouse Layout

## บทนำ

ปัจจุบันรถยนต์ถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับครอบครัว ทั้งนี้เนื่องจากระบบขนส่งมวลชนในประเทศไทยยังไม่เพียงพอทั้งในแง่ของคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งการขยายตัวของภาคขนส่ง ส่งผลให้การซื้อขายรถยนต์ทั้งในส่วนของผู้ขายและผู้ซื้อ และรถยนต์บรรทุกมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2563 มีรถยนต์จดทะเบียนใหม่รวมทุกประเภท 2,436,807 คัน [1] และหากพิจารณาจำนวนรถจดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 จะพบว่ามีจำนวนกว่า 40 ล้านคัน [2]

จากจำนวนรถยนต์บนท้องถนนที่มีอยู่มาก ทำให้ธุรกิจศูนย์บริการรถยนต์มีการเติบโตตามไปด้วย โดยจากการสืบค้นเฉพาะรถยนต์โตโยต้าพบว่า มีจำนวนศูนย์บริการทั่วประเทศจำนวน 464 แห่ง ในจำนวนนี้เป็นศูนย์บริการทั่วไป 210 แห่ง และศูนย์บริการพิเศษที่สามารถซ่อมตัวถังและสีได้ 254 แห่ง [3] โดยการบริการซ่อมตัวถังและสีที่อยู่ภายใต้ศูนย์จัดจำหน่ายนั้นได้รับความนิยมและมีอัตราเติบโตที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเกิดอุบัติเหตุเฉี่ยวชน เจ้าของรถหรือคู่กรณีนิยมที่จะให้บริษัทประกันภัยส่งรถที่ชำรุดเสียหายมาซ่อมยังศูนย์บริการตัวถังและสีที่มีมาตรฐานและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า [4]

ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้ศูนย์บริการรถยนต์ถือเป็นหัวใจในการดำเนินธุรกิจของตัวแทนจำหน่ายรถยนต์ซึ่งมีการแข่งขันในธุรกิจอย่างมาก โดยถือเป็นการสร้างความแตกต่างในบริการหลังการขายทั้งระหว่างรถยนต์แบรนด์เดียวกันและต่างแบรนด์ [5] ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้บริการของลูกค้าประกอบด้วยคุณภาพการให้บริการในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่การนัดหมาย การเปิดงานซ่อม การติดตามความคืบหน้างานซ่อม การควบคุมคุณภาพงานซ่อม การส่งมอบงาน และการติดตามหลังการซ่อม [6]

อย่างไรก็ตาม ด้วยปริมาณผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้น การแข่งขันระหว่างศูนย์บริการต่าง ๆ ที่รุนแรงขึ้น ทำให้การควบคุมการดำเนินงานและการควบคุมต้นทุนเป็นสิ่งจำเป็น โดยหากศูนย์บริการรถยนต์

สามารถลดความสูญเปล่าในกระบวนการที่เกี่ยวข้องได้จะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในแข่งขัน และนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพการให้บริการตลอดจนเพิ่มผลกำไรอย่างยั่งยืนให้กับองค์กร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการดำเนินงานภายในคลังวัสดุสิ้นเปลืองแผนกซ่อมตัวถังและสีของศูนย์บริการรถยนต์แห่งหนึ่ง และประยุกต์แนวคิดสินค้าซิกซ์ซิกมาโลจิสติกส์ในการจัดการคลังสินค้าและลดต้นทุนอันเนื่องมาจากความสูญเปล่าในหน่วยงานดังกล่าว

#### ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการเฉพาะในแผนกซ่อมตัวถังและสีของศูนย์บริการแห่งหนึ่ง โดยดำเนินการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2562 และเก็บข้อมูลภายหลังดำเนินการมาตรการปรับปรุงในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดลีน (Lean Thinking)

แนวคิดลีน หรือระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) หรือระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System) มีเป้าหมายเพื่อกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต 7 ประการ ได้แก่ ย้ายบ่อย (Transportation) คอยนาน (Waiting) สต็อกบาน (Excessive Inventory) งานผิด (Defective) ผลิตเกิน (Overproduction) เดิน เอื้อม หัน (Motion) ขั้นตอนไม่มีประสิทธิภาพ (Overprocessing) โดยคำว่าลีน (Lean) นั้นแปลว่าพอมบาง ไม่มีไขมันส่วนเกิน ดังนั้นการกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการจึงเปรียบเสมือนการกำจัดไขมันส่วนเกินในร่างกาย ทำให้สุขภาพดีและแข็งแรงนั่นเอง [7] - [8] โดยหลักการพื้นฐานของแนวคิดลีนประกอบด้วย (1) การนิยามคุณค่า (2) การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า (3) การไหล (4) การดึง และ (5) ความสมบูรณ์แบบ [9]

#### ลีนโลจิสติกส์ (Lean Logistics)

ลีนโลจิสติกส์เป็นแนวคิดในการบริหารจัดการองค์การที่ได้รับการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยหลักการแล้วลีนโลจิสติกส์จะหมายถึงการประยุกต์แนวคิดลีนเข้ากับมิติด้านโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ไม่ว่าจะเป็นโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound) หรือขาออก (Outbound) ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนการไหลของวัสดุจากกระบวนการต้นน้ำไปสู่กระบวนการปลายน้ำและส่งมอบคุณค่าให้กับผู้บริโภคขั้นสุดท้าย นอกจากนี้กระบวนการทางโลจิสติกส์ทั้งหมดจะได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยการกำจัดความสูญเปล่าและกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า [10]

ในการนำแนวคิดลีนโลจิสติกส์ไปใช้ในองค์การอย่างเต็มรูปแบบนั้น จะดำเนินการตามหลักการของระบบการผลิตแบบลีนอย่างเคร่งครัด เพียงแต่กระทำในมิติของโลจิสติกส์ ได้แก่ (1) การบ่งชี้คุณค่าตลอดห่วงโซ่อุปทาน (2) การจัดทำแผนผังสายธารคุณค่าตลอดโครงข่ายโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (3) การสร้างให้เกิดการไหล โดยลดการติดขัด ลดการเก็บสินค้าคงคลัง ลดการหยุดเนื่องจากความขัดข้องของอุปกรณ์เครื่องจักร และ (4) การออกแบบระบบดึง (Pull System) ทั่วทั้งห่วงโซ่อุปทาน [11]

มีงานวิจัยที่นำเอาแนวคิดลีนโลจิสติกส์ไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตและบริการต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมแป้งและน้ำตาล ในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งผลการวิจัยเป็นที่น่าพอใจ สามารถลดปริมาณงานรอระหว่างกระบวนการ ลดปริมาณวัตถุดิบรอเข้ากระบวนการผลิต ลดค่าใช้จ่าย

ที่เกิดจากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า พนักงานมีทักษะการปฏิบัติงานดีขึ้น มีความคิดพละตน้อยลง [12] นอกจากนี้ยังมีการนำแนวคิดดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการให้บริการผู้ป่วยนอก ในโรงพยาบาลย่นฮี โดยสามารถลดเวลาการรอคอยของผู้ป่วยได้ถึง 9 นาทีต่อหนึ่งเคส ทำให้ผู้รับบริการ มีความพึงพอใจเพิ่มขึ้นอย่างมาก [13]

### ลีนซิกซ์ซิกมาโลจิสติกส์ (Lean Six Sigma Logistics)

เป็นแนวคิดที่บูรณาการแนวคิดลีนเข้ากับเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพที่เรียกว่า ซิกซ์ซิกมา (Six Sigma) โดยคาดหวังว่าเมื่อใช้แนวคิดลีนร่วมกับเครื่องมือซิกซ์ซิกมาแล้วจะทำให้ผู้บริโภคได้รับสินค้าและบริการตรงตามความต้องการในเวลาและสถานที่ที่เหมาะสมโดยลดความผันแปร (Variation) ในกระบวนการต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทานลงให้เหลือน้อยที่สุด โดย Goldsby, T. and Martichenko, R. [14] ได้สรุปไว้ในหนังสือ “ลีนซิกซ์ซิกมาโลจิสติกส์” ว่ากระบวนการบูรณาการนี้เป็นการกำจัดความสูญเปล่าผ่านการดำเนินการอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เข้าใจและพยายามลดความผันแปรในกระบวนการพร้อม ๆ กับการเพิ่มความเร็วและความสามารถในการไหลตลอดห่วงโซ่อุปทาน

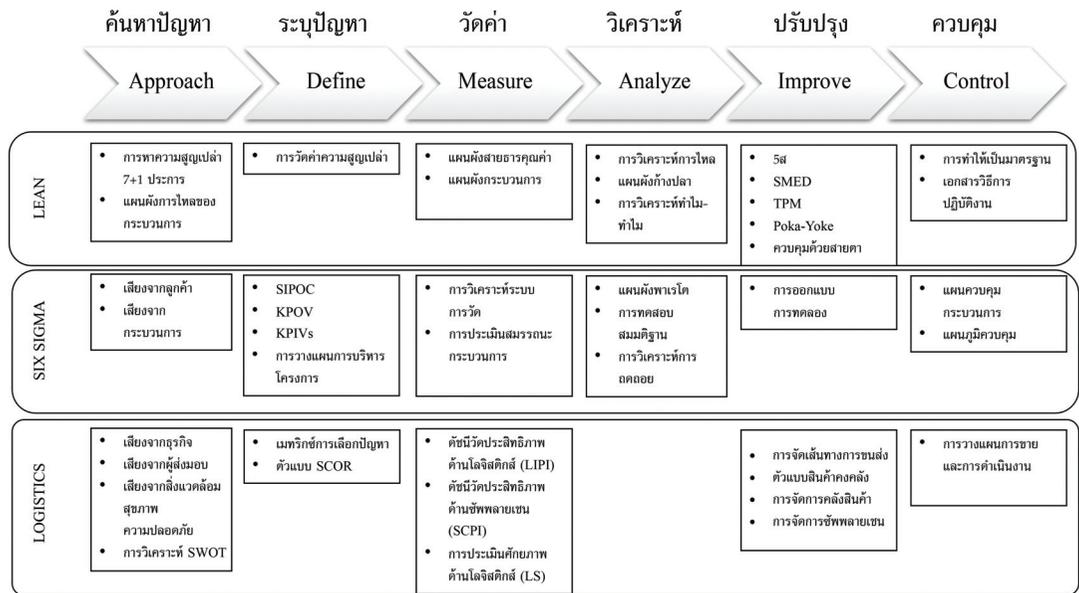
ดังนั้น เครื่องมือสำคัญในแนวคิดลีนซิกซ์ซิกมาโลจิสติกส์จะมีความคล้ายคลึงกับเครื่องมือลีน แต่จะเพิ่มเครื่องมือของซิกซ์ซิกมาเข้ามา ซึ่งประกอบด้วยวัฏจักรการปรับปรุงคุณภาพของค์การ หรือ DMAIC ซึ่งจะเริ่มจากการระบุปัญหา (Define) จากนั้นจึงทำการวัดสภาพปัจจุบันของปัญหา (Measure) แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูล (Analyze) เพื่อนำไปสู่การปรับปรุง (Improve) และควบคุมกระบวนการ ให้มีเสถียรภาพ (Control) ต่อไป [15]

Charoenprasit, S. and Thaingoen, K. [16] ได้ทำการประยุกต์ลีนซิกซ์ซิกมาโลจิสติกส์ ในกระบวนการทำเอกสารเบิกจ่ายอะไหล่โดยดำเนินการตามวงจร DMAIC โดยพบว่าสามารถลดเวลาทำเอกสารเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 57.51 และลดต้นทุนในการดำเนินงานลงได้ร้อยละ 24.78

### การดำเนินการวิจัย

กรอบการดำเนินงานที่ใช้เป็นการพัฒนาขึ้นมาใหม่จากกรอบแนวคิดในเทคนิคลีนซิกซ์ซิกมา พัฒนาเป็นกรอบการดำเนินงานแบบ ADMAIC ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นตอนการค้นหาปัญหา และเพิ่มเครื่องมือโลจิสติกส์ เข้าไปในกระบวนการ (รูปที่ 1) ระเบียบวิธีลีนซิกซ์ซิกมาโลจิสติกส์ในรูปที่ 1 เป็นกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยมีการแยกกิจกรรมการค้นหาปัญหาออกมาจากกระบวนการระบุปัญหา เนื่องจากต้องการมุ่งเน้น และให้ความสำคัญกับการค้นหาปัญหาอย่างมีส่วนร่วมโดยผู้ปฏิบัติงานเอง ในขณะที่ซิกซ์ซิกมาแบบดั้งเดิมนั้น ปัญหาส่วนใหญ่จะได้รับการมอบหมายจากผู้บริหารหรือผู้ที่ทำหน้าที่ “แชมเปียน” (Champion) โดยตรง ดังนั้น กระบวนการวิจัยในบทความนี้จะเริ่มจากการค้นหาปัญหาในคลังสินค้าวัสดุสิ้นเปลืองโดยใช้การฟังเสียงจากกระบวนการ (Voice of Process) ด้วยเครื่องมือการสำรวจความสูญเปล่า (Waste Walk) จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการระบุและยืนยันปัญหาด้วยการวัดค่าของความสูญเปล่าที่ระบุได้ จากนั้นจึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังสาเหตุและผล เมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงแล้วจึงดำเนินการปรับปรุงโดยใช้โคเซ็นและเทคนิควิธีการทางโลจิสติกส์ จากนั้นจึงทำการจัดทำมาตรฐานเพื่อควบคุมกระบวนการในลำดับสุดท้าย จะเห็นได้ว่ากระบวนการทั้งหมดเป็นการบูรณาการศาสตร์ด้านลีนเพื่อใช้ในการค้นหาความสูญเปล่า และองค์ความรู้ด้านโลจิสติกส์เพื่อใช้ในการกำหนดมาตรการแก้ปัญหา โดยอยู่ภายใต้

กรอบการทำงานแบบ ADMAIC ซึ่งเป็นกรอบกระบวนการของสัจฉิสิกซ์ชิกมาโลจิสติกส์ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยจะยังไม่มีการใช้เครื่องมือทางสถิติของเทคนิคสัจฉิสิกซ์ชิกมาแต่อย่างใดเนื่องจากการทดลองแนวคิดในการเข้าถึงและแก้ไขปัญหาด้วยเครื่องมือสิ้นและโลจิสติกส์ภายใต้ขั้นตอนการดำเนินการของเทคนิคสัจฉิสิกซ์ชิกมา



รูปที่ 1 ระเบียบวิธีสัจฉิสิกซ์ชิกมาโลจิสติกส์

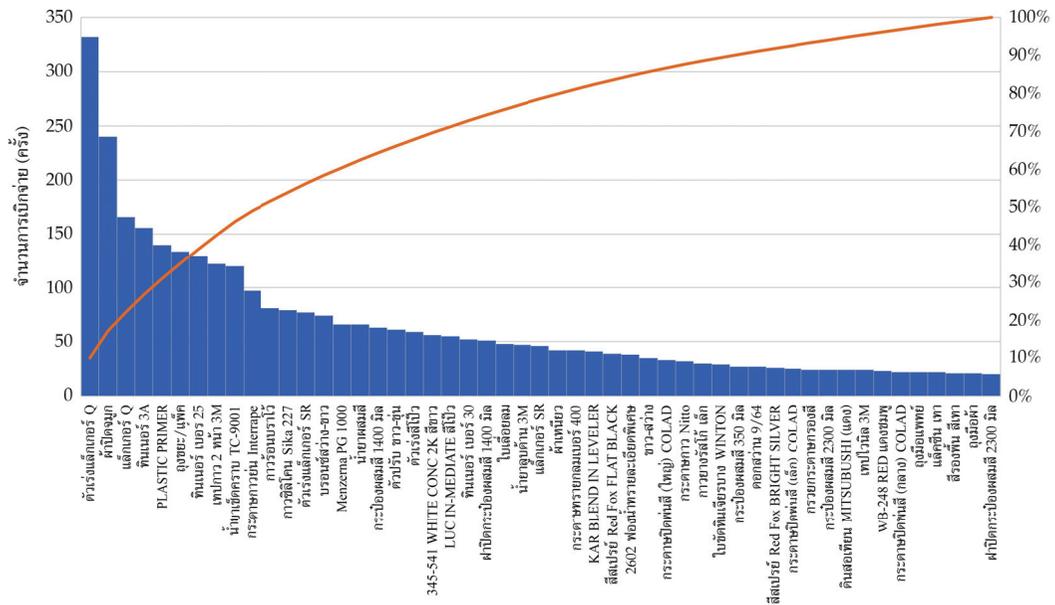
### ผลการวิจัย

#### ผลการเข้าถึงและระบุปัญหา

จากการสำรวจความสูญเสียพบว่าในแผนกซ่อมตัวถังและสีมีความสูญเสียที่เกิดขึ้นสองประเด็นหลักได้แก่ (1) การเบิกจ่ายวัสดุใช้เวลาานซึ่งถือเป็นปัจจัยนำเข้า (Input) ที่ทำให้เกิดปัจจัยส่งออก (Output) คือความสูญเสียประเภทการรอคอย และ (2) มีการเบิกสีมากกว่าปริมาณที่ต้องใช้จริงซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้าที่ทำให้เกิดปัจจัยส่งออกซึ่งเป็นความสูญเสียประเภทการผลิตที่มากเกินไป

#### ผลการวัดค่า

ในประเด็นของการเบิกจ่ายวัสดุที่ใช้เวลานานมากเกินไป ทำให้เกิดความสูญเสียที่เกิดจากการรอคอยนั้น งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลืองจำนวน 52 รายการ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม - 31 ธันวาคม พ.ศ.2562 และนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 2



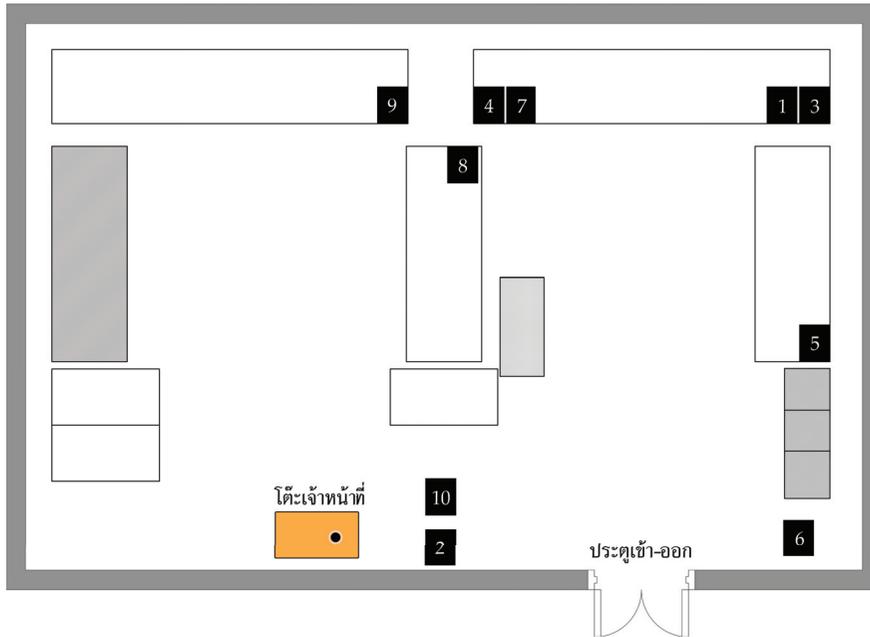
รูปที่ 2 แผนภาพพาราเรโตของปริมาณการเบิกจ่ายวัสดุ

จากรูปที่ 2 พบว่าร้อยละ 80 ของวัสดุสิ้นเปลืองที่มีการเคลื่อนไหวสูงมีจำนวนมากถึง 28 รายการ เพื่อความสะดวกในการจัดการ งานวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุสิ้นเปลืองที่มีการเคลื่อนไหวสูงสุด 10 อันดับแรก มาทำการศึกษาเวลาในการเบิกจ่าย โดยใช้การจับเวลาการเบิกจ่าย 5 ครั้งที่เป็นอิสระต่อกันและคำนวณ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาการเบิกจ่าย โดยมีผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลืองที่มีการเคลื่อนไหวสูงสุด 10 อันดับแรก

รายการวัสดุ	เวลาเบิกจ่ายเฉลี่ย (วินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ตัวเร่งแล็กเกอร์ Q	246.40	2.80
2. ผ้าปิดจมูก	198.80	20.61
3. แล็กเกอร์ Q	242.60	0.49
4. ทินเนอร์ 3A	209.00	25.73
5. Plastic Primer	248.60	0.49
6. ถุงขยะ/แพ็ค	241.40	1.02
7. ทินเนอร์ เบอร์ 25	244.80	1.17
8. เทปกาว 2 หน้า 3M	303.20	1.17
9. น้ำยาเช็ดคราบ TC-9001	244.80	1.17
10. กระดาษกาว ย่น Intertape	304.60	1.36

จะเห็นว่าวัสดุบางรายการ นอกจากมีเวลาการเบิกจ่ายที่สูงแล้วยังมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาการเบิกจ่ายที่สูงด้วย โดยเฉพาะในรายการที่ 2 ผ้าปิดจมูกซึ่งเป็นวัสดุที่มีขนาดบางและเล็ก มีความยากต่อการค้นหาในแต่ละครั้ง และรายการที่ 4 ทินเนอร์ 3A ซึ่งมีการจัดเก็บไว้ในจุดที่อยู่ไกลจากทินเนอร์ชนิดอื่น ๆ ทำให้ผู้เบิกจ่ายเกิดความสับสนได้ง่าย จากนั้นได้ทำการสำรวจสภาพคลังวัสดุสิ้นเปลืองโดยพิจารณาวัสดุที่มีอัตราการเบิกจ่ายสูงสุด 10 อันดับดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยพบว่ามีการเก็บวัสดุทั้ง 10 รายการในตำแหน่งต่าง ๆ ของคลัง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังคลังสินค้าวัสดุสิ้นเปลืองก่อนการปรับปรุง

ในส่วนของการเบิกจ่ายสีที่มีปริมาณมากเกินไปนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลสีที่ใช้ในการซ่อมตัวถังและสีของรถยนต์ 11 รุ่นที่เข้ารับบริการในศูนย์บริการโดยพบว่ารถยนต์แต่ละรุ่นมีปริมาณการใช้สีที่แตกต่างกัน และเมื่อคำนวณมูลค่าสีที่ใช้จะแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มูลค่าสีที่ใช้ในการซ่อมตัวถังและสีของรถยนต์แต่ละรุ่น

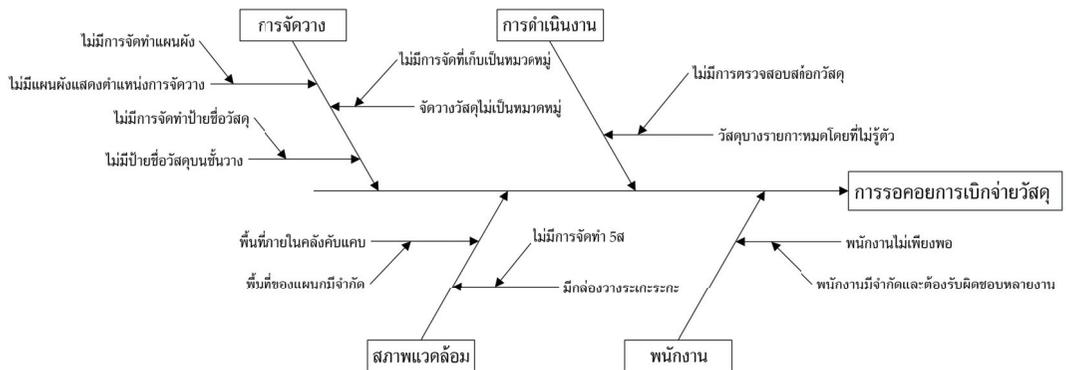
รุ่น	มูลค่าสีที่ใช้ต่อคัน (บาท)			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1. Pick Up D	33,367.40	43,985.80	39,415.70	3,413.08
2. Pick Up S1	35,355.60	55,015.70	44,559.10	5,920.44
3. Pick Up S2	11,010.50	14,896.10	12,891.40	1,123.34
4. Sedan V	7,023.70	13,171.30	10,520.20	1,102.13

ตารางที่ 2 มูลค่าที่ใช้ในการซ่อมตัวถังและสีของรถยนต์แต่ละรุ่น (ต่อ)

รุ่น	มูลค่าที่ใช้ต่อกัน (บาท)			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.
5. Sedan Y	14,011.60	25,181.70	18,432.70	1,975.42
6. Sedan A	15,002.20	24,895.00	20,659.30	2,665.56
7. Sedan C	14,223.80	19,783.80	16,395.30	1,728.85
8. SUV F	37,792.10	59,748.70	48,537.10	5,320.31
9. SUV S	13,916.90	19,903.30	17,536.20	1,398.79
10. Van H	9,829.30	12,754.90	11,419.20	574.06
11. Van C	9,834.20	13,316.00	11,856.10	835.18

ผลการวิเคราะห์สาเหตุ

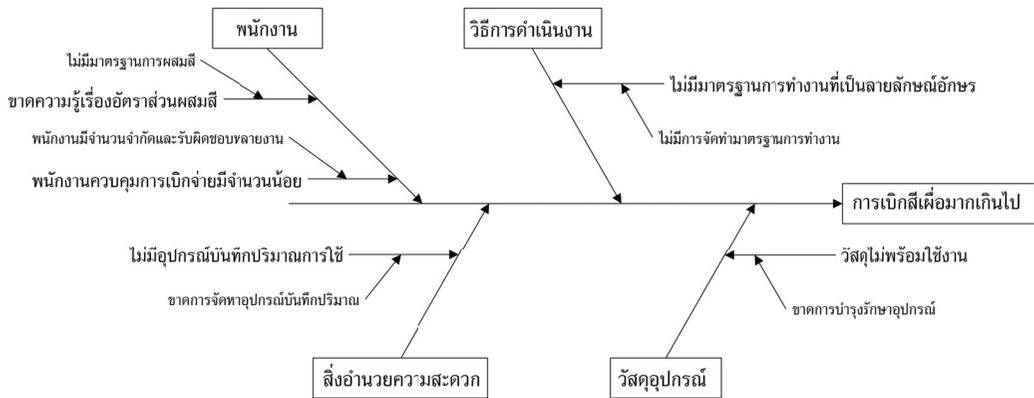
งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทั้งสองประเด็นด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนผังก้างปลา โดยในประเด็นปัญหาเกี่ยวกับการรอคอยในกระบวนการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลืองสามารถวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของการรอคอย

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าสาเหตุหลักของการรอคอยจะเกี่ยวกับการจัดวางแผนผังคลังสินค้า วัสดุสิ้นเปลืองเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นการวางของระเกะระกะ การไม่มีป้ายชื่อวัสดุกำกับทำให้หาของยาก การจัดของที่มีความถี่ในการเบิกจ่ายบ่อยไปไว้ส่วนในสุดของคลังสินค้า

สำหรับประเด็นปัญหาการเบิกสีเพื่อบำรุงสีมากเกินไปสามารถวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผลได้ดังรูปที่ 5



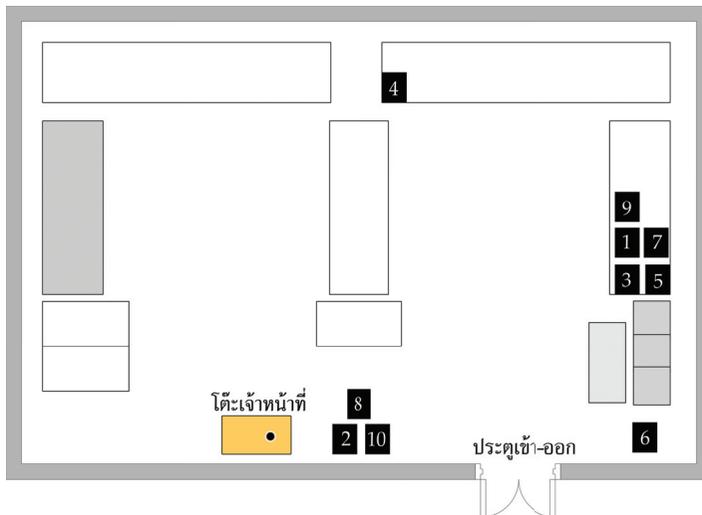
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของการเบกสีเพื่อมากเกินไป

จากรูปที่ 5 สาเหตุหลักของความสูญเสียจากการเบกสีเพื่อมากเกินไปเกิดจากการที่ไม่มีมาตรฐานการผสมสีและการเบกจ่ายสี รวมถึงไม่มีการบันทึกปริมาณการใช้สีเพื่อเทียบกับการเบกจ่ายสี

## ผลการปรับปรุงและควบคุม

จากการวิเคราะห์สาเหตุหลักของความสูญเสียด้วยแผนผังสาเหตุและผล พบว่าผลการปรับปรุงสามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเด็นตามสาเหตุของความสูญเสียที่สำรวจพบดังนี้

1. สำหรับประเด็นความสูญเสียที่เกิดจากการรอคอย พบว่าสาเหตุหลักจากการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผลในรูปที่ 4 ได้แก่ การไม่กำหนดตำแหน่งการจัดเก็บวัสดุ ไม่มีการจัดทำแผนผังการจัดวางวัสดุ ไม่มีการจัดทำป้ายชื่อกำกับวัสดุ ดังนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงคลังเก็บวัสดุสิ้นเปลืองด้วยวิธีการจัดวัสดุที่มีความถี่ในการใช้งานมากทั้ง 10 รายการ มาวางในตำแหน่งที่ใกล้ประตูออกเพื่อให้ง่ายต่อการหยิบจับ (รูปที่ 6) และติดป้ายชื่อกำกับวัสดุและบอกหมวดหมู่เพื่อควบคุมด้วยสายตา (Visual Control) (รูปที่ 7) นอกจากนี้ยังได้จัดทำแผนผังห้องวัสดุสิ้นเปลืองเพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจในการใช้งานมากยิ่งขึ้นและเป็นการควบคุมการปฏิบัติงานไปด้วย โดยเมื่อได้ทำการปรับปรุงแล้วพบว่าเวลาที่ใช้ในการเบกจ่ายวัสดุที่เลือกมา 10 รายการ ลดลง 100.18 วินาที คิดเป็นร้อยละ 40.33 โดยจะเห็นได้ว่ามีวัสดุบางประเภทที่ไม่มีการย้ายที่จัดเก็บ แต่มีการติดป้ายบอกตำแหน่งให้ชัดเจนขึ้นก็ส่งผลให้เวลาหลังการปรับปรุงลดลงด้วย



รูปที่ 6 แผนผังคลังสินค้าวัสดุสิ้นเปลืองหลังปรับปรุง



รูปที่ 7 การใช้ป้ายกำกับหมวดหมู่เพื่อควบคุมด้วยสายตา

ตารางที่ 3 ผลการปรับปรุงเวลาการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลืองในคลังสินค้า

รายการวัสดุ	เวลาเบิกจ่าย (วินาที)				ผลต่างของ เวลาเบิกจ่ายเฉลี่ย (%)
	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		
	เวลาเฉลี่ย	S.D.	เวลาเฉลี่ย	S.D.	
1. ตัวเร่งแล็กเกอร์ Q	246.40	2.80	87.00	1.10	64.69
2. ผ้าปิดจมูก	198.80	20.61	188.40	0.80	5.23
3. แล็กเกอร์ Q	242.60	0.49	82.00	0.40	66.20
4. ทินเนอร์ 3A	209.00	25.73	206.60	0.49	1.15

ตารางที่ 3 ผลการปรับปรุงเวลาการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลืองในคลังสินค้า (ต่อ)

รายการวัสดุ	เวลาเบิกจ่าย (วินาที)				ผลต่างของ เวลาเบิกจ่ายเฉลี่ย (%)
	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		
	เวลาเฉลี่ย	S.D.	เวลาเฉลี่ย	S.D.	
5. Plastic Primer	248.60	0.49	245.00	0.36	1.45
6. ถูขยะ/แพ็ค	241.40	1.02	232.40	0.87	3.73
7. ทินเนอร์ เบอร์ 25	244.80	1.17	80.80	0.75	66.99
8. เทปกาว 2 หน้า 3M	303.20	1.17	79.40	1.06	73.81
9. น้ำยาเช็ดคราบ TC-9001	244.80	1.17	85.60	0.80	65.03
10. กระดาษกาวย่น Intertape	304.60	1.36	195.20	1.03	35.92
<b>เฉลี่ยรวม</b>	<b>248.42</b>		<b>148.24</b>		<b>40.33</b>

2. ในประเด็นการเบิกจ่ายสีเพื่อเป็นปริมาณมากนั้น พบว่าสาเหตุหลักจากการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผลในรูปที่ 5 ได้แก่ การขาดการจัดทำมาตรฐานการผสมสี ไม่มีมาตรฐานการทำงานที่เป็นลายลักษณ์อักษร และไม่มีการบันทึกปริมาณการใช้สีเพื่อเทียบกับการเบิกจ่ายสี จึงแก้ไขด้วยการตรวจสอบเอกสารมาตรฐานการทำสีของบริษัทและจัดทำมาตรฐานการทำงานของช่างทำสีให้เป็นลายลักษณ์อักษร (Work Instruction) ตลอดจนควบคุมการเบิกจ่ายโดยให้ช่างบันทึกปริมาณสีที่ใช้และสีที่เบิกจ่ายทุกครั้ง ทำให้สามารถลดต้นทุนสีที่ใช้ได้ร้อยละ 22.13 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการปรับปรุงมาตรฐานการเบิกจ่ายสี

รายการวัสดุ	มูลค่าสีเฉลี่ยที่ใช้ต่อกัน (บาท)		ผลต่าง (%)
	ก่อน	หลัง	
1. Pick Up D	39,316.30	32,377.30	29.53
2. Pick Up S1	46,231.30	35,377.50	42.48
3. Pick Up S2	12,924.90	10,220.10	36.18
4. Sedan V	10,200.30	6,952.30	60.97
5. Sedan Y	19,568.50	13,902.10	57.64
6. Sedan A	19,840.30	14,995.30	49.90
7. Sedan C	17,686.30	14,011.70	32.64
8. SUV F	49,558.80	37,589.30	44.71
9. SUV S	16,875.40	13,826.10	36.01
10. Van H	11,381.20	9,781.70	26.12
11. Van C	11,729.90	9,784.90	30.10
<b>เฉลี่ยรวม</b>	<b>23,210.29</b>	<b>18,074.39</b>	<b>22.13</b>

## สรุป

บทความวิจัยเรื่อง การประยุกต์สินค้าชีกซ์ชีกมาโลจิสติกส์สำหรับคลังวัสดุสิ้นเปลืองในศูนย์ซ่อมตัวถังและสี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการดำเนินงานภายในคลังวัสดุสิ้นเปลืองแผนกซ่อมตัวถังและสีของศูนย์บริการรถยนต์แห่งหนึ่ง และเพื่อประยุกต์แนวคิดสินค้าชีกซ์ชีกมาโลจิสติกส์ในการจัดการคลังสินค้า และลดต้นทุนอันเนื่องมาจากความสูญเปล่า

ผลจากการวิจัยตามวัฏจักรการปรับปรุงคุณภาพองค์กร หรือ ADMAIC พบว่าสามารถระบุปัญหาจากความสูญเปล่าในกระบวนการทางโลจิสติกส์ของคลังวัสดุสิ้นเปลืองได้ 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอยการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลือง และความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการเบิกสีเพื่อมากเกินไป จากนั้นทำการวัดสถานะเริ่มต้นโดยการใช้เครื่องมือสินค้าชีกซ์ชีกมาโลจิสติกส์ที่สำคัญ ได้แก่ แผ่นตรวจสอบ และแผนภูมิพาเรโต ได้ค่าความสูญเปล่าในประเด็นการรอคอยการเบิกจ่ายวัสดุสิ้นเปลืองเฉลี่ย 248.42 วินาทีต่อรายการ และมูลค่าสีที่ใช้ต่อการเบิกจ่ายแต่ละครั้งเฉลี่ย 23,210.29 บาท

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ ได้ประยุกต์ใช้แผนผังสาเหตุและผลในการหาสาเหตุของปัญหาซึ่งพบว่าสาเหตุหลักของปัญหาการรอคอยการเบิกจ่ายเกิดจากการวางผังคลังวัสดุสิ้นเปลืองไม่เหมาะสม และสาเหตุของปัญหาการเบิกจ่ายสีเพื่อมากเกินไปเกิดจากการขาดมาตรฐานในการปฏิบัติงาน ดังนั้นในขั้นตอนการปรับปรุงจึงได้ดำเนินการจัดวางผังคลังสินค้าใหม่และสืบค้นมาตรฐานปริมาณสีที่ใช้จากบริษัทรถยนต์เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการทำงานของแผนกซ่อมตัวถังและสี จากนั้นในขั้นตอนสุดท้ายของวัฏจักร ADMAIC ซึ่งคือขั้นตอนการควบคุม งานวิจัยนี้ได้จัดทำป้ายบ่งชี้หมวดหมู่ของวัสดุในคลังวัสดุสิ้นเปลืองเพื่อเป็นการควบคุมด้วยสายตา และจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน ตลอดจนจัดทำระบบบันทึกปริมาณสีเพื่อให้งานทำการบันทึกปริมาณสีที่ใช้และสีที่เบิกจ่ายทุกครั้ง โดยผลจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาการรอคอยลงได้ 100.18 วินาที คิดเป็นร้อยละ 40.33 และลดต้นทุนของสีที่ใช้โดยเฉลี่ย 5,135.90 บาทต่อการซ่อมสีรถยนต์หนึ่งคัน คิดเป็นร้อยละ 22.13 โดยหากพิจารณาจากสถิติของรถยนต์ที่เข้ามารับบริการเฉลี่ย 25 คันต่อเดือน จะพบว่าสามารถประหยัดต้นทุนสีได้ถึง 128,397.50 บาทต่อเดือนหรือ 1,540,770 บาทต่อปี

จะเห็นได้ว่ากระบวนการปรับปรุงโดยใช้แนวคิดสินค้าชีกซ์ชีกมาโลจิสติกส์สามารถประยุกต์ในอุตสาหกรรมบริการประเภทศูนย์บริการรถยนต์ได้เป็นอย่างดี โดยเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่ชัดเจนและวัดผลได้ ซึ่งธุรกิจประเภทอื่นในอุตสาหกรรมอื่นสามารถนำแนวคิดดังกล่าวไปประยุกต์ได้

## ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์สำหรับผู้บริหาร

ควรมีการนำกระบวนการและขั้นตอนการแก้ปัญหาโดยใช้แนวคิดสินค้าชีกซ์ชีกมาโลจิสติกส์ไปประยุกต์ใช้ในแผนกอื่น ๆ ของศูนย์บริการรถยนต์เพื่อลดความสูญเปล่าและลดความผันแปรในกระบวนการให้บริการ โดยควรส่งเสริมให้เกิดการมีส่วนร่วมของพนักงานในทุกระดับและมีการดำเนินการตามรอบเวลาที่กำหนดขึ้น เพื่อสร้างวัฒนธรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในองค์กร

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต

ควรมีการทดลองประยุกต์กระบวนการสินค้าชิกมาโลจิสติกส์ซึ่งเป็นแนวคิดใหม่กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากในบทความวิจัยนี้ เช่น การประยุกต์ใช้งานสาธารณสุข งานด้านเกษตรกรรม หรืองานด้านการป้องกันประเทศ และใช้เครื่องมือทางสถิติในเทคนิคสินค้าชิกมาเพื่อยืนยันปัญหาและแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ เช่น การทดสอบสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง เป็นต้น

## References

- [1] Department of Land Transport. (2020). **Thailand's Automobile Registration Statistics 2020**. Access (5 December 2020). Available (<https://web.dlt.go.th/statistics>)
- [2] Department of Land Transport. (2020). **Accumulative Registered Automobile Until 30 November 2020**. Access (5 December 2020). Available (<https://web.dlt.go.th/statistics>)
- [3] Toyota Motor (Thailand) Company Limited. (2020). **Dealer List**. Access (5 December 2020). Available (<https://www.toyota.co.th/dealer>)
- [4] Lertpongprasert, S. and Pratoomsawad, T. (2018). Service Quality of Standard Autobody Repair and Painting Service Center in Nonthaburi Province. **Journal of Suvarnabhumi Institute of Technology**. Vol. 4, No. 2, pp. 16-29
- [5] Pipithsuksuntand, R. and Charoenwiriyaikul, C. (2020). Service Quality and Marketing Mix Affects Customer Satisfaction in the Automobile Standard Service Center (Case Study of Mitsubishi Service Center in Nonthaburi). **The Journal of Development Administration Research**. Vol. 10, No. 3, pp. 88-97
- [6] Chomkonggraud, T., Prayotudomkit, P., and Wonglek, P. (2018). Logistics Service Quality Affecting Customers' Satisfaction by Toyota Service Center In Samutprakan Province. **Southeast Bangkok Journal (Humanities and Social Sciences)**. Vol. 4, No. 1, pp.33-50
- [7] Wannasiri, U. (2019). Applying of Lean Concepts to Increase the Efficiency of Storage Space: A Case Study of Door and Window Equipment Dealers. **NKRAFA Journal of Science and Technology**. Vol. 15, pp. 67-78
- [8] Jitkue, K. (2019). The LEAN Way: Global Management Concepts Enhance the Operation Case Study of the Organic Mushroom Community Business, Ban Liphon Hua Han - Bor Rae, Phuket Province. **Area Based Development Research Journal**. Vol. 11, No. 2, pp. 135-155
- [9] Klinpipat, A. and Tingsapatti, C. (2017). A Lean Coach Competency-Based Training Program. **TNI Journal of Business Administration and Languages**. Vol. 5, No. 2, pp. 52-57
- [10] Wronka, A. (2016). Lean Logistics. **Journal of Positive Management**. Vol. 7, No. 2, pp. 55-63. DOI: 10.12775/JPM.2016.012
- [11] Ramstad, K. F. (2019). **What is Lean Logistics?**. Access (5 December 2020). Available (<https://www.mixmove.io/blog/what-is-lean-logistics>)

- [12] Weerotpadungpong, N. (2019). Evaluation of Manufacturing Lean Logistic System to Use in the Organization: Factory of Starch and Sugar Industry in Nakhonratchasima. **Journal of Logistics and Supply Chain College**. Vol. 5, No. 2, pp. 39-54
- [13] Maneeyot, B. and Thongrod, C. (2016). Lean Logistics Management for Out-Patient Ward of Yanhee Hospital. **Journal of Logistics and Supply Chain College**. Vol. 2, No. 1, pp. 1-11
- [14] Goldsby, T. and Martichenko, R. (2005). **Lean Six Sigma Logistics**. Florida: J. Ross Publishing Inc.
- [15] Innupat, W. and Kupimai, S. (2018). Improvement of Flocking Process for Automotive Window Frame Rubber Manufactures Based on Six Sigma Principle. **EAU Heritage Journal Science and Technology**. Vol. 12, No. 1, pp. 96-109
- [16] Charoenprasit, S. and Thaingoen, K. (2020). Spare Parts Disbursement Documenting Time Reduction by Using DMAIC Concept. **Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University**. Vol. 10, No. 1, pp. 124-136

อิทธิพลของการไพรม์เมล็ดร่วมกับ  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  ต่อความงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งจีน

## The Influence of Primed Seed with $KNO_3$ , $KH_2PO_4$ and $GA_3$ on Germination and Seedling Growth of Water Morning Glory (*Ipomoea aquatica* Forsk. Var. reptan)

จักรพงษ์ กางโสภา<sup>1\*</sup> เพชรรัตน์ จีเพชร์<sup>1</sup> และจุฑามาศ อาจนาเสียว<sup>1</sup>

Jakkrapong Kangsopa<sup>1\*</sup> Phetcarat Jeephet<sup>1</sup> and Chuthamat Atnaseo<sup>1</sup>

Received: December 17, 2020; Revised: June 8, 2021; Accepted: June 8, 2021

### บทคัดย่อ

ผักบุ้งจีนเป็นหนึ่งในผักที่คนไทยนิยมนำมาประกอบอาหาร จึงมีการผลิตและเกิดธุรกิจเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนอย่างแพร่หลาย แต่ในระบบการเพาะปลูกผักบุ้งในระดับอุตสาหกรรมยังคงประสบปัญหาเมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพง่าย ทำให้เมล็ดงอกช้า และมีอัตราการงอกไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะต้นกล้าผิดปกติ ดังนั้นงานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของ  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  ที่เหมาะสมต่อการไพรม์ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง และติดตามการเปลี่ยนแปลงของความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้ง ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยแบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 11 กรรมวิธีคือ เมล็ดไม่ไพรม์ การไพรม์เมล็ดร่วมกับน้ำกลั่น การไพรม์เมล็ดร่วมกับ  $KNO_3$  อัตรา 1, 2 และ 3 % การไพรม์เมล็ดร่วมกับ  $KH_2PO_4$  อัตรา 1, 2 และ 3 % และการไพรม์เมล็ดร่วมกับ  $GA_3$  อัตรา 0.02, 0.05 และ 1 % ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้ การไพรม์เมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง  $KH_2PO_4$  2 % ทำให้เมล็ดมีการงอกเร็ว ความเร็วในการงอก ความงอก ความเร็วในการงอกและดัชนีความงอกสูงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ส่วนการไพรม์เมล็ดด้วย  $GA_3$  1 % ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงมากกว่าและแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ อีกทั้งการไพรม์เมล็ดด้วย  $GA_3$  1 % ยังทำให้เมล็ดมีการเจริญเติบโตของความยาวลำต้น และความยาวต้นกล้าดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ : คุณภาพเมล็ดพันธุ์; การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์; ธาตุอาหารพืช; ฮอร์โมนพืช

<sup>1</sup> คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

<sup>1</sup> Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai

\* Corresponding Author E - mail Address: jakkrapong\_ks@mju.ac.th

## Abstract

Water morning glory is one of the popular vegetables used in cooking among Thai people, such that there are widely established water morning glory seed business. However, industrial scale production of water morning glory is faced with problems of easily deteriorating seeds resulting in slowed and uneven germination and abnormal seedling. Therefore, the objective of this experiment was to find suitable ratio of  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  and  $\text{GA}_3$  for the priming of morning glory seeds and to observe changing in germination rate, seedling vigor and growth parameter of morning glory seedlings. Study was conducted at the seed technology laboratory, Faculty of Agricultural Production, Maejo University. Eleven different treatments were separately applied to morning glory seeds, which included no treatment, and treating by priming with distilled water, with 1, 2 or 3 % of  $\text{KNO}_3$  (% W/V), with 1, 2 or 3 % of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , and with 0.02, 0.05 or 1 % of  $\text{GA}_3$  (% W/V). It was found that water morning glory seeds primed with 2 %  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  displayed the increases in radicle emergence, speed of radicle emergence, germination percentage, speed of germination and germination index when compared to untreated seeds. Priming with 1 %  $\text{GA}_3$  resulted in higher germination rate of primed seeds compared to unprimed seeds. Moreover, priming with 1 %  $\text{GA}_3$  also resulted in increasing seedling shoot length and total seedling length that were different, statistically, when compared primed to unprimed seeds.

**Keywords:** Seed Quality; Seed Enhancement; Plant Nutrients; Plant Hormones

## บทนำ

ผักบุ้งจีนเป็นพืชผักที่อยู่ในวงศ์ผักบุ้ง (Convolvulaceae) ที่พบทั่วไปในเขตร้อน เป็นผักที่คนไทยนิยมนำมาประกอบอาหารได้หลายประเภท จึงมีการผลิตและเกิดธุรกิจเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะตลาดต่างประเทศ [1] ซึ่งประเทศที่ส่งออกสำคัญ ได้แก่ จีน ฮองกง มาเลเซีย และสิงคโปร์ เป็นต้น [2] ซึ่งจากการรายงานของ The Office of Agricultural Regulation [3] มีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนในปริมาณ 2,156,667 กิโลกรัม เป็นมูลค่ามากกว่า 176.3 ล้านบาท จากความสำคัญดังกล่าวจะพบว่า ผักบุ้งคือหนึ่งในผักที่สำคัญและมีความต้องการเพื่อบริโภคในปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม การผลิตผักบุ้งภายในประเทศไทยในระดับอุตสาหกรรมยังคงประสบปัญหาเมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพได้ง่าย ทำให้งอกช้า มีลักษณะต้นกล้าผิดปกติ และมีการงอกไม่สม่ำเสมอ [4] - [5] ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค และทำให้ฟาร์มเกษตรกรผู้ผลิตสูญเสียความน่าเชื่อถือต่อลูกค้าประจำได้

จากปัญหาดังกล่าวทำให้นักวิจัยหรือผู้ประกอบการค้นหาวิธีการที่ง่ายและมีต้นทุนน้อยเพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งให้มีคุณภาพความงอกและความแข็งแรงที่สูงขึ้น หนึ่งในวิธีการที่นิยมใช้คือ การทำไพร่มมิ่งเมล็ดพันธุ์ โดยการไพร่มเมล็ดพันธุ์ (Seed Priming) เป็นวิธีการปฏิบัติต่อเมล็ด

โดยการให้ความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์ โดยจะให้เมล็ดค่อย ๆ ดูดซับน้ำ ในสภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และควบคุมระยะเวลาในการให้ความชื้นแก่เมล็ด การไพรม์เมล็ดพันธุ์จะช่วยเพิ่มกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ และกระบวนการทางชีววิทยาต่าง ๆ ภายในเมล็ดให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีขึ้น ส่งผลให้ต้นพืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ฮอโมนพืช หรือธาตุอาหารพืชบางชนิดในขั้นตอนการแช่เมล็ดเพื่อให้ดูดซับน้ำ เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการไพรม์เมล็ดพันธุ์ให้ดียิ่งขึ้นได้ [6] - [8]

โดยการไพรม์เมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชจะมีผลช่วยส่งเสริมและกระตุ้นความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดได้ดีเพิ่มขึ้น เช่น การไพรม์เมล็ดด้วยไนโตรเจนจะมีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นและควบคุมปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ [9] ส่วนการไพรม์โดยใช้ฟอสฟอรัสจะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในการงอกของเมล็ด [10] ส่วนโพแทสเซียมมีความสำคัญต่อกระบวนการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ และเร่งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการเคลื่อนย้ายแป้งภายในเมล็ดให้ดีขึ้น [11] นอกจากนี้การใช้ฮอโมนพืชร่วมกับการไพรม์เมล็ดพันธุ์จะมีส่วนช่วยควบคุม ส่งเสริมการเจริญเติบโต และพัฒนาการของต้นกล้าได้ ยกตัวอย่างเช่น ช่วยเร่งอัตราการงอก การงอกราก การยืดยาวของราก และลำต้นพืชได้ [12]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราของ  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  ที่เหมาะสมต่อการไพรม์ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง และติดตามการเปลี่ยนแปลงของความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้ง เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งให้มีความพร้อมสูงที่สุดเพื่อใช้ในระบบการผลิตได้

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานทดลองนี้ใช้เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนสำหรับทดลอง โดยได้ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม 2563 ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

### 1. การไพรม์เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งร่วมกับ $KNO_3$ , $KH_2PO_4$ และ $GA_3$

การไพรม์เมล็ดพันธุ์ทำโดยแช่เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งในสารละลาย  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  (ดัดแปลงจาก [13]) ที่ถูกเตรียมร่วมกับน้ำกลั่น โดยมีกรรมวิธีการทดลองดังตารางที่ 1 จากนั้นนำไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เมื่อครบกำหนดเวลานำเมล็ดพันธุ์ออกมาล้างด้วยน้ำกลั่นโดยล้างผ่านน้ำไหลเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นซับน้ำที่ผิวเมล็ดและนำไปลดความชื้นเมล็ดพันธุ์หลังการไพรม์ในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำเมล็ดที่ผ่านการไพรม์มาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง

ตารางที่ 1 สูตรการไพรม์เมล็ดพันธุ์ผักบั้งร่วมกับ KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> และ GA<sub>3</sub> ในอัตราที่แตกต่างกัน

สารออกฤทธิ์	สูตรการไพรม์เมล็ดพันธุ์ผักบั้ง										
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
KNO <sub>3</sub> (% โดยน้ำหนัก)	-	-	1 %	2 %	3 %	-	-	-	-	-	-
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (% โดยน้ำหนัก)	-	-	-	-	-	1 %	2 %	3 %	-	-	-
GA <sub>3</sub> (% โดยน้ำหนัก)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02 %	0.05 %	1 %
น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	-	100	99	98	97	99	98	97	99.98	99.95	99

2. การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

2.1 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

2.1.1 การตรวจสอบความงอก ทำโดยลุ่มเมล็ดพันธุ์ทุกวิธีการจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกโดยวิธี Between Paper (BP) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกอุณหภูมิ สลับ (8 ชั่วโมง 30 °C และ 16 ชั่วโมง 25 °C) แล้วตรวจนับความงอกหลังการเพาะครั้งที่ 4 วัน (First Count) และ 10 วันหลังเพาะ (Final Count) โดยนำมาประเมินผลการตรวจสอบความงอกตาม วิธีการของ [14] ดังสมการที่ (1)

$$\text{ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ (\%)} = \frac{\text{จำนวนของเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100 \quad (1)$$

2.1.2 การตรวจสอบความเร็วในการงอก ทำโดยลุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการไพรม์ และไมไพรม์จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด นับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ ประเมินนับทุกวันตั้งแต่ เริ่มนับครั้งแรก (First Count) จนถึงวันสุดท้าย (Final Count) แล้วนำผลการนับมาคำนวณหาความเร็ว ในการงอกตามวิธีการของ [15] ดังสมการที่ (2)

$$\text{ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}} \quad (2)$$

2.1.3 การตรวจสอบการงอกของรากและความเร็วในการงอกราก ลุ่มประเมิน การงอกรากจากการเพาะทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ในวันที่ 1 และ 3 วันหลังเพาะ ในแต่ละกรรมวิธีทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด โดยจะเริ่มตรวจนับเมื่อเมล็ดมีการงอกของรากที่ความยาว 2 มิลลิเมตร จากนั้น นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกราก ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการงอกรากให้ตรวจนับทุกวัน ในวันที่ 1 ถึง 3 วันหลังเพาะ ทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด จากนั้นนำมาคำนวณหาความเร็วในการงอกราก ดังสมการที่ (3)

$$\text{ความเร็วในการงอกราก (ราก/วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนรากที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}} \quad (3)$$

2.1.4 การตรวจสอบความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้า ประเมินความยาวต้นและความยาวรากที่ 10 วันหลังเพาะ ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น โดยการประเมินความยาวต้นวัดจากโคนต้นจนถึงปลายใบ ส่วนความยาวราก วัดจากโคนรากจนถึงปลายราก ส่วนการประเมินความยาวต้นกล้าทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ประเมินตรวจวัดตั้งแต่ปลายรากจนถึงปลายใบ โดยใช้ไม้บรรทัด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

2.1.5 การตรวจสอบดัชนีความแข็งแรง ทำโดยนำเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ได้จากการประเมินหัวข้อ 2.1.1 และความยาวของต้นกล้าที่ได้จากหัวข้อ 2.1.4 แล้วนำมาประเมินหาดัชนีความแข็งแรง ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ตามวิธีการของ [16] ดังสมการที่ (4)

$$\text{ดัชนีความแข็งแรง} = \text{ความงอก (\%)} \times \text{ความยาวของต้นกล้า (ซม.)} \quad (4)$$

2.1.6 การตรวจสอบดัชนีความงอก ทำโดยนำเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ได้จากการประเมินหัวข้อ 2.1.1 มาคำนวณหาดัชนีความงอกดังสมการที่ (5)

$$\text{ดัชนีความงอก} = \frac{\text{ผลบวกของ (จำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}} \quad (5)$$

2.1.7 การตรวจสอบเวลาเฉลี่ยในการงอก ทำ 4 ซ้ำ ตามวิธีการของ [17] ดังสมการที่ (6)

$$\text{เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)} = \frac{(G_1 \times D_1 + G_2 \times D_2 + \dots + G_n \times D_n)}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมด}} \quad (6)$$

เมื่อ

$G_{1,2,\dots,n}$  คือ จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกวันที่ 1, 2, ..., n ( $n = 10$ )

$D_{1,2,\dots,n}$  คือ จำนวนวันที่ 1, 2, ..., n ( $n = 10$ ) หลังจากวันเพาะเมล็ด

## 2.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพเรือนทดลอง

2.2.1 การตรวจสอบความงอก สุ่มเมล็ดพันธุ์ทุกวิธีการจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกในภาตหลุม ซึ่งใช้พีทมอส (Peatmoss) เป็นวัสดุเพาะต้นกล้า แล้วประเมินผลการงอกที่ 4 และ 10 วันหลังเพาะ โดยมีวิธีการประเมินตามหลักสากลเช่นเดียวกันกับวิธีการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

2.2.2 การตรวจสอบความเร็วในการงอก ทำโดยสุ่มเมล็ดพันธุ์ทุกวิธีการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด นับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ ประเมินนับทุกวันตั้งแต่เริ่มนับครั้งแรก (First Count) จนถึงวันสุดท้าย (Final Count) แล้วนำผลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอก เช่นเดียวกับการประเมินในสภาพห้องปฏิบัติการ

2.2.3 การตรวจสอบการโผล่พื้นดินและความเร็วในการโผล่พื้นดิน สุ่มประเมินการงอกของ Cotyledon ของต้นกล้าผักบุ้งที่โผล่พื้นดินขึ้นมาจากหลุมเพาะต้นกล้าในวันที่ 1 และวันที่ 3 หลังเพาะในแต่ละกรรมวิธี ทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การโผล่พื้นดินของต้นกล้า

ผักบุ้ง ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการโผล่พื้นดิน ดำเนินการสุ่มตรวจนับการงอกของ Cotyledon ของต้นกล้าผักบุ้งที่โผล่พื้นดินขึ้นมาทุกวันตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 3 หลังการเพาะ จากนั้นนำมาคำนวณหาความเร็วในการโผล่พื้นดินของต้นกล้าผักบุ้ง

2.2.4 การตรวจสอบความยาวต้น ทำโดยประเมินความยาวต้นที่ 10 วันหลังเพาะ ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น โดยการประเมินความยาวต้นวัดจากโคนต้นชิดวัสดุปลูกจนถึงปลายใบ โดยใช้ไม้บรรทัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งตามลักษณะต่าง ๆ จัดสิ่งทดลองแบบ  $3 \times 3$  Factorial in Completely Randomized Design มี 2 ปัจจัยดังนี้ ปัจจัย A = ชนิดสาร และปัจจัย B คือ ระดับความเข้มข้นของสาร แปลงข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดเพื่อวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี Arcsine Transformation และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

คุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งหลังผ่านการไพร้มเมล็ดด้วย  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

หลังจากการไพร้มเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งด้วยธาตุอาหารพืชที่ชนิดและอัตราแตกต่างกัน จากนั้นนำไปตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า การไพร้มเมล็ดด้วย  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  ไม่มีผลต่อการงอกราก แต่เมื่อพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกัน เมล็ดผักบุ้งที่ผ่านการไพร้มอัตราที่ 2 % มีเปอร์เซ็นต์การงอกรากดีมากกว่าเมล็ดที่ผ่านการไพร้มอัตราที่ 0.05 % แต่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดที่ไพร้มในอัตราที่ 0.02, 1, 2 และ 3 % และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างธาตุอาหารพืชและอัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แสดงว่าการไพร้มเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชชนิดและอัตราที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับ  $KH_2PO_4$  2% เมล็ดมีการงอกรากดีมากว่าการไพร้มเมล็ดด้วย  $KH_2PO_4$  อัตรา 1 % และ  $GA_3$  อัตรา 0.05 % แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการงอกรากพบว่า ธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อความเร็วในการงอกราก แต่เมื่อพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกัน เมล็ดผักบุ้งที่ผ่านการไพร้มอัตราที่ 0.02 % มีความเร็วในการงอกรากสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างธาตุอาหารพืชชนิดและอัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แสดงว่าการไพร้มเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชชนิดและอัตราที่แตกต่างกันพบว่า การไพร้มเมล็ดด้วย  $KH_2PO_4$  อัตรา 2 % มีความเร็วในการงอกรากดีมากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติกับเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $GA_3$  อัตรา 1 % จากนั้นพิจารณาตรวจสอบความงอก และความเร็วในการงอกพบว่า ชนิดของธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อการงอก แม้ว่าจะมีการไพร้มเมล็ดด้วยธาตุอาหารพืชในอัตราที่ต่างกัน เปอร์เซ็นต์การงอกที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แสดงว่าการไพร้มเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลต่อการงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง (ตารางที่ 2)

ส่วนการตรวจสอบดัชนีความแข็งแรงพบว่า การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KNO}_3$  และ  $\text{GA}_3$  ทำให้เมล็ดมีดัชนีความแข็งแรงสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพร้ม แต่การไพร้มเมล็ดด้วยธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกัน เปอร์เซ็นต์การงอกที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แสดงว่าการไพร้มเมล็ดพันธุ์ไม่ส่งผลต่อดัชนีความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ จากนั้นตรวจสอบดัชนีความงอกพบว่า ชนิดของธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อดัชนีความงอก แต่การไพร้มเมล็ดด้วยธาตุอาหารพืชในอัตราที่ต่างกันพบว่า การไพร้มเมล็ดที่อัตรา 2 % มีดัชนีความงอกดีมากกว่า การไพร้มเมล็ดที่อัตรา 0.05 % และอัตรา 3 % แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  อัตรา 2 % มีดัชนีความงอกดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันกับการไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{GA}_3$  อัตรา 1 % และจากการพิจารณาเวลาเฉลี่ยในการงอกพบว่า ชนิดของธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อเวลาเฉลี่ยในการงอก แต่การไพร้มเมล็ดด้วยธาตุอาหารพืชในอัตราที่ต่างกันพบว่า การไพร้มเมล็ดที่อัตรา 0.05 % มีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการไพร้มเมล็ดที่อัตรา 2 % แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{GA}_3$  อัตรา 0.05 % มีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่า เมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  อัตรา 2 % แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับวิธีการอื่น ๆ (ตารางที่ 3) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2 % และ  $\text{GA}_3$  1 % มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมการงอกของรากได้ดี โดยเฉพาะการไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2 % สามารถสนับสนุนให้เมล็ดผักบุ้งมีความเร็วในการงอกรากสูงมากกว่าวิธีการอื่น ๆ

ทั้งนี้สารละลาย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  สำหรับใช้ไพร้มเมล็ดมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ และเร่งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการแตกตัวเคลื่อนย้ายของแป้งภายในเมล็ด [11] จึงมีผลส่งเสริมทำให้เมล็ดงอกได้เร็วกว่าวิธีการอื่น ๆ นอกจากนี้การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2 % ยังทำให้เมล็ดมีการงอกรากและความเร็วในการงอกรากดีมากกว่าวิธีการอื่น ๆ อีกทั้ง  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  จะช่วยทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำออกซิเจนได้ดีเพิ่มขึ้น เนื่องจากออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด โดยมีผลช่วยในกระบวนการหายใจและการย่อยสลายอาหารภายในเมล็ด [18] นอกจากนี้  $\text{K}^+$  ยังทำหน้าที่หลักในการรักษาค่า Osmotic Potential และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด ที่ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ [19] - [20] โดยเมื่อพิจารณาจากดัชนีความงอกยังคงแสดงให้เห็นว่า การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ช่วยให้เมล็ดมีความแข็งแรงสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งการไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  จะแตกตัวให้ฟอสเฟตไอออนที่เป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัส สำหรับให้เมล็ดนำไปใช้ในกระบวนการงอก ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหายใจ และกระบวนการสลายสารอาหารในเมล็ด [21] จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีผลส่งเสริมเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งให้มีการงอกราก ความเร็วในการงอกราก ความงอก ความเร็วในการงอก และดัชนีความงอกดีมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพร้ม อีกทั้งการไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{GA}_3$  1 % ยังแสดงให้เห็นว่าช่วยส่งเสริมความแข็งแรงของเมล็ด และช่วยให้เมล็ดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกได้ดีเพิ่มขึ้น โดย  $\text{GA}_3$  มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มคุณภาพความงอกของเมล็ดพันธุ์ และการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีบทบาทในการขยายตัวของเซลล์

เอมบริโอ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเพื่อกระตุ้นการงอกของเมล็ด [22] - [24] ยกตัวอย่างการทดลองของ [25] พบว่าหลังจากการแช่เมล็ด *Rheum khorasanicum* ร่วมกับ  $GA_3$  อัตรา 500 ppm ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด (81 %) และพบว่าการใช้  $GA_3$  สามารถส่งเสริมความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดข้าวสาลีได้ดีขึ้นจากเดิม [26]

ตารางที่ 2 การงอกราก ความเร็วในการงอกราก ความงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักนึ่ง หลังจากการไพร้มเมล็ดด้วย  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$  และ  $GA_3$  ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี ทดลอง	สภาพห้องปฏิบัติการ				
	ความเข้มข้น	การงอกราก (%)	ความเร็ว ในการงอกราก (ราก/วัน)	ความงอก (%)	ความเร็ว ในการงอก (ต้น/วัน)
เมล็ดไม่ไพร้ม		71	45.91	71	17.43
น้ำกลั่น		75	48.58	74	16.36
$KNO_3$		69	46.97	69	16.46
$KH_2PO_4$		69	49.61	70	17.13
$GA_3$		68	47.61	65	16.28
F-test		ns	ns	ns	ns
	0.02%	68 ab <sup>1</sup>	28.54 a	87	8.59
	0.05%	63 b	23.00 b	86	8.29
	1%	70 ab	22.72 b	89	8.32
	2%	71 a	24.72 b	90	8.48
	3%	68 ab	22.79 b	91	7.99
F-test		**	**	ns	ns
เมล็ดไม่ไพร้ม	-	71 a-c	45.91 bc	93	17.43
น้ำกลั่น	-	74 ab	48.66 bc	86	16.36
$KNO_3$	1%	73 a-c	49.58 bc	89	16.71
$KNO_3$	2%	68 a-c	45.66 bc	90	17.17
$KNO_3$	3%	67 a-c	45.66 bc	87	15.49
$KH_2PO_4$	1%	64 bc	45.50 bc	90	16.49
$KH_2PO_4$	2%	75 a	57.08 a	90	17.18
$KH_2PO_4$	3%	68 a-c	43.16 c	96	17.74
$GA_3$	0.02%	68 a-c	46.00 bc	87	16.59
$GA_3$	0.05%	63 c	43.58 c	86	15.49
$GA_3$	1%	74 a-c	53.25 ab	88	16.75
F-test		*	**	ns	ns
CV.(%)		8.18	10.11	5.01	5.83

ns, \*, \*\*: ไม่มีความแตกต่างกัน, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่  $P < 0.05$  และ  $P < 0.01$  ตามลำดับ

<sup>1</sup> อักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่  $P < 0.05$

ตารางที่ 3 ดัชนีความแข็งแรง ดัชนีความงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง หลังจากการไพร้มเมล็ดด้วย KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> และ GA<sub>3</sub> ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

สารออกฤทธิ์	สภาพห้องปฏิบัติการ			
	ความเข้มข้น	ดัชนีความแข็งแรง	ดัชนีความงอก	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)
เมล็ดไม่ไพร้ม		1843.07 c <sup>1</sup>	31.67	0.77
น้ำกลั่น		1986.01 bc	32.51	0.77
KNO <sub>3</sub>		2214.18 a	31.71	0.74
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		2150.57 ab	32.86	0.79
GA <sub>3</sub>		2253.36 a	31.94	0.74
F-test		***	ns	ns
	0.02%	2134.09	31.29 ab	0.76 ab
	0.05%	2235.91	29.53 b	0.65 b
	1%	2182.41	33.04 ab	0.76 ab
	2%	2217.01	34.27 a	0.83 a
	3%	2251.55	30.51 b	0.72 ab
F-test		ns	*	*
เมล็ดไม่ไพร้ม	-	7.06	31.67 bc	0.77 bc
น้ำกลั่น	-	6.79	32.51 bc	0.77 bc
KNO <sub>3</sub>	1%	7.34	33.15 bc	0.76 bc
KNO <sub>3</sub>	2%	6.49	31.42 bc	0.74 bc
KNO <sub>3</sub>	3%	6.46	30.57 c	0.72 bc
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1%	7.12	30.99 bc	0.72 bc
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2%	6.94	37.13 a	0.92 a
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3%	7.09	30.45 c	0.73 bc
GA <sub>3</sub>	0.02%	6.47	31.29 bc	0.76 bc
GA <sub>3</sub>	0.05%	6.65	29.53 c	0.65 c
GA <sub>3</sub>	1%	7.29	35.00 ab	0.82 ab
F-test		ns	*	*
CV.(%)		7.92	8.08	11.67

ns, \*, \*\*\* : ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ P<0.05 และ P>0.01 ตามลำดับ

คุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งหลังผ่านการไพร้มเมล็ดด้วย KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> และ GA<sub>3</sub> ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

เมื่อพิจารณาการไหล่พันดินของต้นกล้าหลังผ่านการทดสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่า เมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้ม และการไพร้มเมล็ดด้วย KNO<sub>3</sub> มีผลต่อการไหล่พันดิน จากนั้นพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกัน การไพร้มเมล็ดที่อัตรา 1 % ทำให้เมล็ดสามารถไหล่พันดินได้ดีมากที่สุด และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน

โดยเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{KNO}_3$  อัตรา 1 % ทำให้เมล็ดสามารถโผล่พ้นดินได้ดีมากกว่า และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดไม่ไพร้ม การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KNO}_3$  อัตรา 2 %,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  อัตรา 1 % และ  $\text{GA}_3$  อัตรา 1 % ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการโผล่พ้นดิน พบว่า การไพร้มเมล็ดทุกกรรมวิธีมีความเร็วในการโผล่พ้นดินดีมากที่สุด ยกเว้นเมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับ  $\text{GA}_3$  จากนั้นพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับธาตุอาหารพืช ในอัตราที่แตกต่างกัน การไพร้มเมล็ดที่อัตรา 2 % ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการโผล่พ้นดินได้ดีมากกว่า และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างกับเมล็ดที่ผ่านการไพร้มที่อัตรา 2 % และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{KNO}_3$  อัตรา 1 % และ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  อัตรา 2 % ทำให้เมล็ดโผล่พ้นดินได้เร็วมากกว่า และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดไม่ไพร้ม การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KNO}_3$  อัตรา 2 % และ  $\text{KNO}_3$  อัตรา 3 %

ส่วนการตรวจสอบความงอกพบว่า ชนิดของธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ ผักบุ้ง อีกทั้งการไพร้มเมล็ดในอัตราที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความงอกของเมล็ด และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกัน พบว่าทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน แสดงให้เห็นว่าชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ ผักบุ้ง ส่วนการพิจารณาความเร็วในการงอกพบว่า เมล็ดที่ไพร้มร่วมกับ  $\text{KNO}_3$  มีความเร็วในการงอกที่ดีมากกว่า และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับการไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  แต่เมื่อพิจารณาการไพร้มเมล็ดในอัตราที่แตกต่างกันพบว่า ไม่มีผลต่อความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{KNO}_3$  อัตรา 1 % มีความเร็วในการงอกที่ดีมากกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้ม เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการไพร้มร่วมกับ  $\text{GA}_3$  อัตรา 1 %,  $\text{GA}_3$  อัตรา 2 % และ  $\text{GA}_3$  อัตรา 3 % อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ (ตารางที่ 4)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KNO}_3$  อัตรา 1 % ทำให้เมล็ดสามารถงอกโผล่พ้นดินได้ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นในส่วนของความเร็วในการโผล่พ้นดินด้วย โดย  $\text{KNO}_3$  มี K เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเมล็ดดูดซึม K ในรูปของ  $\text{K}^+$  จะมีบทบาทช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ได้เพิ่มขึ้น อีกทั้งช่วยส่งเสริมให้ในเครทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจในวิถีเพนโทสฟอสเฟต (Pentose Phosphate Pathway) หรือวิถีทางเลือกของไกลโคไลซิส (Glycolysis) จะทำหน้าที่แทนออกซิเจนในการออกซิไดซ์ NADPH ในกระบวนการหายใจ ซึ่งสามารถทำลายการพักตัวของเมล็ดได้ จึงทำให้เมล็ดสามารถงอกได้ดีและงอกได้เร็วมากขึ้น [27] ดังนั้นเมล็ดผักบุ้งที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{KNO}_3$  จึงทำให้เมล็ดสามารถโผล่พ้นดินได้ดีและเร็วมากขึ้นจากเดิม แต่ในทางตรงกันข้าม การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2 % และ 3 % แสดงให้เห็นว่า มีผลกระทบต่ออัตราการโผล่พ้นดินของเมล็ดพันธุ์ ผักบุ้งเมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง โดย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  มีองค์ประกอบของ K และ P ที่เป็นเกลือฟอสเฟต เมื่อใช้ในอัตราที่สูงเกินความต้องการจะมีผลกระทบต่อเซลล์ภายในเมล็ด โดยก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเมล็ด ยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน จึงมีผลกระทบต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ [28]

ตารางที่ 4 การโผล่พื้นดิน ความเร็วในการโผล่พื้นดิน ความงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง หลังจากการไพร้มเมล็ดด้วย KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> และ GA<sub>3</sub> ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

สารออกฤทธิ์	สภาพห้องปฏิบัติการ				
	ความเข้มข้น	การโผล่พื้นดิน (%)	ความเร็วในการโผล่พื้นดิน (ต้น/วัน)	ความงอก (%)	ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)
เมล็ดไม่ไพร้ม		52 a <sup>1</sup>	12.58 a	82	9.53 dc
น้ำกลั่น		49 ab	11.08 a	84	9.68 b
KNO <sub>3</sub>		54 a	12.43 a	84	10.34 a
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		43 b	11.72 a	86	9.90 ab
GA <sub>3</sub>		48 ab	9.22 b	82	9.06 c
F-test		**	***	ns	***
	0.02%	43.50 b	8.79 c	80	8.86
	0.05%	45.50 b	10.04 bc	83	9.22
	1%	56.16 a	10.98 b	86	9.95
	2%	46.50 b	12.81 a	85	10.01
	3%	43.00 b	11.35 ab	85	9.95
F-test		***	**	ns	ns
เมล็ดไม่ไพร้ม	-	52 a-d	12.58 ab	82	9.53 bc
น้ำกลั่น	-	49 b-d	11.08 b-d	84	9.68 a-c
KNO <sub>3</sub>	1%	60 a	13.75 a	87	10.48 a
KNO <sub>3</sub>	2%	55 a-c	11.87 a-c	85	10.35 ab
KNO <sub>3</sub>	3%	46 c-e	11.66 a-c	87	10.18 ab
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1%	52 a-d	10.37 b-d	90	10.30 ab
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2%	37 e	13.75 a	85	9.66 a-c
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3%	39 e	11.04 b-d	84	9.73 a-c
GA <sub>3</sub>	0.02%	43 de	8.79 d	80	8.86 c
GA <sub>3</sub>	0.05%	45 de	10.04 cd	83	9.22 c
GA <sub>3</sub>	1%	56 ab	8.83 d	83	9.09 c
F-test		*	**	ns	*
CV.(%)		12.14	12.85	6.83	5.47

ns, \*, \*\*\* : ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ P<0.05 และ P≥0.01 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งหลังผ่านการไพร้มเมล็ดด้วย KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> และ GA<sub>3</sub> ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง

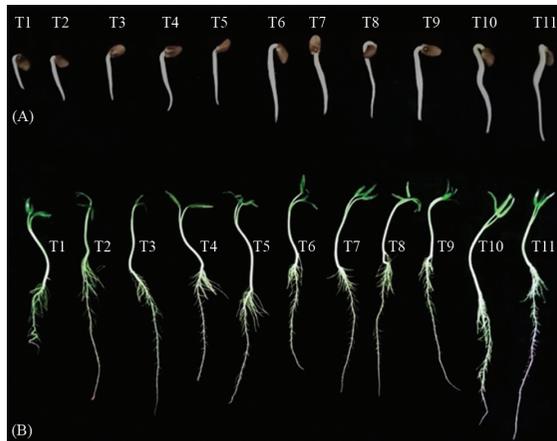
เมื่อพิจารณาตรวจสอบความยาวต้นหลังตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า การไพร้มเมล็ดด้วย GA<sub>3</sub> มีผลต่อความยาวต้นมากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกับการไพร้มเมล็ดร่วมกับ KNO<sub>3</sub> จากนั้นพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพร้มร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกัน การไพร้มเมล็ดที่อัตรา 0.02, 0.05 และ 1 % มีความยาวต้นกล้าที่ตีมากกว่าเมล็ดที่ผ่านการไพร้มที่อัตรา 2 % แต่ไม่พบ

ความแตกต่างกับเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ที่อัตรา 3 % และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ด้วย  $GA_3$  อัตรา 1 % ทำให้เมล็ดมีความยาวต้นสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับการไพรม์เมล็ดด้วย  $KNO_3$  อัตรา 1 % ส่วนความยาวรากพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย  $GA_3$  มีผลต่อความยาวรากมากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันเมล็ดไพรม์ร่วมกับ  $KNO_3$  จากนั้นพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกันพบว่า ไม่มีผลต่อความยาวราก และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ด้วย  $KNO_3$  อัตรา 3 % มีความยาวรากดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ เมล็ดที่ผ่านการไพรม์ด้วย  $KNO_3$  อัตรา 1 % และ  $KH_2PO_4$  อัตรา 1 % และเมื่อพิจารณาความยาวต้นกล้าทั้งต้นแสดงให้เห็นว่าการไพรม์เมล็ดด้วย  $GA_3$  มีผลต่อความยาวต้นกล้าทั้งต้นมากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกับเมล็ดที่ไพรม์ร่วมกับ  $KNO_3$  จากนั้นพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกันพบว่า ไม่มีผลต่อความยาวต้นกล้าทั้งต้น และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน โดยเมล็ดที่ไพรม์ด้วย  $GA_3$  อัตรา 1 % ทำให้ต้นกล้ามีความยาวต้นกล้าสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ ซึ่งสอดคล้องกับ รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าที่ผ่านการไพรม์เมล็ดด้วย  $GA_3$  อัตรา 1 % มีส่วนช่วยส่งเสริมให้ต้นกล้ามีพัฒนาการของความยาวต้นกล้าดีมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ในส่วนการตรวจสอบความยาวต้นในสภาพเรือนทดลองพบว่า ชนิดของธาตุอาหารพืชไม่มีผลต่อความยาวต้นในสภาพเรือนทดลอง จากนั้นพิจารณาเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกันพบว่า อัตราธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความยาวต้น และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันพบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน จึงแสดงให้เห็นว่าการไพรม์เมล็ดร่วมกับชนิดของธาตุอาหารพืชต่ออัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความยาวต้น เมื่อทดสอบในสภาพเรือนทดลอง (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้าเมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ และความยาวต้นเมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองของเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง หลังจากการไพร้มเมล็ดด้วย KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> และ GA<sub>3</sub> ในอัตราที่แตกต่างกัน

สารออกฤทธิ์	สภาพห้องปฏิบัติการ			สภาพเรือนทดลอง	
	ความเข้มข้น	ความยาวต้น (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	ความยาว ต้นกล้า (เซนติเมตร)	ความยาวต้น (เซนติเมตร)
เมล็ดไม่ไพร้ม		9.70 d <sup>1</sup>	9.70 d	19.84 d	7.06
น้ำกลั่น		10.20 d	10.20 cd	22.98 c	6.79
KNO <sub>3</sub>		11.00 ab	11.00 ab	24.85 ab	6.76
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		10.77 bc	10.77 bc	23.43 bc	7.05
GA <sub>3</sub>		11.66 a	11.66 a	25.76 a	6.80
F-test		***	**	***	ns
	0.02%	11.26 a	13.12	24.38	6.47
	0.05%	11.26 a	14.52	25.78	6.65
	1%	11.68 a	12.84	24.52	7.25
	2%	10.45 b	14.12	24.57	6.72
	3%	10.91 ab	13.70	24.62	6.77
F-test		**	ns	ns	ns
เมล็ดไม่ไพร้ม	-	9.70 d	10.14 d	19.84 e	7.06
น้ำกลั่น	-	10.20 cd	12.78 a-c	22.98 d	6.79
KNO <sub>3</sub>	1%	11.73 ab	12.03 b-d	23.76 b-d	7.34
KNO <sub>3</sub>	2%	10.30 cd	14.52 ab	24.82 a-d	6.46
KNO <sub>3</sub>	3%	10.96 bc	15.01 a	25.98 ab	6.49
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1%	10.85 bc	11.84 cd	22.69 d	7.12
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2%	10.59 cd	13.73 a-c	24.32 b-d	6.94
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3%	10.87 bc	12.39 a-d	23.27 cd	7.09
GA <sub>3</sub>	0.02%	11.26 bc	14.51 ab	25.38 b-d	6.47
GA <sub>3</sub>	0.05%	11.26 bc	13.12 a-c	25.78 a-c	6.65
GA <sub>3</sub>	1%	12.47 a	14.65 ab	27.12 a	7.29
F-test		**	**	**	ns
CV.(%)		5.84	12.21	6.47	9.26

ns, \*, \*\*\* : ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ P<0.05 และ P≥0.01 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ผลของการไพร้มเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งร่วมกับ  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  และ  $\text{GA}_3$  ในอัตราที่แตกต่างกัน โดย (A) แสดงการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งที่อายุ 4 วันหลังเพาะ และ (B) ที่อายุต้นกล้า 10 วันหลังเพาะ โดยมีกรรมวิธีการทดลองคือ T1 = เมล็ดไม่ไพร้ม, T2 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ น้ำกลั่น, T3 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{KNO}_3$  1 %, T4 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{KNO}_3$  2 %, T5 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{KNO}_3$  3 %, T6 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1 %, T7 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2 %, T8 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  3 %, T9 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{GA}_3$  0.02 %, T10 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{GA}_3$  0.05 %, T11 = การไพร้มเมล็ดร่วมกับ  $\text{GA}_3$  1 %

เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{GA}_3$  1 % ทำให้เมล็ดมีการเจริญเติบโตของลำต้นและความยาวต้นกล้าเมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยบทบาทหน้าที่ของ  $\text{GA}_3$  พบว่า สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเพื่อควบคุมการแบ่งเซลล์ และกระตุ้นการเจริญเติบโตของลำต้น และขนาดของใบในระยะกล้า [29] - [31] นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการเจริญเติบโตทางด้าน การขยายขนาดและการยึดตัวของเซลล์ทั้งลำต้นและรากให้สมบูรณ์และแข็งแรงได้ โดย  $\text{GA}_3$  จะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ในกระบวนการย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลสำหรับเอมบริโอใช้ในการเจริญเติบโตของการแทงราก และยอคในการงอกของเมล็ดพันธุ์ได้เร็ว [32] - [33] ดังนั้นเมล็ดที่ผ่านการไพร้มด้วย  $\text{GA}_3$  จึงสามารถงอกได้เร็วและเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์ได้ไวมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพร้ม อย่างไรก็ตาม การไพร้มเมล็ดด้วย  $\text{KNO}_3$  3 % มีผลช่วยกระตุ้นการยึดขยายของรากต้นได้ดีมากกว่าวิธีการอื่น ๆ โดย  $\text{KNO}_3$  จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในโปรโตพลาสซึมและผนังของเซลล์พืชโดยจะอยู่ในรูป  $\text{NO}_3^-$  ซึ่งพืชจะต้องรีดิวซ์  $\text{NO}_3^-$  ให้เป็น  $\text{NH}_4^+$  แล้วนำ  $\text{NH}_4^+$  ไปใช้สร้างกรดอะมิโน ซึ่ง N เป็นองค์ประกอบของสารชีวโมเลกุลมากมายในเซลล์พืช [19] - [20] เมื่อเมล็ดคูดในเตรทเข้าไปจะช่วยให้เมล็ดสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ต้นกล้าผักบุ้งมีการเจริญเติบโตของรากได้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพร้ม นอกจากนี้ยังพบการรายงานของ Siri, B., Klarod, K., and Harnsuri, J. [13] พบว่า เมื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วย  $\text{GA}_3$  ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2 %

โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเคลือบเมล็ดด้วย  $\text{GA}_3$  ความเข้มข้น 2 % ทำให้ความงอกเพิ่มขึ้นจากเดิม 19, 38 และ 64 % ตามลำดับ

## สรุปผล

การไพรม์เมล็ดพันธุ์ผักกาด  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  2 % เป็นชนิดและอัตราที่เหมาะสมต่อการไพรม์เมล็ด โดยทำให้เมล็ดมีการงอกราก ความเร็วในการงอกราก ความงอก ความเร็วในการงอก ดัชนีความงอกสูงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ส่วนการไพรม์เมล็ดด้วย  $\text{GA}_3$  1 % ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ อีกทั้งการไพรม์เมล็ดด้วย  $\text{GA}_3$  1 % ยังทำให้เมล็ดมีการเจริญเติบโตของความยาวลำต้น และความยาวต้นกล้าดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

## References

- [1] Sarepoua, E., Khaengkhan, P., and Aekaraj, C. (2018). Effects of Varieties and Seedling Medias on Growth and Yields in Water Convolvulus Sprouts Production. **Khon Kaen Agriculture Journal**. Vol. 46, pp. 543-548
- [2] Phokawattana, C. and Chavapradit, P. (1996). **Water Morning Glory**. Bangkok: Department of Agricultural Extension
- [3] The Office of Agricultural Regulation. (2019). **Quantity and Value of Export of Controlled Seeds**. Access (10 December 2020). Available (<https://bit.ly/39VenkH>)
- [4] Charoensuk, S. (1996). **Handbook of Vegetable Garden**. Bangkok: Petchkarat Printing
- [5] Maneerat, C., Rithichai, P., and Jirakiattikul, Y. (2013). Effects of Salicylic Acid and Folic Acid Priming on Germination, Vigor and Seedling Growth of Kangkong. **Thai Journal of Science and Technology**. Vol. 21, Supplement 6, pp. 511-519
- [6] Taylor, A. G., Allen, P. S., Bennett, M. A., Bradford, K. J., Burris, J. S., and Misra, M. K. (1998). Seed Enhancements. **Seed Science Research**. Vol. 8, Issue 2, pp. 245-256
- [7] McDonald, M. B. (2000). **Seed Priming**, pp. 287-325, In Black, M. and Bewley, J. D. (Eds.), **Seed Technology and Its Biological Basis**, Sheffield Academic Press, England
- [8] Siri, B. (2015). **Seed Conditioning and Seed Enhancements**. Khon Kaen: Klungnanawitthaya Printing
- [9] Osuna, D., Prieto, P., and Aguilar, M. (2015). Control of Seed Germination and Plant Development by Carbon and Nitrogen Availability. **Frontiers in Plant Science**. Vol. 6, p. 1023. DOI: 10.3389/fpls.2015.01023

- [10] Yang, W. (2018). Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizer on Growth and Seed Germination of *Capsella Bursa-Pastoris* (L.) Medikus. **Journal of Plant Nutrition**. Vol. 41, Issue 5, pp. 636-644. DOI: 10.1080/01904167.2017.1415350
- [11] Sivanesan, I., Son, M. S., Lim, C. S., and Jeong, B. R. (2011). Effect of Soaking of Seeds in Potassium Silicate and Uniconazole on Germination and Seedling Growth of Tomato Cultivars, Seogeon and Seokwang. **African Journal of Biotechnology**. Vol. 10, No. 35, pp. 6743-6749
- [12] Qing, Y. W. (2006). **Effects of GA<sub>3</sub>, 6-BA and 2, 4-D Applied in Cucumber Seed Film Coating (Abstract)**. Access (May 1, 2017). Available (<https://goo.gl/UdnoN6>)
- [13] Siri, B., Klarod, K., and Harnsuri, J. (2016). Effects of Seed Coating with Plant Hormones on Hybrid Tomato Seeds. **Khon Kaen Agriculture Journal**. Vol. 44, Supplement 1, pp. 345-349
- [14] ISTA (International Seed Testing Association). (2019). **International Rules for Seed Testing, Edition 2019**. Bassersdorf: International Seed Testing Association
- [15] Czabator, F. J. (1962). Germination Value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination. **Forest Science**. Vol. 8, pp. 386-395. DOI: 10.1093/FORRESTSCIENCE/8.4.386
- [16] Abdul-Baki, A. A. and Anderson, J. D. (1973). Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. **Crop Science**. Vol. 13, Issue 6, pp. 630-633. DOI: 10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x
- [17] Ellis, R. A. and Roberts, E. H. (1981). The Quantification of Ageing and Survival in Orthodox Seeds. **Seed Science and Technology**. Vol. 9, Issue 2, pp. 373-409
- [18] Hilton, T. R. and Thomas, J. A. (1986). Regulation of Pregerminative Rates of Respiration in Seeds of Various Seed Species by Potassium Nitrate. **Journal of Experimental Botany**. Vol. 37, No. 183, pp. 1516-1524
- [19] Theerakulpisut, P. (1997). **Plant Physiology**. Khon Kaen: Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University
- [20] Bunnag, S. (1999). **Plant Physiology**. Khon Kaen: Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University
- [21] Marschner, H. (1995). **Miniral Nutrition of Higher Plant**. 2<sup>nd</sup> Edition. Stuttgart: Institute of Plant Nutrition, University of Ohenheim, Germany
- [22] Iglesias, R. G. and Babiano, M. J. (1997). Endogenous Abscisic Acid During the Germination of Chick-Pea Seed. **Physiologia Plantarum**. Vol. 100, Issue 3, pp. 500-504. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb03054.x
- [23] Liu, P. P., Koizuka, N., Homrichhausen, T. M., Hewitt, J. R., Martin, R. C., and Nonogaki, H. (2005). Large-Scale Screening of Arabidopsis Enhancer-Trap Lines for Seed Germination-Associated Genes. **The Plant Journal**. Vol. 41, Issue 6, pp. 936-944. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02347.x
- [24] Hentrich, M., Boettcher, C., and Duchting, P. (2013). The Jasmonic Acid Signaling Pathway is Linked to Auxin Homeostasis Through the Modulation of YUCCA8 and YUCCA9 Gene Expression. **The Plant Journal**. Vol. 74, Issue 4, pp. 626-637. DOI: 10.1111/tpj.12152

- [25] Reza, D., Hassandokht, M. R., and Nazeri, V. (2015). Effects of Moist Stratification, GA<sub>3</sub> and Seed Age on Seed Germination of *Rheum Khorasanicum* B. Baradaran & A. Jafari. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**. Vol. 2, Issue 4, pp. 168-173. DOI: 10.1016/j.jarmap.2015.07.001
- [26] Turkyilmaz, B. (2012). Effects of Salicylic and Gibberellic Acids on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Salinity Stress. **Bangladesh Journal of Botany**. Vol. 41, No. 1, pp. 29-34. DOI: 10.3329/bjb.v41i1.11079
- [27] Chanprasert, W. (2010). **Seed Physiology**. Bangkok: Faculty of Agriculture Kasetsart University
- [28] Taiz, L. and Zeiger, E. (2010). **Plant Physiology**. 5<sup>th</sup> Edition. Massachusetts: Sinauer Associates
- [29] Davies, P. J. (2010). **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action**. New York: Springer Dordrecht Heidelberg
- [30] Kumlay, A. M. and Eryigit, T. (2011). Growth and Development Regulators in Plants: Plant Hormones. **Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology**. Vol. 1, No. 2, pp. 47-56
- [31] Martinez, J. L., Petranovic, D., and Nielsen, J. (2016). Heme Metabolism in Stress Regulation and Protein Production: From Cinderella to a Key Player. **Bioengineered**. Vol. 7, No. 2, pp. 112-115. DOI: 10.1080/21655979.2015.1126016
- [32] Appleford, N. E. J. and Lenton, J. R. (1997). Hormonal Regulation of  $\alpha$ -amylase Gene Expression in Germinating Wheat (*Triticum aestivum*) Grains. *Physiologia Plantarum*. Vol. 100, Issue 3, pp. 534-542. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb03058.x
- [33] Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin Metabolism and Its Regulation. **Annual Review of Plant Biology**. Vol. 59, pp. 225-251. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804

สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระการต้านเบาหวานและการเป็นสารพรีไบโอติก  
ของข้าวและข้าวโพดไทย

## Antioxidant, Antidiabetic and Prebiotic Properties of Thai Brown Rices and Corns

สุรีย์ นานาสมบัติ<sup>1\*</sup> ปาริฉัตร พุดจอน<sup>1</sup> พรนภา เนตรจุฬารัตน์<sup>1</sup> และพัชรี อ่อนน้อม<sup>1</sup>  
Suree Nanasombat<sup>1\*</sup> Pharichat Putjon<sup>1</sup> Pondnapa Netchularrat<sup>1</sup> and  
Patcharee Onnorm<sup>1</sup>

Received: May 1, 2021; Revised: July 16, 2021; Accepted: July 21, 2021

### บทคัดย่อ

ในการศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมีของสารสกัดจากข้าวและข้าวโพดที่ผ่านการทำให้งอกและไม่ผ่านการทำให้งอกทั้งหมด 6 ชนิด สารสกัดข้าวกล้องลิ้มฟัวและข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่งอกมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดชนิดอื่น (ความสามารถในการรีดิวซ์ 0.66 - 1.17 มิลลิโมลเฟอรรัสต่อกรัมสารสกัดโดยวิธี FRAP) สารสกัดข้าวกล้องลิ้มฟัว ข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่งอกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 833.33 - 1,704.17 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัดซึ่งสูงกว่าสารสกัดชนิดอื่น สารสกัดข้าวกล้องลิ้มฟัวและข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มีกิจกรรมการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลสสูงกว่าสารสกัดชนิดอื่น สารสกัดข้าวกล้องแดงที่งอกมีกิจกรรมการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสสูงสุด สารสกัดข้าวกล้องลินเทิลิกที่ไม่งอกและข้าวกล้องลิ้มฟัวที่งอกมีสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยปริมาณสูงมาก (518.16 - 538.06 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัด) จากนั้นได้คัดเลือกข้าวกล้องลิ้มฟัวและข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มาผลิตเครื่องดื่มที่เติม *Lactobacillus acidophilus* การอยู่รอดของแบคทีเรียโพรไบโอติกชนิดนี้ในเครื่องดื่มข้าวกล้องลิ้มฟัวที่งอกและเครื่องดื่มข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่งอกพบว่าสูงกว่าในเครื่องดื่มชนิดอื่นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เครื่องดื่มข้าวชนิดที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดคือ เครื่องดื่มข้าวกล้องลิ้มฟัวทั้งชนิดที่งอกและไม่งอก สำหรับกิจกรรมต้านเบาหวาน เครื่องดื่มข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่งอกมีกิจกรรมการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลสและแอลฟา-กลูโคซิเดสสูงสุด

คำสำคัญ : สารประกอบฟีนอลิก; สารพรีไบโอติก; สารต้านอนุมูลอิสระ; สารต้านเบาหวาน; พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อย

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>1</sup> Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology

\* Corresponding Author E - mail Address: suree.na@kmitl.ac.th

## Abstract

Phytochemical properties of 6 germinated and non-germinated rice and corn extracts were studied. The extracts of non-germinated Leum-Pua rice and riceberry had stronger antioxidant activities with high reducing capacities of 0.66 - 1.17 mmol Fe(II)/g extract by FRAP assay. The extracts with higher total phenolic contents were non-germinated Leum-Pua rice, waxy corn and riceberry (833.33 - 1,704.17 mg GAE/g extract). Leum-Pua rice and riceberry extracts had higher  $\alpha$ -amylase inhibitory activity. The extract of germinated red rice showed highest  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity. The extracts with high amount of indigestible polysaccharide were non-germinated Sinlek rice and germinated Leum-Pua rice (518.16 - 538.06 mg/g extract). Then, Leum-Pua rice and riceberry were selected to use as raw material for production of probiotic drinks with *Lactobacillus acidophilus*. The survival of this probiotic bacterium in germinated Leum-Pua rice and non-germinated riceberry drinks was higher than those in other drinks during storage at 4 °C for 14 days. The rice drinks with strongest antioxidant activity and highest phenolic content were both germinated and non-germinated Leum-Pua rice drinks. For antidiabetic activity, germinated riceberry drink had highest  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities (10.31 % and 36.14 % inhibition, respectively).

**Keywords:** Phenolic Compounds; Prebiotics; Antioxidant; Antidiabetic; Indigestible Polysaccharide

## บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักสำหรับประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลก ข้าวเป็นส่วนที่ได้จากเมล็ดของต้นข้าว (*Oryza sativa* L.) ซึ่งข้าวหลายชนิดมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เช่น ในข้าวแดง ข้าวดำ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วย สารประกอบฟีนอลิก เช่น แอนโทไซยานินและสารอื่น ๆ ซึ่งมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ [1] - [3] โดยสารเหล่านี้เป็นสารพฤกษเคมีที่พบตามธรรมชาติในพืช โดยทั่วไปเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ หรือสารที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคอ้วน ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และช่วยลดปฏิกิริยาการอักเสบ [4]

สารอนุมูลอิสระ (Reactive Oxygen Species หรือ ROS) ซึ่งได้แก่ Superoxide Anion, Hydrogen Peroxide, Peroxyl Radical, Peroxynitrite และ Singlet Oxygen เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นในร่างกายจากกิจกรรมเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ตามปกติ รวมถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น มลพิษทางอากาศ อนุมูลอิสระสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของเซลล์ ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง ความผิดปกติของระบบประสาท ไขมันอุดตันในเส้นเลือด ความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน ภาวะการหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน โรคปอดอักเสบเรื้อรังและโรคหอบหืด

ในร่างกายสิ่งมีชีวิตมีระบบต่อต้านอนุมูลอิสระซึ่งรวมถึง สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ สารต้านอนุมูลอิสระจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจาก ROS [5] โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะต่อต้าน ROS รวมถึงป้องกันสารชีวโมเลกุลอื่น ๆ เช่น ดีเอ็นเอ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และสารอื่น ๆ [6] จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรับประทานอาหารที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระสูง

โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus) ไม่ใช่โรคเพียงโรคเดียว แต่ยังเป็นกลุ่มของอาการแปรปรวนที่เป็นสาเหตุในการก่อให้เกิดโรค ซึ่งมีลักษณะคือ หลังจากรับประทานอาหารจะมีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการที่อินซูลินทำงานบกพร่องหรือมีการทำงานของอินซูลินที่ลดลง จึงทำให้เกิดความผิดปกติของเมแทบอลิซึมของกลูโคส ไขมันและโปรตีน ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ที่ส่งผลในระยะยาว โรคเบาหวานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ โรคเบาหวานชนิดที่ 1 (Type 1 Diabetes) เกิดจากการที่เบต้า-เซลล์ของตับอ่อน (Pancreatic Beta-Cell) ถูกทำลายโดยระบบภูมิคุ้มกันตัวเอง ทำให้ไม่สามารถหลั่งอินซูลินได้เกือบทั้งหมด ผู้ป่วยเบาหวานชนิดนี้จึงจำเป็นต้องได้รับการฉีดอินซูลินเพื่อชดเชยการหลั่งอินซูลินในร่างกาย แต่การได้รับอินซูลินจากการฉีดก็ไม่สามารถที่จะเลียนแบบหน้าที่ปกติของเบต้า-เซลล์ได้ ซึ่งจะช่วยปรับอัตราการหลั่งอินซูลินตามความต้องการของร่างกาย การรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 1 คือ การควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะช็อกได้ และสภาวะน้ำตาลในเลือดที่สูงขึ้นทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ เช่น ตาบอดและโรคไตวายเรื้อรัง ส่วนโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes) เป็นโรคเบาหวานที่พบมากในผู้ป่วยส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 90 ของผู้ป่วยทั้งหมด) มีสาเหตุมาจากการเกิดภาวะดื้อต่ออินซูลินร่วมกับภาวะบกพร่องของการหลั่งอินซูลิน [7] ซึ่งมีการใช้ยาสังเคราะห์หลายชนิดในการรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เช่น ซัลโฟนิลยูเรีย (Sulfonylurea) เป็นยาที่มีฤทธิ์ในการกระตุ้นการหลั่งอินซูลินจากเบต้า-เซลล์ของตับอ่อน ไบควาไนด์ (Biguanide) เป็นยาที่ช่วยปรับปรุงความไวของเนื้อเยื่อต่ออินซูลินหรือช่วยลดภาวะดื้อต่ออินซูลินและอะคาร์โบส (Acarbose) เป็นยาที่ออกฤทธิ์โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ผลิตจากตับอ่อนและทำหน้าที่ในการย่อยแป้ง การกินยาอะคาร์โบสพร้อมอาหารจะช่วยให้การย่อยคาร์โบไฮเดรตล่าช้าลง [8] และอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดน้ำตาลในเลือด คือ การป้องกันการดูดซึมของคาร์โบไฮเดรตหลังจากรับประทานอาหาร โพลีแซ็กคาไรด์เป็นสารอาหารที่มีโครงสร้างซับซ้อนซึ่งจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสไปเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ หลังจากนั้นจะถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปเป็นน้ำตาลกลูโคสด้วยเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ก่อนที่จะถูกดูดซึมในเอพิทิลเลียลเซลล์ในลำไส้ (Intestinal Epithelium) และเข้าสู่กระแสเลือด ดังนั้นการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสจึงช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ โดยจะยับยั้งเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์คาร์โบไฮเดรตจึงทำให้ชะลอการดูดซึมของกลูโคส [9] ซึ่งถ้าหากสามารถค้นพบยาที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านเบาหวานได้สูงก็น่าสนใจที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังจัดเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในร่างกาย แต่จะมีกิจกรรมกับแบคทีเรียในลำไส้ที่ส่งผลดีต่อร่างกาย [10] เช่น Arabinoxylooligosaccharides ที่พบในรำข้าวสาลี [11] เป็นต้น ในปัจจุบันนักวิจัยด้านอาหารฟังก์ชันนอล (Functional Food) ได้พัฒนาอาหารเสริมที่มีประสิทธิภาพต่อองค์ประกอบและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้หรือที่เรียกว่า แบคทีเรียพรีไบโอติก ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ช่วยส่งเสริม

การย่อยน้ำตาลแลคโตส และยังช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ดังนั้นจึงมีการนำสารพรีไบโอติก มาใช้ร่วมกับจุลินทรีย์โพรไบโอติก หรือที่เรียกกันว่า ซินไบโอติก (Synbiotic) เพื่อให้ส่งผลดีต่อร่างกาย [12] ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมีของข้าวและข้าวโพดของไทยและนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มธัญพืชโพรไบโอติกเพื่อสุขภาพ

## วิธีดำเนินงานวิจัย

### 1. ขั้นตอนวิธีการวิจัย

#### 1.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ข้าวเจ้าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (*Oryza sativa* L. หรือ Riceberry) และพันธุ์ลิ้นเหล็ก ได้มาจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ข้าวเหนียวพันธุ์ลิ้มฟ้า (*Oryza sativa* var. *Glutinosa*) และข้าวเจ้าแดง (*Oryza sativa* L.) ข้าวโพดข้าวเหนียว (*Zea mays ceratina*) และข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม (*Zea mays* Linn.) ได้มาจากจังหวัดนครปฐม

#### 1.2 การเตรียมเมล็ดธัญพืชงอก

วิธีการทำเมล็ดธัญพืชให้งอก ทำตามวิธีการของ [13] โดยตัดแปลงวิธีการเล็กน้อย ทำได้โดยการล้างเมล็ดข้าวให้สะอาดและแช่น้ำในอัตราส่วน 1:3 น้ำหนักโดยปริมาตร เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางบนผ้าขาวบางที่เปียกและปล่อยให้งอกที่อุณหภูมิ  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด

#### 1.3 การเตรียมสารสกัดจากธัญพืช

การสกัดทำได้โดยชั่งตัวอย่างผงธัญพืชแห้ง 10 กรัม เติมน้ำละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมารองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำสารสกัดที่กรองได้ไประเหยเอาเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนได้สารสกัดเข้มข้นและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

### 2. การศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมีของสารสกัดจากธัญพืช

#### 2.1 การทบทวนการต้านอนุมูลอิสระ

การทบทวนการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากธัญพืช ทำด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay ตามวิธีการของ [14] ดังนี้ ทำการเตรียม FRAP Reagent โดยผสมสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ (Acetate Buffer) pH 3.6 ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับสาร 2,4,6 tripyridyl-s-triazine (TPTZ, 93285, Fluka, Switzerland) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้ FRAP Reagent จากนั้นเปิด FRAP Reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และเติมสารสกัดธัญพืชที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (เจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 594 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Shimadzu, UV-1601, Australia) ส่วนแบลนด์ (Blank) จะใช้ FRAP Reagent ที่ไม่เติมตัวอย่าง และใช้สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.047 - 3.0 มิลลิโมลต่อลิตรเป็นสารละลายมาตรฐาน ทำการทดลองด้วยวิธีการเดียวกันกับสารตัวอย่าง เขียนกราฟมาตรฐานของการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตในหน่วยมิลลิโมล เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของ  $Fe^{2+}$ -TPTZ หรือความสามารถในการรีดิวซ์ (Reducing Capacity) ของสารตัวอย่าง รายงานผลในหน่วยมิลลิโมลของเฟอร์รัสซัลเฟตต่อกรัมของสารสกัด (mmol  $Fe(II)$ /g extract)

## 2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ทำตามวิธีการของ [15] ทำได้โดยปีเปตสารสกัดจากธัญพืชที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองเติมน้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูงปริมาตร 3 มิลลิลิตร เติมสาร Folin Ciocalteu Reagent (UN3264, VWR chemical, European Commission) ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาทีในที่มืด แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $Na_2CO_3$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์ให้ได้ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในที่มืด นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Shimadzu, UV-1601, Australia) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mg Gallic Acid Equivalents (GAE)/g)

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 10 - 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองตามวิธีการข้างต้น ส่วนแบลนด์ใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร จากนั้นเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดแกลลิกกับค่าการดูดกลืนแสง ทาสสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง

## 2.3 การศึกษาสมบัติการต้านเบาหวาน

การศึกษาศักยภาพการต้านโรคเบาหวานของสารสกัดจากธัญพืช ทำการวิเคราะห์ที่กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ตามวิธีการดังต่อไปนี้

### 2.3.1 การวิเคราะห์กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

การวิเคราะห์กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (Alpha-Amylase Inhibition Assay) ทำตามวิธีการของ [16] ซึ่งดัดแปลงเล็กน้อย ทำได้โดยเตรียมสารละลายสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 1 (Starch Soluble, Sisco Research Laboratories Pvt. Ltd., India) ในน้ำกลั่น และนำมาให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วปีเปตสารละลายสตาร์ช 240 ไมโครลิตร ผสมกับตัวอย่างสารสกัดจากธัญพืช (เจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30) หรือตัวควบคุมเชิงบวก อะคาร์โบส (Acarbose, Sigma, China) (เจือจางด้วยน้ำกลั่น) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 120 ไมโครลิตร ผสมเข้าด้วยกัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

เดมิเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ( $\alpha$ -Amylase from Porcine Pancreas, Sigma-Aldrich, USA) ความเข้มข้น 1 ยูนิตต่อมิลลิลิตรใน Tris-HCl Buffer ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ (ประกอบด้วย แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 6.9) ปริมาตร 240 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 3 นาที เติมน้ำกลั่น 240 ไมโครลิตร (เตรียมโดยผสมโซเดียมโพแทสเซียมไททาเทต ปริมาณ 12 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และสาร 3,5-dinitrosalicylic acid ความเข้มข้น 96 มิลลิโมลาร์ (ซึ่งสารนี้ 0.88 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 46 มิลลิลิตร โดยผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตรต่อปริมาตร [17]) นำสารผสมไปต้มเป็นเวลา 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารทำปฏิกิริยานี้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 2,160 ไมโครลิตร และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Shimadzu, UV-1601, Australia) โดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุมเชิงลบซึ่งใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 120 ไมโครลิตร แทนสารสกัดตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและตัวควบคุมเชิงลบมาคำนวณหาร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ( $\alpha$ -Amylase Inhibitory Activity) ดังสมการที่ (1)

$$\text{กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ร้อยละ)} = (A_{\text{ควบคุม}} - A_{\text{ตัวอย่าง}}) / A_{\text{ควบคุม}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} A_{\text{ควบคุม}} &= \text{ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวควบคุม} \\ A_{\text{ตัวอย่าง}} &= \text{ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารตัวอย่าง} \end{aligned}$$

### 2.3.2 การวิเคราะห์กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

ในการวิเคราะห์กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (Alpha-Glucosidase Inhibition Assay) ต้องทำการเตรียมสารละลายเอนไซม์ Rat-Intestinal Acetone Powder ตามวิธีการของ [16] ซึ่งทำได้โดยชั่ง Rat-Intestinal Acetone Powder (Sigma-Aldrich, USA) ปริมาณ 0.5 กรัม นำมาผสมกับสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำการ Sonication 15 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 10,000xg เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนใสที่ได้มาใช้เป็นสารละลายเอนไซม์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ขั้นตอนการวิเคราะห์ทำกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ทำตามวิธีการของ [18] โดยนำตัวอย่างสารสกัดที่เจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 หรือตัวควบคุมเชิงลบ อะคาร์โบส (Acarbose, Sigma, China) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในน้ำกลั่น ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายเอนไซม์ Rat-Intestinal Acetone Powder ปริมาตร 500 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติม p-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside (Calbiochem, Switzerland) ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ที่ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (pH 6.9) ปริมาตร 250 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV Visible Spectrophotometer, Shimadzu,

UV-1601, Australia) ตัวควบคุมเชิงลบใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 250 ไมโครลิตร แทนสารสกัดตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนคลีนแสงของตัวอย่างและตัวควบคุมเชิงลบมาคำนวณหาร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ดังสมการที่ (2)

$$\text{กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (ร้อยละ)} = (A_{\text{ควบคุม}} - A_{\text{ตัวอย่าง}}) / A_{\text{ควบคุม}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

$A_{\text{ควบคุม}}$  = ค่าการดูดกลืนคลีนแสงของตัวควบคุม

$A_{\text{ตัวอย่าง}}$  = ค่าการดูดกลืนคลีนแสงของสารตัวอย่าง

#### 2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์

การวิเคราะห์หาปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ ทำตามวิธีการของ [19] ซึ่งทำได้โดยการปิเปตสารสกัดความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 3 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง เก็บตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรคลอริกบัฟเฟอร์ (HCl buffer) [20] ที่ค่า pH 1.0 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการปรับ pH ให้ได้ pH 7.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 นอร์มอล ทำการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ความเข้มข้น 2 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ใน Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา 6 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาด้วยการนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังการย่อยด้วยวิธีฟีนอล-ซัลฟิวริก (Phenol-Sulfuric Method) รายงานปริมาณสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อยในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อย} &= \text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังจากการย่อย} \\ (\text{มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด}) &\quad \text{ด้วยกรดและเอนไซม์ (มิลลิกรัมต่อกรัมของ} \\ &\quad \text{สารสกัด) - ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนทำการย่อย} \\ &\quad \text{(มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด)} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดที่มีอยู่ในสารสกัดที่เวลาเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic Acid (DNS Method) ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ [21] ทำได้โดยปิเปตสารสกัดจากธัญพืชความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 ก่อนการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (Sigma-Aldrich, India) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงทันทีเพื่อหยุดปฏิกิริยา เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส (D-Glucose Anhydrous, Carlo Erba Reagent, France) รายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์

#### 2.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธีฟินอล-ซัลฟิวริก ตามวิธีการของ [22] ทำได้โดยปิเปตสารสกัดที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรที่ย่อยด้วยกรดและเอนไซม์แล้วปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายฟินอล (Panreac Quimica, EU) ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นผสมสารละลายให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้อีก 20 นาที ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส รายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด

### 3. การผลิตเครื่องดื่มน้ำพรีไบโอติก

#### 3.1 การเตรียมกล้าเชื้อ *Lactobacillus acidophilus*

การเตรียมกล้าเชื้อแบคทีเรีย ทำได้โดยเชื้อเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 1034 ปริมาณ 1 หลูป ลงในอาหารเหลว MRS (deMan Rogosa Sharpe broth, Difco Laboratories, USA) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย แยกตะกอนเซลล์โดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสทิ้ง ทำการล้างเซลล์ 2 ครั้งด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำตะกอนเซลล์ที่ได้มาทำให้อยู่ในรูปสารแขวนลอยเซลล์ ปรับความขุ่นให้เท่ากับ ความขุ่นของสารละลายมาตรฐาน McFarland เบอร์ 8 (จะได้ความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ  $10^8$  CFU ต่อมิลลิลิตร)

#### 3.2 การเตรียมเครื่องดื่มน้ำพรีไบโอติก

ในการทดลองนี้คัดเลือกธัญพืชจำนวน 2 พันธุ์ทั้งชนิดที่ผ่านการทำให้งอกและไม่ผ่านการทำให้งอกที่มีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูง และมีกิจกรรมการต้านเบาหวานที่ดีเพื่อนำมาพัฒนาเป็นเครื่องดื่มน้ำพรีไบโอติก

ขั้นแรกทำการเตรียมเมล็ดธัญพืช ในการเตรียมเมล็ดธัญพืชที่ไม่ผ่านการงอกได้นำเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมา 250 กรัม ล้างน้ำให้สะอาด แล้วแช่น้ำในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:3 น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 16 - 18 ชั่วโมง จากนั้นแกะเปลือกออกและนำมาผึ่งไว้ ส่วนการเตรียมเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการงอก ขั้นตอนทำตามวิธีการเช่นเดียวกัน หลังจากแช่น้ำแล้วนำมาวางบนผ้าขาวบางที่เปียกตลอดเวลา ทิ้งไว้ให้งอกที่อุณหภูมิ  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดธัญพืชทั้งสองประเภทมาบ่มให้ละเอียดโดยผสมน้ำอุ่นเล็กน้อย กรองด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำสะอาดที่ต้มจนเดือดเทใส่ปริมาตร 2 ลิตร ผสมกับวัตถุดิบให้เข้ากันแล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 - 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที คนตลอดเวลา หลังจากนั้นเติมเกลือ 1/4 ช้อนโต๊ะ ยกลงทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำมาบรรจุขวด ปิดฝาและเติมกล้าเชื้อ *L. acidophilus* ในอัตราส่วนเชื้อต่อน้ำนมข้าว 1:30 มิลลิลิตรโดยปริมาตร

นำมาเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 7 และ 14 วันของการเก็บรักษา เพื่อนำไปวิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดด้วยเทคนิคสไปรอลเพลต (Spiral Plate Technique) ด้วยเครื่องจ่ายตัวอย่างลงจานอาหารเลี้ยงเชื้อแบบอัตโนมัติ (Spiral Plater, Autoplate 4000, Spiral Biotech, USA) ลงบนอาหาร MRS agar และวัดค่า pH ของน้ำนมข้าวด้วยเครื่องวัดพีเอช (Benchtop pH meter, Starter 3000, Ohaus, USA) ส่วนการตรวจหากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มธัญพืชโพรไบโอติกทำได้ด้วยวิธี FRAP และวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและแอลฟา-กลูโคซิเดสเฉพาะในตัวอย่างที่เก็บรักษาครบ 14 วัน ดังนี้

ก) การวิเคราะห์หากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์หากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มธัญพืชโพรไบโอติก ทำตามวิธีการ เช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่ใช้ตัวอย่างเครื่องดื่มที่เจือจาง 1:10 เท่าด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 ในการวิเคราะห์ รายงานผลในหน่วยมิลลิโมลของเฟอร์รัสซัลเฟตต่อเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร (mmol Fe(II)/100 ml beverage)

ข) การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเครื่องดื่มธัญพืชโพรไบโอติก ทำตามวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 2.2 แต่ใช้ตัวอย่างเครื่องดื่มที่เจือจาง 1:10 เท่าด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 ในการวิเคราะห์ รายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 มิลลิลิตรของเครื่องดื่ม (mg gallic acid equivalents (GAE)/ 100 ml beverage)

ค) การศึกษาสมบัติการต้านโรคเบาหวาน

การวิเคราะห์หาสมบัติการต้านโรคเบาหวานของเครื่องดื่ม ทำโดยการวิเคราะห์หากิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ตามวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 2.3.1 และ 2.3.2 แต่ใช้ตัวอย่างเครื่องดื่มธัญพืชที่เจือจาง 1:10 เท่า ด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 รายงานผลในหน่วยร้อยละการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและร้อยละการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

ง) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติทำได้โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan's Multiple Range Test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละทรีตเมนต์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20.0

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. สมบัติทางพฤกษเคมีของสารสกัดจากธัญพืช

สารสกัดจากข้าวกล้องลิ้มข้าวและข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการทำให้แห้งมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงหรือมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงกว่าสารสกัดชนิดอื่น (1.17 และ 0.66 มิลลิโมลเฟอร์รัสต่อกรัมของสารสกัด) ในการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยการรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส ( $Fe^{2+}$ -TPTZ) ซึ่งมีสีน้ำเงินนั้นเกิดจากอะตอมของเหล็กในสาร  $Fe^{3+}$ -TPTZ ถูกรีดิวซ์

ให้ได้เป็น  $Fe^{2+}$ -TPTZ นั้นหมายความว่า ถ้าความสามารถในการรีดิวซ์ยิ่งสูง กิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดก็จะยิ่งมาก ส่วนสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง 2 อันดับแรกคือ ข้าวกล้องลิ้มหัวและข้าวโพดข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการทำให้งอก (1,704.17 และ 1,010.42 มิลลิกรัมของกรดแอสคิลิกต่อกรัมของสารสกัด) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารสกัดจากธัญพืชที่ไม่ผ่านการทำให้งอกกับชนิดที่ผ่านการทำให้งอกพบว่า สารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวโพดที่ไม่ผ่านการทำให้งอกเกือบทุกชนิดที่ทดสอบมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าชนิดที่ผ่านการทำให้งอกโดยเฉพาะข้าวกล้องลิ้มหัวข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวโพดข้าวเหนียว (ตารางที่ 1)

ในการศึกษาสมบัติการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดจากธัญพืช ผลปรากฏว่าสารสกัดจากธัญพืชที่นำมาทดลองทั้งหมดนั้นมีกิจกรรมยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสในช่วงร้อยละ 4.37 - 26.12 (ตารางที่ 1) ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่และข้าวกล้องลิ้มหัวมีกิจกรรมยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ร้อยละ 24.55 - 26.12) ซึ่งสูงกว่ากิจกรรมของสารสกัดจากธัญพืชชนิดอื่น โดยเฉพาะข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ไม่งอกมีกิจกรรมดังกล่าวสูงที่สุด คือ ร้อยละ 26.12 ขณะที่สารสกัดจากข้าวกล้องแดงที่ผ่านการทำให้งอกมีกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสสูงที่สุด (ร้อยละ 12.82) รองลงมานั้นเป็นข้าวกล้องลิ้มหัว ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมและข้าวกล้องลินเทิลิกที่ผ่านการทำให้งอก (ร้อยละ 11.88 11.54 และ 10.44 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารสกัดธัญพืชที่ไม่ผ่านการทำให้งอกกับชนิดที่ผ่านการทำให้งอก พบว่าส่วนใหญ่สารสกัดธัญพืชชนิดที่ไม่ผ่านการทำให้งอกมีกิจกรรมยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสสูงกว่าชนิดที่ผ่านการทำให้งอก ในทางกลับกัน สารสกัดธัญพืชที่ผ่านการทำให้งอกส่วนใหญ่มีกิจกรรมยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสสูงกว่าชนิดที่ไม่ผ่านการทำให้งอก (ตารางที่ 1)

ในการศึกษาปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดในสารสกัดจากธัญพืชที่ไม่ถูกย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ หลังจากการย่อยแล้วยังคงมีสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่เหลืออยู่ในปริมาณสูงแสดงว่าสารสกัดชนิดนั้นมีความสามารถทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์สูง และมีสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ดี ในบรรดาสารสกัดจากธัญพืชทั้งหมดที่นำมาทดสอบพบว่า สารสกัดธัญพืชชนิดที่มีปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์สูง 2 อันดับแรกคือ ข้าวกล้องลินเทิลิกที่ไม่ผ่านการทำให้งอกและข้าวกล้องลิ้มหัวที่ผ่านการทำให้งอก (มีปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อย 538.06 และ 518.16 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารสกัดจากธัญพืชชนิดที่ผ่านการทำให้งอกกับชนิดที่ไม่ผ่านการทำให้งอกพบว่า ส่วนใหญ่ธัญพืชชนิดที่ผ่านการทำให้งอกที่มีปริมาณสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดที่ไม่ถูกย่อยสูงกว่าชนิดที่ไม่ผ่านการทำให้งอก (ตารางที่ 2)

ข้าวเหนียวพันธุ์ลิ้มหัว เป็นข้าวที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีแดงและสีม่วงเข้ม การที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงอาจเป็นเพราะอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกปริมาณมากซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ แอนโทไซยานินและ แกมมาโอไรซานอล (Gamma Oryzanol) และยังอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 รวมถึงธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยป้องกันโรคสมองเสื่อมลดไขมันในเส้นเลือด ลดการขยายตัวของเซลล์มะเร็ง และป้องกันโรคเบาหวาน [23] มีรายงานการพบสารแอนโทไซยานินในข้าวดำ โดย [24] พบว่าข้าวเหนียวลิ้มหัวมีแอนโทไซยานิน 46.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีสารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม 833.77 มิลลิกรัมของกรดแอสคิลิกต่อข้าว 100 กรัม และยังอุดมไปด้วยวิตามิน วิตามินอี (แอลฟา-โทโคเฟอรอล) 16.83 มิลลิกรัมต่อข้าว 1 กิโลกรัม มีแร่ธาตุต่าง ๆ

หลายชนิด เช่น ธาตุเหล็ก แคลเซียม สังกะสี แมงกานีส แมกนีเซียม รวมทั้งกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และกรดไขมันโอเมก้า 9 ในปริมาณ 33.94 1,160.08 และ 1,146.41 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ สารสกัดข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง [25] ได้กล่าวว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารจับอนุมูลอิสระ เช่น ควิโนโลน (Quinolone) แอลคาลอยด์ วิตามินอี ไฟเตท แกมมา โอไรซานอล พอลิฟีนอลและแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูง โดยพบว่าข้าวคั่วพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีเบต้า-แคโรทีน 63.3 ไมโครกรัม พอลิฟีนอล 752.1 มิลลิกรัม และแอนโทไซยานิน 250.36 มิลลิกรัมต่อข้าว 100 กรัม โดยพบสารเหล่านี้มากในส่วนของ pericarp และยังรายงานว่ารำข้าวเจ้าหอมนิลและรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณสูง ข้าวยังมีสีม่วงเข้มมากขึ้นเท่าใดจะยังมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่สูงมากขึ้นเท่านั้น [3] ได้รายงานการตรวจสอบสารแอนโทไซยานินชนิดหลักถึง 2 ชนิด ได้แก่ cyaniding-3-glucoside (ร้อยละ 10.3) และ peonidin-3-glucoside (ร้อยละ 6.2) ในสารสกัดจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สกัดด้วยเมทานอล

ตารางที่ 1 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านเบาหวาน ในสารสกัดจากธัญพืช

สารสกัดจากธัญพืช		Anti-oxidant	Diabetes inhibition		Total Phenolic
		activity FRAP assay (mmol Fe (II)/g extract) <sup>z</sup> ± SD	α-amylase Inhibition (%) <sup>z</sup> ± SD	α-glucosidase inhibition (%) <sup>z</sup> ± SD	content (mgGAE/g extract) <sup>z</sup> ±SD
ข้าวกล้องสีมั่ว	- งอก	0.29±0.001 <sup>c</sup>	24.55±0.20 <sup>c</sup>	11.88±0.24 <sup>cd</sup>	516.67±3.61 <sup>c</sup>
	- ไม่งอก	1.17±0.005 <sup>f</sup>	26.02±0.20 <sup>d</sup>	3.03±0.27 <sup>a</sup>	1,704.17±3.61 <sup>f</sup>
ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	- งอก	0.44±0.004 <sup>f</sup>	25.29±0.28 <sup>c</sup>	4.40±0.10 <sup>a</sup>	656.25±6.25 <sup>b</sup>
	- ไม่งอก	0.66±0.007 <sup>c</sup>	26.12±0.18 <sup>d</sup>	4.69±0.22 <sup>a</sup>	833.33±3.61 <sup>c</sup>
ข้าวกล้องแดง	- งอก	0.28±0.003 <sup>d</sup>	10.65±0.23 <sup>b</sup>	12.82±2.32 <sup>c</sup>	385.42±3.61 <sup>b</sup>
	- ไม่งอก	0.32±0.002 <sup>c</sup>	8.29±0.45 <sup>a</sup>	9.21±0.44 <sup>d</sup>	372.92±3.61 <sup>b</sup>
ข้าวกล้องสีนเหล็ก	- งอก	0.20±0.005 <sup>a</sup>	19.39±0.19 <sup>c</sup>	10.44±0.17 <sup>c</sup>	343.75±0.00 <sup>ab</sup>
	- ไม่งอก	0.29±0.002 <sup>b</sup>	9.43±1.18 <sup>b</sup>	7.88±0.22 <sup>d</sup>	129.17±3.61 <sup>a</sup>
ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม	- งอก	0.19±0.002 <sup>a</sup>	4.37±1.16 <sup>a</sup>	11.54±0.22 <sup>cd</sup>	335.42±3.61 <sup>a</sup>
	- ไม่งอก	0.18±0.003 <sup>a</sup>	9.86±0.16 <sup>b</sup>	9.07±0.48 <sup>d</sup>	304.17±3.61 <sup>b</sup>
ข้าวโพดข้าวเหนียว	- งอก	0.25±0.002 <sup>c</sup>	11.24±0.37 <sup>c</sup>	8.50±0.41 <sup>a</sup>	837.50±0.00 <sup>d</sup>
	- ไม่งอก	0.46±0.002 <sup>d</sup>	11.29±0.42 <sup>c</sup>	4.41±0.23 <sup>b</sup>	1,010.42±3.61 <sup>c</sup>
BHT		0.117±0.003 <sup>e</sup>	-	-	-
Acarbose		-	54.78±0.24 <sup>e</sup>	54.89±0.29 <sup>c</sup>	-

<sup>z</sup> ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ซ้ำ  
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวที่อยู่ในคอลัมเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในการทดลองนี้สารสกัดจากข้าวกล้องสีม่วงมีกิจกรรมการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลสและแอลฟา-กลูโคซิเดสได้ค่อนข้างดี ข้าวเหนียวสีม่วงเป็นข้าวเหนียวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ ไรต่อช่วงแสงอายุสั้น เก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนตุลาคม ลักษณะทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย รวงค่อนข้างแน่นเมื่อระย่นานม กลีบดอกเปลี่ยนสีเป็นแถบสีม่วงบนพื้นสีเขียวอ่อน ต่อมาเมื่อเข้าระยะแบ่งแข็ง สีกลีบดอกจะเปลี่ยนเป็นสีฟางแถบม่วงดำ และเมื่อเข้าระยะสุกแก่ สีเปลือกเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีฟางแถบดำหรือสีฟาง [26] สารสีม่วงแดงจนถึงสีดำที่พบในบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวเหนียวดำหรือข้าวกำนันเป็นรงควัตถุที่เกิดจากการสังเคราะห์ฟลาโวนอยด์ในต้นข้าว ซึ่งแบ่งออกได้เป็นแอนโทไซยานินและโปรแอนโทไซยานิน [27] นอกจากนี้ [28] ได้รายงานว่าการแอนโทไซยานินจากสารสกัด purple rice มีผลช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูที่เป็นโรคเบาหวานได้ สารแอนโทไซยานินมีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นอย่างมาก [29] ได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารแอนโทไซยานิน 9 ชนิดในการกระตุ้นการหลั่งอินซูลินจาก pancreatic  $\beta$ -cell ของหนูพบว่า delphinidin-3-glucoside และ cyanidin-3-galactoside เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกระตุ้นการหลั่งอินซูลินที่ระดับน้ำตาลกลูโคสที่มีความเข้มข้น 4 และ 10 มิลลิโมลาร์ ดังนั้นการรับประทานข้าวเหนียวสีม่วงซึ่งมีสารแอนโทไซยานินสูงอาจช่วยต้านเบาหวานได้

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ในสารสกัดจากข้าวและข้าวโพด

ชนิดจากธัญพืช		Reducing sugar	Total sugar	Indigestible polysaccharide
		(mg/g extract) <sup>z</sup> ± SD	(mg/g extract) <sup>z</sup> ± SD	(mg / g extract) <sup>z</sup> ± SD
ข้าวกล้องสีม่วง	- งอก	270.41±7.23 <sup>c</sup>	788.57±2.30 <sup>f</sup>	518.16±6.24 <sup>c</sup>
	- ไม่งอก	299.52±5.72 <sup>d</sup>	715.84±1.83 <sup>c</sup>	416.32±5.51 <sup>d</sup>
ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	- งอก	137.91±1.69 <sup>b</sup>	372.44±1.70 <sup>b</sup>	234.53±0.50 <sup>c</sup>
	- ไม่งอก	69.16±1.91 <sup>c</sup>	234.90±2.21 <sup>c</sup>	165.74±3.62 <sup>b</sup>
ข้าวกล้องแดง	- งอก	73.33±0.74 <sup>a</sup>	312.32±1.55 <sup>a</sup>	238.99±1.53 <sup>c</sup>
	- ไม่งอก	59.58±2.45 <sup>b</sup>	192.37±0.53 <sup>b</sup>	132.80±2.93 <sup>a</sup>
ข้าวกล้องสีนเทิลิก	- งอก	230.17±3.64 <sup>c</sup>	437.83±1.44 <sup>c</sup>	207.66±4.73 <sup>b</sup>
	- ไม่งอก	45.53±2.44 <sup>a</sup>	583.58±4.02 <sup>d</sup>	538.06±5.63 <sup>c</sup>
ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม	- งอก	328.21±2.53 <sup>f</sup>	697.65±4.83 <sup>c</sup>	369.45±2.34 <sup>d</sup>
	- ไม่งอก	381.07±0.38 <sup>g</sup>	553.08±1.61 <sup>c</sup>	172.02±1.36 <sup>b</sup>
ข้าวโพดข้าวเหนียว	- งอก	258.98±4.91 <sup>d</sup>	388.86±2.17 <sup>c</sup>	129.88±2.74 <sup>a</sup>
	- ไม่งอก	353.92±4.04 <sup>c</sup>	737.84±1.93 <sup>f</sup>	383.91±2.19 <sup>c</sup>

<sup>z</sup> ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวที่อยู่ในคอลัมเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สารสกัดจากข้าวกล้องลินเหล็กมีกิจกรรมการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส และแอลฟา-กลูโคซิเดส ได้ค่อนข้างดีปานกลาง ข้าวลินเหล็กเป็นข้าวที่ผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล (พันธุ์พ่อ) และข้าวขาวดอกมะลิ (พันธุ์แม่) มีธาตุเหล็กสูง (15 - 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ คือ ร้อยละ 58 นอกจากนี้ยังพบสารต้านอนุมูลอิสระชนิดที่สำคัญในปริมาณที่สูง ได้แก่ วิตามินอีปริมาณ 680 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมและแกมมา-โอโรซานอลปริมาณ 372 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม เป็นต้น ข้าวกล้องพันธุ์ลินเหล็กเป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำช่วยแก้ปัญหาโรคเบาหวานได้ ทำให้สภาวะการดื้อต่ออินซูลินลดลงและตับอ่อนมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ค่าเฉลี่ยของไขมันไตรกลีเซอไรด์ลดลงอีกด้วย [30] ซึ่งในการป้องกันและรักษาโรคเบาหวานนั้นสามารถทำได้โดยการควบคุมอาหาร กลุ่มคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรรับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ และยังพบว่าข้าวกล้องมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวหอมมะลิและข้าวสวยซึ่งมีค่าเท่ากับ 55 64 และ 71 ตามลำดับ เนื่องจากในข้าวกล้องมีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน การย่อยจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้ ส่วนข้าวขาวเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยว การย่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลกับฮอร์โมนอินซูลิน ทำให้น้ำตาลเกิดการสะสมในเลือดมากขึ้น [31] ข้าวกล้องลินเหล็กมีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูงจึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวชนิดอื่น ดังนั้นข้าวพันธุ์ลินเหล็กจึงเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีผลดีในระยะยาวสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานและผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก [30]

สารสกัดจากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มีกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ได้ดีเล็กน้อย [3] ได้กล่าวว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวดำสายพันธุ์ใหม่ของไทยที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเมื่อเร็ว ๆ นี้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้บริโภคได้ประโยชน์ด้านโภชนาการที่เหมาะสม รวมทั้งเป็นอาหารเสริมสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคโลหิตจางและผู้ป่วยโรคเบาหวาน เพราะข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณธาตุเหล็กสูง และปริมาณน้ำตาลกลูโคสต่ำ นอกจากนี้ยังมีรายงานการพบสารสำคัญหลายชนิดในรำข้าว ได้แก่ เส้นใยอาหาร วิตามินอี วิตามินบีและสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด [32] โดย [33] ได้ศึกษาอาหารเสริมจากน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสภาวะเครียดออกซิเดทีฟ (Oxidative Stress) ในหนูที่เป็นโรคเบาหวานและได้รับอาหารที่มีไขมันสูง สรุปได้ว่าสารอาหารจากน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถก่อให้เกิดผลดีต่อผู้ป่วยเบาหวาน โดยการลดสภาวะเครียดออกซิเดทีฟและยังช่วยฟื้นฟูกลไกการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายให้ทำงานได้อย่างปกติ

ธัญพืชอุดมไปด้วยแหล่งของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ เส้นใยอาหารและยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น การกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Lactobacilli* และ *Bifidobacteria* ในลำไส้ใหญ่ [34] โอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยที่มีระดับการพอลิเมอไรซ์ (Degree of Polymerization) ตั้งแต่ 3 ถึง 10 พบได้ตามธรรมชาติในพืชที่ใช้เป็นอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่พบในผัก ผลไม้ และธัญพืช เมื่อบริโภคโอลิโกแซ็กคาไรด์เข้าไปจะมีส่วนที่ไม่ถูกย่อย ซึ่งจะเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น *Bifidobacteria* และ *Lactobacillus* [35] ในการรับประทานอาหารประเภทโพรไบโอติกให้ได้ประโยชน์ต่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกนั้นควรมีจำนวนของจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีชีวิตอย่างน้อย  $10^6$  เซลล์ต่อมิลลิลิตรหรือต่อกรัม เมื่อถึงวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์ตามที่มีคำแนะนำว่าปริมาณที่ให้ผลการรักษา (Therapeutic Dose) ต่ำสุด

ที่ควรได้รับต่อวันคือ  $10^8 - 10^9$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร [36] และในการที่จำนวน *Lactobacillus acidophilus* ลดลงระหว่างการเก็บรักษานั้นอาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจน เนื่องจากการที่แบคทีเรียโพรไบโอติกเผชิญต่อสภาวะที่มีออกซิเจน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบคทีเรียสูญเสียการรอดชีวิต [37] ออกซิเจนสามารถเข้าไปละลายในน้ำนมได้ง่าย ในการที่จะขจัดออกซิเจนออกจากร้านนมโพรไบโอติกจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการทำให้เกิดสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนสามารถซึมผ่านภาชนะบรรจุเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ระหว่างการเก็บรักษา โดยออกซิเจนจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์โพรไบโอติก 3 ทาง คือ 1) เป็นพิษกับเซลล์โดยตรงซึ่งแบคทีเรียโพรไบโอติกบางชนิดจะได้รับอันตรายได้ง่ายในสภาวะที่มีออกซิเจนจึงทำให้เซลล์ตาย 2) ในสภาวะที่มีออกซิเจนนั้นแบคทีเรียบางชนิดโดยเฉพาะ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* จะสร้างเปอร์ออกไซด์ และ 3) อนุมูลอิสระที่ถูกสร้างขึ้นจากสารประกอบนี้เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติก [36] เคยมีรายงานถึงการเสริมฤทธิ์ของกรดกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการยับยั้งแบคทีเรียโพรไบโอติก นอกจากนี้ยังพบว่ามีอีกหลายปัจจัยที่จะส่งผลถึงการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติก เช่น ส่วนผสมอาหาร ภาชนะที่ใช้บรรจุ และสภาวะในการเก็บรักษา เป็นต้น [37]

## 2. สมบัติทางพฤกษเคมีของเครื่องดื่มจากธัญพืช

จากผลการศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมีของสารสกัดจากธัญพืชทั้งหมด ได้คัดเลือกข้าวสาลีหัวและข้าวไรซ์เบอร์รี่มาผลิตเครื่องดื่มโพรไบโอติก เมื่อทำการเก็บรักษาจนครบ 14 วัน ผลปรากฏว่าเครื่องดื่มข้าวชนิดที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดคือ เครื่องดื่มข้าวกล้องสีม่วงทั้งชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านทำให้การงอก (ความสามารถในการรีดิวซ์ 0.20 และ 0.22 มิลลิโมลเฟอรรัสต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 915.93 และ 812.22 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 มิลลิลิตร) ส่วนกิจกรรมการต้านเบาหวานของเครื่องดื่มข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการงอกมีกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและแอลฟา-กลูโคซิเดสสูงที่สุด (ร้อยละ 10.31 และ 36.14) (ตารางที่ 3)

## 3. การศึกษาการอยู่รอดของ *Lactobacillus acidophilus* ในเครื่องดื่มข้าวโพรไบโอติก

เครื่องดื่มข้าวโพรไบโอติกทุกชนิดที่เวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าพีเอชใกล้เคียงกัน (pH 6.15 - 6.75) พบว่า หลังการเก็บรักษาครบ 7 วัน เครื่องดื่มข้าวส่วนใหญ่มีการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* น้อยกว่าร้อยละ 50 ยกเว้นเครื่องดื่มข้าวกล้องสีม่วงที่ผ่านการทำให้งอกมีการรอดชีวิตสูงกว่าร้อยละ 50 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเครื่องดื่มข้าวกล้องทุกชนิดมีปริมาณการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* ลดลงสัมพันธ์กับค่าพีเอชที่ลดลง โดยที่เวลา 14 วันของการเก็บรักษาเครื่องดื่มข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการงอกมีค่าพีเอชลดลงต่ำสุดคือ 3.55 แต่มีปริมาณการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* อยู่ที่ร้อยละ 40.59 ซึ่งสูงกว่าเครื่องดื่มชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านเบาหวานของเครื่องดื่มข้าวโพบโอติก

ชนิดของเครื่องดื่มข้าว	Antioxidant activity FRAP assay (mmol Fe (II)/ beverage) <sup>z</sup> ±SD	Diabetes inhibition		Total Phenolic content (mgGAE/ 100 ml beverage) <sup>z</sup> ±SD	
		α-amylase Inhibition (%) <sup>z</sup> ±SD	α-glucosidase inhibition (%) <sup>z</sup> ±SD		
น้ำนมข้าวกล้องสีมั่ว	- งอก	0.20±0.004 <sup>a</sup>	2.05±0.10 <sup>a</sup>	29.69±0.07 <sup>a</sup>	915.93±3.21 <sup>a</sup>
	- ไม่งอก	0.22±0.001 <sup>b</sup>	2.36±0.11 <sup>b</sup>	24.95±0.10 <sup>b</sup>	812.22±5.56 <sup>b</sup>
น้ำนมข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	- งอก	0.03±0.001 <sup>a</sup>	10.31±0.19 <sup>a</sup>	36.14±0.04 <sup>a</sup>	452.96±3.21 <sup>a</sup>
	- ไม่งอก	0.14±0.002 <sup>b</sup>	3.60±0.20 <sup>b</sup>	26.07±0.16 <sup>b</sup>	652.96±3.21 <sup>b</sup>
BHT		0.09±0.003 <sup>c</sup>	-	-	-
Acarbose		-	71.92±0.24 <sup>c</sup>	57.59±0.12 <sup>c</sup>	-

<sup>z</sup> ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ซ้ำ  
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวที่อยู่ในคอลัมเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4 การอยู่รอดของ *Lactobacillus acidophilus* และค่าความเป็นกรดต่างของเครื่องดื่มข้าวโพบโอติก

ชนิดของธัญพืช		ระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (วัน)		
		0	7	14
<b>การรอดชีวิต (ร้อยละ)</b>				
ข้าวกล้องสีมั่ว	- งอก	100±0.00 <sup>a</sup>	52.03±7.52 <sup>a</sup>	38.70±12.51 <sup>a</sup>
	- ไม่งอก	100±0.00 <sup>a</sup>	38.77±15.73 <sup>ab</sup>	25.87±11.43 <sup>ab</sup>
ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	- งอก	100±0.00 <sup>a</sup>	33.90±9.83 <sup>ab</sup>	28.11±2.92 <sup>ab</sup>
	- ไม่งอก	100±0.00 <sup>a</sup>	45.40±6.36 <sup>ab</sup>	40.59±6.71 <sup>a</sup>
<b>ค่าพีเอช</b>				
ข้าวกล้องสีมั่ว	- งอก	6.15±0.07 <sup>b</sup>	4.56±0.23 <sup>c</sup>	3.69±0.32 <sup>d</sup>
	- ไม่งอก	6.44±0.25 <sup>ab</sup>	4.60±0.42 <sup>b</sup> <sup>c</sup>	3.76±0.43 <sup>d</sup>
ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	- งอก	6.75±0.14 <sup>ab</sup>	5.18±0.11 <sup>b</sup>	4.61±0.24 <sup>c</sup>
	- ไม่งอก	6.40±0.24 <sup>ab</sup>	4.21±0.12 <sup>c</sup>	3.55±0.27 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ซ้ำ  
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวที่อยู่ในคอลัมเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองครั้งนี้ การที่ *L. acidophilus* รอดชีวิตในเครื่องต้มข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะในเครื่องต้มข้าวที่ผลิตมีปริมาณสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ที่ค่อนข้างสูง ซึ่งสารนี้อาจมีส่วนช่วยส่งเสริมการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ [38] ที่ได้ศึกษาการรอดชีวิตของแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียโพรไบโอติกในสารสกัดจากข้าวมอลต์ ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 วัน พบว่าสารสกัดจากธัญพืชมีผลต่อการรอดชีวิตของ *L. plantarum* โดยเซลล์ของแบคทีเรียชนิดนี้อยู่รอดได้ในสารสกัดจากข้าวมอลต์ดีกว่าในสารสกัดจากข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี นอกจากนี้มีรายงานว่า สารสกัดจากธัญพืชสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus* สายพันธุ์ที่แยกได้จากมนุษย์ ให้มีจำนวนในช่วง 8 และ 10 log CFU ต่อมิลลิลิตร [39] การที่แบคทีเรียโพรไบโอติกมีจำนวนลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [37] ได้กล่าวว่ามีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการอยู่รอดของโพรไบโอติก เช่น ส่วนประกอบของอาหาร ชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์ สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (อุณหภูมิการเก็บรักษา ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณออกซิเจนและการสัมผัสกับแสง) สำหรับเครื่องต้มข้าวในการทดลองนี้คาดว่าปริมาณออกซิเจนและค่าพีเอชของเครื่องต้มข้าวน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้ *L. acidophilus* มีจำนวนลดลง อย่างไรก็ตามเครื่องต้มธัญพืชที่ผลิตขึ้น หากผู้บริโภคมีน้ำจะทำให้ผลดีต่อสุขภาพเนื่องจากมีจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกสูงถึง  $10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากการรายงานของ [40] แบคทีเรียโพรไบโอติกมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดอันตราย กระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยในการย่อยและดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งมีการสังเคราะห์วิตามิน

## สรุปผล

สารสกัดจากข้าวกล้องสีม่วงที่ไม่ผ่านการงอกมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมการต้านเบาหวานสูงโดยเฉพาะการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส รองลงมาเป็นข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการงอก สารสกัดจากธัญพืชที่ผ่านการงอกมีกิจกรรมการยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส สูงกว่าชนิดที่ไม่ผ่านการงอกโดยเฉพาะข้าวกล้องแดงมีกิจกรรมนี้สูงที่สุด นอกจากนี้พบว่าข้าวกล้องลินทิลิกที่ไม่ผ่านการงอกและข้าวกล้องสีม่วงที่ผ่านการงอกมีปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทนต่อการย่อยสูงมาก เครื่องต้มข้าวที่มีจำนวน *L. acidophilus* รอดชีวิตปริมาณสูงสุดหลังจากการเก็บรักษา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้แก่ เครื่องต้มข้าวกล้องสีม่วงที่ผ่านการงอกโดยมีปริมาณสูงถึง  $5.20 \times 10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ถึงแม้ว่าจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตจะลดลงบ้างในระหว่างการเก็บรักษาแต่จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตรอดนี้ ยังคงมีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้เกิดผลดีต่อสุขภาพ

## References

- [1] Gunaratne, A., Wu, K., Li, D., Bentota, A., Corke, H., and Cai, Y. -Z. (2013). Antioxidant Activity and Nutritional Quality of Traditional Red-Grained Rice Varieties Containing Proanthocyanidins. **Food Chemistry**. Vol. 138, Issue 2-3, pp. 1153-1161. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.11.129
- [2] Zhang, H., Shao, Y., Bao, J., and Beta, T. (2015). Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Breeding Lines between the White and Black Rice. **Food Chemistry**. Vol. 172, pp. 630-639. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.118
- [3] Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S., and Wanavijitr, A. (2011). Chemopreventive Properties of the Bran Extracted from a Newly-Developed Thai rice: The *riceberry*. **Food Chemistry**. Vol. 125, Issue 3, pp. 978-985. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.09.093
- [4] Xu, Z. (2012). Important Antioxidant Phytochemicals in Agricultural Food Products. **Analysis of Antioxidant-Rich Phytochemicals**. Z. Xu, and L. R. Howard, eds. pp. 1-24. Singapore: Markono Print Media Pte Ltd.
- [5] Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., and Kalayci, O. (2012). Oxidative Stress and Antioxidant Defense. **World Allergy Organization Journal**. Vol. 5, Issue 1, pp. 9-19. DOI: 10.1097/WOX.0b013e3182439613
- [6] Keshari, A. K., Verma, A. K., Kumar, T., and Srivastava, R. (2015). Oxidative Stress: A Review. **The International Journal of Science & Technoledge**. Vol 3, Issue 7, pp. 155-162
- [7] Taylor, S. I. (1999). Deconstructing Type 2 Diabetes. **Cell**. Vol. 97, Issue 1, pp. 9-12. DOI: 10.1016/S0092-8674(00)80709-6
- [8] Frayn, K. N. (2013). **Metabolic Regulation a Human Perspective**. (3<sup>rd</sup> ed.) New Delhi: Wiley-Blackwell
- [9] Ademiluyi, A. O. and Oboh, G. (2013). Soybean Phenolic-Rich Extracts Inhibit Key Enzymes Linked to Type 2 Diabetes ( $\alpha$ -Amylase and  $\alpha$ -Glucosidase) and Hypertension (Angiotensin I Converting Enzyme) *in vitro*. **Experimental and Toxicologic Pathology**. Vol. 65, Issue 3, pp. 305-309. DOI: 10.1016/j.etp.2011.09.005
- [10] Vernazza, C. V., Rabiou, B. A., and Gibson, G. R. (2006). Human Colonic Microbiology and the Role of Dietary Intervention: Introduction to Prebiotics: **Prebiotics Development & Application**. G. R. Gibson and R. A. Rastall, eds. pp. 1-28. New Delhi: Thomson press.
- [11] Al-Sheraji, S. H., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M. and Hassan, F. A. (2013). Prebiotics as Functional Food: A Review. **Journal of Functional Foods**. Vol. 5, Issue 4, pp. 1542-1553. DOI: 10.1016/j.jff.2013.08.009

- [12] Ziemer, C. J. and Gibson, G. R. (1998). An Overview of Probiotics, Prebiotics and Synbiotics in the Functional Food Concept: Perspectives and Future Strategies. **International Dairy Journal**. Vol. 8, Issue 5-6, pp. 473-479. DOI: 10.1016/S0958-6946(98)00071-5
- [13] Pradeep, P. M. and Sreerama, Y. N. (2015). Impact of Processing on the Phenolic Profiles of Small Millets: Evaluation of their Antioxidant and Enzyme Inhibitory Properties Associated with Hyperglycemia. **Food Chemistry**. Vol. 169, pp. 455-463. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.010
- [14] Lado, C., Then, M., Varga, I., Szöke, É., and Szentmihályi, K. (2004). Antioxidant Property of Volatile Oils Determined by the Ferric Reducing Ability. **Zeitschrift für Naturforschung C**. Vol. 59, Issue 5-6, pp. 354-358. DOI: 10.1515/znc-2004-5-611
- [15] Zhou, Z., Chen, X., Zhang, M., and Blanchard, C. (2014). Phenolics, Flavonoids, Proanthocyanidin and Antioxidant Activity of Brown Rice with different Pericarp Colors following Storage. **Journal of Stored Products Research**. Vol. 59, pp. 120-125. DOI: 10.1016/j.jspr.2014.06.009
- [16] Sancheti, S., Sancheti, S., and Seo, S. -Y. (2013). Antidiabetic and Antiacetylcholinesterase Effects of Ethyl Acetate Fraction of *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne Fruits in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. **Experimental and Toxicologic Pathology**. Vol. 65, Issue 1-2, pp. 55-60. DOI: 10.1016/j.etp.2011.05.010
- [17] Loizzo, M. R., Saab, A. M., Tundis, R., Menichini, F., Bonesi, M., Piccolo, V., Statti, G. A., Cindio, B. D., Houghton, P. J., and Menichini, F. (2008). *In vitro* Inhibitory Activities of Plants Used in Lebanon Traditional Medicine against Angiotensin Converting Enzyme (ACE) and Digestive Enzymes Related to Diabetes. **Journal of Ethnopharmacology**. Vol. 119, Issue 1, pp. 109-116. DOI: 10.1016/j.jep.2008.06.003
- [18] Kim, G. N., Shin, J. G., and Jang, H. D. (2009). Antioxidant and Antidiabetic Activity of *Dangyuja* (*Citrus grandis* Osbeck) Extract Treated with *Aspergillus saitoi*. **Food Chemistry**. Vol. 117, Issue 1, pp. 35-41. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.03.072
- [19] Wichienchot, S., Thammarutwasik, P., Jongjareonrak, A., Chansuwan, W., Hmadhlu, P., Hongpattarakere, T., Itharat, A., and Ooraikul, B. (2011). Extraction and Analysis of Prebiotics from Selected Plants from Southern Thailand. **Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST)**. Vol. 33, Issue 5, pp. 517-523
- [20] Korakli, M., Gänzle, M. G., and Vogel, R. F. (2002). Metabolism by Bifidobacteria and Lactic Acid Bacteria of Polysaccharides from Wheat and Rye, and Exopolysaccharides Produced by *Lactobacillus sanfranciscensis*. **Journal of Applied Microbiology**. Vol. 92, Issue 5, pp. 958-965. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2002.01607.x
- [21] Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**. Vol. 31, Issue 3, pp. 426-428. DOI: 10.1021/ac60147a030
- [22] Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., and Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**. Vol. 28, Issue 3, pp. 350-356. DOI: 10.1021/ac60111a017

- [23] Manojai, K. (2014). Leum Pua Rice: Crispy, Seasoned Ready-to-Eat Rice. **Technology Chaoban**. Vol. 570, Issue 1, pp. 112-113. (In Thai)
- [24] Noenplab, A., Na Lumpang Noenplab, A., Watjanaphum, P., and Suksuem, P. (2010). Leum Pua, a Glutinous Rice Variety: Genetic Conservation for Nutritional Value. **Proceedings of the 4<sup>th</sup> Tropical Sub-Tropical Crops Research Symposium**. July 22-23, 2010, Bangkok, Thailand. (In Thai)
- [25] Chunvijitra, W. (2014). Riceberry. **Kasetsart Extension Journal**. Vol. 59, Issue 3, pp. 25-35. (In Thai)
- [26] Klaltoon, P. (2012). Leum Pua Rice: High Nutritional Value and Outstanding Rice of Khao Kho District, Phetchabun Province. **Kasetthammachart**. Vol. 15, Issue 8, pp. 42-46. (In Thai)
- [27] Banterng, P. (2008). Black Glutinous Rice. **Technology Chaoban**. Vol. 20, Issue 423, pp. 71-72. (In Thai)
- [28] Chen, Y. -F., Shibu, M. A., Fan, M. -J., Chen, M. -C., Viswanadha, V. P., Lin, Y. -L., Lai, C. -H., Lin, K. -H., Ho, T. -J., Kuo, W. -W., and Huang, C. -Y. (2016). Purple Rice Anthocyanin Extract Protects Cardiac Function in STZ-Induced Diabetes Rat Hearts by Inhibiting Cardiac Hypertrophy and Fibrosis. **The Journal of Nutritional Biochemistry**. Vol. 31, pp. 98-105. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2015.12.020
- [29] Jayaprakasam, B., Vareed, S. K., Olson, L. K., and Nair, M. G. (2005). Insulin Secretion by Bioactive Anthocyanins and Anthocyanidins Present in Fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Vol. 53, Issue 1, pp. 28-31. DOI: 10.1021/jf049018+
- [30] Hengsawad, D. (2014). Antidiabetic Rice: Food of Your Choice. **Food Journal**. Vol. 44, Issue 2, pp. 15-18. (In Thai)
- [31] Tungtrakul, P. (2008). Germinated Brown Rice with high GABA. **Kasetthammachart**. Vol. 11, Issue 12, pp. 33-37. (In Thai)
- [32] Sinchaisri, P. (2008). Rice Bran and Rice Germ for Health and Beauty. **Science Journal**. Vol. 62, Issue 3, pp. 37-39. (In Thai)
- [33] Posuwan, J., Prangthip, P., Leardkamolkan, V., Yamborisut, U., Surasiang, R., Charoensiri, R., and Kongkachuichai, R. (2013). Long-Term Supplementation of High Pigmented Rice Bran Oil (*Oryza sativa* L.) on Amelioration of Oxidative Stress and Histological Changes in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats Fed a High Fat Diet; Riceberry Bran Oil. **Food Chemistry**. Vol. 138, Issue 1, pp. 501-508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.09.144
- [34] Shori, A. B. (2016). Influence of Food Matrix on the Viability of Probiotic Bacteria: A Review based on Dairy and Non-Dairy Beverages. **Food Bioscience**. Vol. 13, pp. 1-8. DOI: 10.1016/j.fbio.2015.11.001
- [35] Mudgil, D. and Barak, S. (2013). Composition, Properties and Health Benefits of Indigestible Carbohydrate Polymers as Dietary Fiber: A Review. **International Journal of Biological Macromolecules**. Vol. 61, pp. 1-6. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044

- [36] Tamime, A. Y., Saarela, M., Søndergaard, A. K., Mistry, V. V., and Shah, N. P. (2005). Production and Maintenance of Viability of Probiotic Microorganisms in Dairy Product. **Probiotic Dairy Product**. A. Y. Tamime, ed., pp. 39-72. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- [37] Tripathi, M. K. and Giri, S. K. (2014). Probiotic Functional Foods: Survival of Probiotics During Processing and Storage. **Journal of Functional Foods**. Vol. 9, pp. 225-241. DOI: 10.1016/j.jff.2014.04.030
- [38] Charalampopoulos, D. and Pandiella, S. S. (2010). Survival of Human Derived *Lactobacillus plantarum* in Fermented Cereal Extracts during Refrigerated Storage. **LWT - Food Science and Technology**. Vol. 43, Issue 3, pp. 431-435. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.09.006
- [39] Angelov, A., Gotcheva, V., Kuncheva, R., and Hristozova, T. (2006). Development of a New Oat-based Probiotic Drink. **International Journal of Food Microbiology**. Vol. 112, Issue 1, pp. 75-80. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2006.05.015
- [40] Gibson, G. R. and Roberfroid, M. B. (1995). Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. **The Journal of Nutrition**. Vol. 125, Issue 6, pp. 1401-1412. DOI: 10.1093/jn/125.6.1401

# ผลของด่างต่อการตกตะกอน และค่า pH ของน้ำสีสกัดจากใบโหมกพวง

## Effects of Alkalis on Sedimentation and pH of the Colored Water Extracted from Water Jasmine Leaves

ศรายุทธ ใจงามดี<sup>1</sup> ศรันยา เพ็ชรพ้อง<sup>2\*</sup> วัลลภ อารีรบ<sup>3</sup> รัตนพล มงคลรัตนาสิต<sup>3</sup> และอภิชาติ สนธิสมบัติ<sup>4</sup>  
Sarayut Jaingamdee<sup>1</sup> Sarunya Puakpong<sup>2\*</sup> Wallop Arirop<sup>3</sup>  
Rattanaphol Mongkhorrattanasit<sup>3</sup> and Apichart Sonthisombat<sup>4</sup>

Received: January 22, 2021; Revised: June 1, 2021; Accepted: June 2, 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของด่างต่อการตกตะกอน และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำสีจากใบโหมกพวง ที่ใช้วิธีการสกัดเย็น อัตราส่วนใบโหมกพวง 1:5 (w/v) แช่ทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องนาน 72 ชั่วโมง พบว่า น้ำสีจากใบโหมกพวงสกัดเย็นมีสีเขียว-น้ำเงินไม่มีตะกอน และมีค่า pH อยู่ที่ 4.8 จากนั้นเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ปูนแดง ปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนต ที่อัตราส่วน 1:25 (w/v) คนให้สารละลายเข้ากันกับน้ำสีสกัดเย็นจากใบโหมกพวง คั่งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อสีตกตะกอน และนำตะกอนที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ชนิดของสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันมีผลต่อการเกิดตะกอนสี และค่า pH จากน้ำสีสกัดใบโหมกพวงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยลักษณะ และน้ำหนักตะกอนของปูนแดงจะมีลักษณะเป็นโคลนสีน้ำเงินเข้ม ตะกอนของปูนขาวจะมีลักษณะเป็นเนื้อทรายหยาบสีฟ้า มีค่าน้ำหนักตะกอนอยู่ที่ 61.3 และ 25.3 กรัม ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตไม่พบการตกตะกอนแต่น้ำสีมีความเข้มข้น สำหรับผลของการเติมด่างต่อค่า pH พบว่า การเติมปูนแดงทำให้ตะกอนสีมีค่า pH สูงที่สุดอยู่ที่ 11.5 รองลงมาคือ น้ำสีจากโซเดียมคาร์บอเนต มีค่า pH อยู่ที่ 9.8 และตะกอนสีจากปูนขาวมีค่า pH อยู่ที่ 5.4

คำสำคัญ : การสกัดสี; สีธรรมชาติ; ต้นโหมกพวง; ค่าความเป็นกรด-ด่าง

<sup>1</sup> คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

<sup>3</sup> คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>4</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>1</sup> Faculty of Agriculture Kasetsart University Bangkok

<sup>2</sup> Faculty of Science, Kasetsart University Bangkok

<sup>3</sup> Faculty of Textile and Fashion Design Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

<sup>4</sup> Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi

\* Corresponding Author E - mail Address: sarunya.p@gmail.com

## Abstract

This research aimed to study the effect of alkaline type on the precipitation of color extracted from Water Jasmine leaves by using cold extraction method. The ratio of Water Jasmine leaves: water was 1:5 (weight/volume, w/v), soaked at room temperature for 72 hours. The results were found that the color of extracted solution from Water Jasmine leaves was green-blue color and the pH value was 4.8. The wavelength of maximum absorbance ( $\lambda_{max}$ ) was 510 nanometer. The color of The three different kind of alkaline substances: red lime, lime and sodium carbonate were added in the extracted solution at a ratio of alkaline agent: Water jasmine extracted solution was 1:10 (w / v) then stir the solution together with the extracted solution from the Water Jasmine leaves. Leave it at room temperature for 24 hours for the solution to be precipitated. Weigh the resulting sludge and measure the pH value. It was found that different type of alkaline substances had significantly different effect on 0.05. The formation of colored sludge and pH value of solution extracted from the Water Jasmine leaves, characteristic and weight of sludge obtained from different alkaline substances. The sludge of red lime looks like a dark blue mud. Lime sediments are characterized by a bluish sandy texture. The sediment weight was 61.3 and 25.3 grams, and sodium carbonate had no precipitation formed, but the colored solution was darker. The results of the three different kind of alkaline substances on solution extracted from the Water Jasmine leaves were found that the addition of red lime had the highest pH, followed by sodium carbonate and lime with a pH of 11.5, 9.8 and 5.4 respectively.

**Keywords:** Natural Color Extraction; Natural Blue Color; Water Jasmine; pH Value

## บทนำ

สีธรรมชาติเป็นองค์ความรู้ของมนุษย์ที่ถ่ายทอดมาแต่โบราณ ลักษณะของสีธรรมชาติจะเป็นสีไม่ฉูดฉาด ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคการย้อมและการสกัดให้มีคุณภาพของสีที่สูงขึ้น เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค วัสดุที่ให้สีธรรมชาติสามารถสกัดได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ [1] สีธรรมชาติที่ใช้โดยส่วนใหญ่ได้มาจากพืช ซึ่งได้มาจากส่วนต่าง ๆ เช่น ราก แก่น เปลือก ใบ ดอก และผล พืชแต่ละชนิดจะให้สีที่แตกต่างกัน เช่น เปลือกของลำต้นมะขูด ใบเพกา หัวขมิ้น ดอกคำฝอย แก่นแกล และดอกดาวเรืองให้สีเหลือง ผลมะเกลือ และผลสมอให้สีดำ แก่นฝาง รากยอ รากเข็มให้สีแดง คราม ย้อม ให้สีน้ำเงิน เป็นต้น [2] การย้อมผ้าไหม ด้วยสีสังเคราะห์เป็นวิธีการที่สะดวกและไม่ยุ่งยาก แต่เมื่อมีกระแสของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทำให้ชาวบ้านหันกลับมาใช้สีย้อมจากธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งสีธรรมชาติกลุ่มสีน้ำเงินเป็นสีหนึ่งที่มีความนิยมในการนำมาย้อมผ้า ในปัจจุบันพืชที่ให้สีย้อมสีน้ำเงินนั้นยังคงมีปริมาณน้อย อีกทั้งยังต้องรอเก็บเกี่ยวพืชตามฤดูกาล ทำให้การสกัดสีน้ำเงินนั้นทำได้กับพืชเฉพาะกลุ่มคือ คราม (*Indigofera tinctoria L.*) และย้อม

(*Strobilanthes cusia* Nees Kuntze.) แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาพบว่า พืชกลุ่ม (*Wrightia religiosa* Benth. Ex Kurz) ในตระกูลของ Apocynaceae บางชนิดให้สีน้ำเงินได้ [3] พบว่า ใบของ ต้นโมกพวงมีส่วนประกอบของสารที่ให้สีน้ำเงินอย่างอินดอกซิล กลัยโคไซด์ (Indoxyl Glycosides) [4] เป็นองค์ประกอบเดียวกันกับสารสีน้ำเงินที่พบในพืชคราม ซึ่งการเกิดสีน้ำเงินจากคราม สาร Indoxyl Glycosides เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ก่อนการนำไปย้อมต้องทำปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) เพื่อให้สาร Indoxyl Glycosides ละลายน้ำ การปฏิกิริยารีดักชันต้องทำในสภาวะที่มีค่า pH สูง สีน้ำเงินที่ย้อมลงบนพื้นผ้าถึงจะมีสีเข้ม [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติในกลุ่มสีน้ำเงินจากใบโมกพวง โดยศึกษาวิธีการสกัดสีธรรมชาติจากใบโมกพวง โดยการอ้างอิงวิธีการสกัดสีน้ำเงินจากคราม [6] โดยใช้สารให้ความเป็นด่าง 3 ชนิด ได้แก่ ปูนแดง ปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อศึกษาปริมาณของเนื้อสี และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ให้เนื้อสีจากใบโมกพวง และศึกษาค่าสีบนผ้าไหมที่ย้อมสีธรรมชาติจากใบโมกพวง โดยใช้สารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงจะให้สีน้ำเงินที่เข้ม [5] และศึกษาความคงทนของสีต่อการซักผ้าไหมที่ย้อมสีธรรมชาติจากใบโมกพวงโดยใช้สารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันหลังจากการซัก พบว่าสีของผ้าไหมที่ย้อมสีธรรมชาติจากใบโมกพวงสามารถย้อมติดสีน้ำเงิน อันจะเป็นต้นแบบหนึ่งในการนำใบโมกพวงมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการสกัดน้ำสีที่ได้จากใบโมกพวงโดยวิธีการสกัดเย็นจากการแช่หมักต่าง 3 ชนิด คือ ปูนแดง ปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนต โดยวิเคราะห์จากค่าความยาวคลื่นแสงที่น้ำสีดูดกลืนได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง และเพื่อศึกษาผลของต่าง 3 ชนิด คือ ปูนแดง ปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนต ที่มีต่อสีสกัดเย็นโดยวิธีการแช่หมักจากใบโมกพวง โดยวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อสี และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของปริมาณเนื้อสีที่ตกตะกอน และค่า pH ของน้ำสีจากใบโมกพวงที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการเคี้ยวต่างชนิดกัน

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วิธีการสกัดสีธรรมชาติจากใบโมกพวงที่ใช้วิธีสกัดเย็นด้วยการแช่หมัก การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง และการประเมินค่าความยาวคลื่นแสงที่น้ำสีดูดกลืนแสงได้มากที่สุด

การสกัดน้ำสีจากใบโมกพวงดัดแปลงวิธีการสกัดน้ำสีจากพืชของ [7] ได้อธิบายวิธีการสกัดน้ำสีจากพืชดังนี้ นำใบโมกพวงสดหนัก 2 กิโลกรัม บรรจุใส่ถังพลาสติกเติมน้ำ 10 ลิตร แช่ทิ้งไว้ 72 ชั่วโมง แยกกากใบโมกพวงออกจะได้นำไปประเมินค่าความยาวคลื่นแสงที่น้ำสีดูดกลืนแสงได้มากที่สุด ( $\lambda_{max}$ ) ด้วยเครื่องวัดค่าสี และความแตกต่างของสี (Spectrophotometer) และประเมินค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ใบโมกพวงแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ใบโหมกพวง

2. วิธีการตกตะกอนสีธรรมชาติจากใบโหมกพวงที่ใช้วิธีสกัดเย็นด้วยการใช้สารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน การหาค่า pH และการหาปริมาณเนื้อสี

เติมสารให้ความเป็นด่าง 3 ชนิด คือปูนแดง ปูนขาว และ โซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อน้ำสีสกัดจากใบโหมกพวง 200 มิลลิลิตร คนจนละลายเข้ากันดี จากนั้นพักสารละลายไว้จนสารละลายตกตะกอน แยกสารละลายใสชั้นบนทิ้ง ซึ่งนำหนักตะกอนที่ได้เพื่อทราบปริมาณตะกอนที่ได้จากใบโหมกพวงโดยการสกัดเย็น วัดค่า pH ก่อนนำไปสู่กระบวนการย้อมสีต่อไป

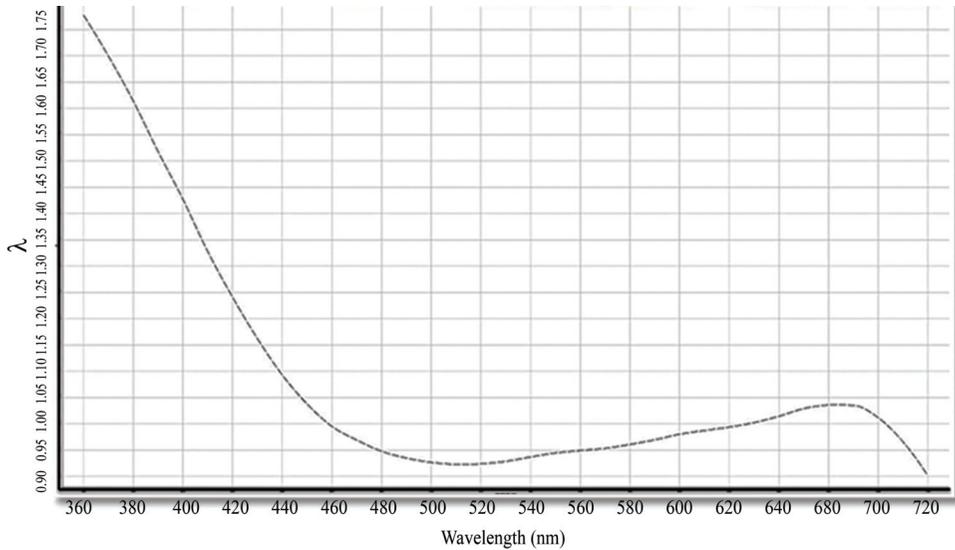
3. วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH และความแปรปรวนของปริมาณตะกอนเนื้อสีที่ได้จากการเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน

นำค่า pH และปริมาณตะกอนเนื้อสีที่ได้จากการเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน ในน้ำสีสกัดจากใบโหมกพวงโดยใช้วิธีการสกัดเย็นโดยการแช่หมัก มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน โดยใช้ค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน One-Way Anova และจำแนกเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

## ผลการทดลอง

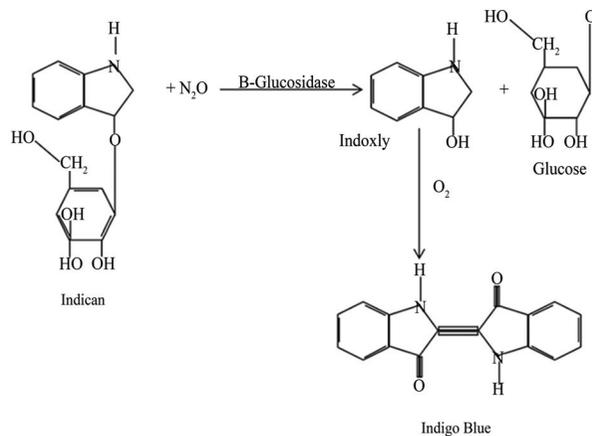
1. ผลการสกัดสีธรรมชาติจากใบโหมกพวงที่ใช้วิธีสกัดเย็นด้วยการแช่หมัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความยาวคลื่นแสงที่น้ำสีดูดกลืนแสงได้มากที่สุด

ผลการศึกษาค่า pH ของน้ำสีสกัดธรรมชาติจากใบโหมกพวงที่ไม่เติมสารและเติมสารให้ความเป็นด่าง พบว่าค่า pH ของน้ำสีที่สกัดจากใบโหมกพวงที่ยังไม่เติมสารให้ความเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย pH อยู่ที่ 4.8 ผลการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงพบว่า การสกัดน้ำสีจากใบโหมกพวงมีค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุด น้ำสีที่ได้มีสีเขียว-น้ำเงิน ( $\lambda_{max}$  510 นาโนเมตร) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 น้ำสีที่สกัดจากใบโมกพวงที่ไม่เติมสารให้ความเป็นด่างมีสีเขียวคล้ำ ( $\lambda_{max}$  510 นาโนเมตร)

จากการศึกษาของ [1], [8] ได้อธิบายกระบวนการสกัดพืชที่ให้สีน้ำเงินว่า การแช่ใบสดพืชที่ให้สีครามในน้ำจะทำให้สารอินดิแคน (Indican) ในพืชซึ่งเป็นสารไม่มีสี และไม่ละลายน้ำถูกไฮโดรไลส์ด้วยเอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดส ( $\beta$ -glucosidase) ที่มีในคลอโรพลาสต์ของเซลล์เมโซฟิลล์ในใบพืช เปลี่ยนเป็นสารอินดอกซิล (Indoxyl) ที่มีสีน้ำตาล และสารอินดอกซิลเมื่อถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศจะทำให้ได้สารสีคราม (Indigo Blue) ที่มีสีน้ำเงิน และไม่ละลายน้ำสำหรับกระบวนการย้อมสีคราม จากการศึกษาของ [9] อธิบายว่า น้ำสีที่ได้จากการสกัดครามให้สีเขียวปนน้ำเงิน ปฏิกริยาการเกิดสารสีเขียวปนน้ำเงินที่ถูกสันนิษฐานว่า คือ อินดิโกบลู (Indigo Blue) การเกิดสีน้ำเงินจากคราม (Indigo Blue) ดังปรากฏในปฏิกิริยา (a) และ (b) ดังรูปที่ 3



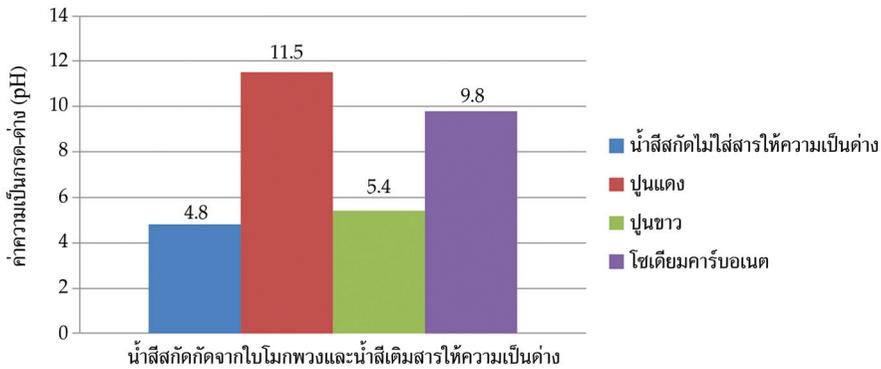
รูปที่ 3 ปฏิกริยาการสกัด เตรียมน้ำย้อม

จากการศึกษากระบวนการย้อมสีครามในประเทศไทยของ [5] ได้อธิบายว่า การเติมปูนแดง ( $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ) ในน้ำครามที่มีสารละลายอินดอกซิล แล้วกวนให้อินดอกซิลสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศเป็นขั้นตอนการแยก Indigo Blue จากน้ำหมักใบของพืชที่ให้สีคราม โดยสารสีน้ำเงินจะจับกับปูนแดงและจมลงก้นถังไว้ 1 คืน จึงรินสารละลายด้านบนทิ้ง เก็บเนื้อตะกอนครามที่มือนุภาคของ Indigo Blue ส่วนงานวิจัยเรื่องการสกัดสีครามของ [6] ได้กล่าวถึงวิธีการใช้ปูนขาวใส่ลงในน้ำหมักที่ได้จากใบครามในอัตราส่วนปูนขาว 20 กรัมต่อน้ำที่ได้จากการหมักใบคราม 1 ลิตร ใช้ตะกร้ากระแทกลงในโถงเพื่อให้เนื้อปูนขาวกับน้ำที่ได้จากการหมักใบครามผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นปล่อยให้เนื้อครามตกตะกอน 2 - 3 วัน ซึ่งจะสังเกตเห็นน้ำเหนือตะกอนเริ่มใส รินน้ำใสที่อยู่เหนือตะกอนทิ้ง จะได้เนื้อครามที่ชั้นเหนียวเหมือนโคลน และจากการศึกษากระบวนการย้อมสีครามบนผ้าฝ้ายของ [10] ได้สรุปว่าการเตรียมเนื้อครามจะใช้ปูนแดงหรือปูนขาวและคืนน้ำครามกับปูนแดง หรือปูนขาว 15 - 30 นาที หลังจากนั้นทิ้งไว้ 1 - 3 วัน เพื่อให้เนื้อครามจมอยู่ด้านล่างแล้วทำการรินของเหลวสีเหลืองสีทิ้งจะได้เนื้อครามสีน้ำเงินเหลวเป็นโคลน สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้กล่าวคือ น้ำสีธรรมชาติจากใบโหมกพวงก่อนการเติมสารให้ความเป็นด่างจะมีลักษณะเป็นสีเขียวคล้ำ เมื่อเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่างที่แตกต่างกันลงไป 3 ชนิด คือ ปูนแดง ปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนตพบว่า การเติมปูนแดงลงไปใต้น้ำสีที่สกัดได้จากใบโหมกพวงแล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เนื้อสีของโหมกพวงจะตกตะกอนอยู่ข้างล่าง น้ำข้างบนจะเป็นน้ำใสสีเหลืองเมื่อรินน้ำสีเหลืองทิ้งจะพบว่าเนื้อสีโหมกพวงเป็นสีน้ำเงินเหลวเป็นโคลน แต่การเติมปูนขาวเพื่อให้เกิดเนื้อสีพบว่า เนื้อสีของโหมกพวงจากการเติมปูนขาวจะเกิดการตกตะกอนของปูนขาวได้สารที่มีลักษณะหยาบสีฟ้า และในการเติมโซเดียมคาร์บอเนตใต้น้ำสีโหมกพวงไม่พบปริมาณของเนื้อสีแต่น้ำสีโหมกพวงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มขึ้น

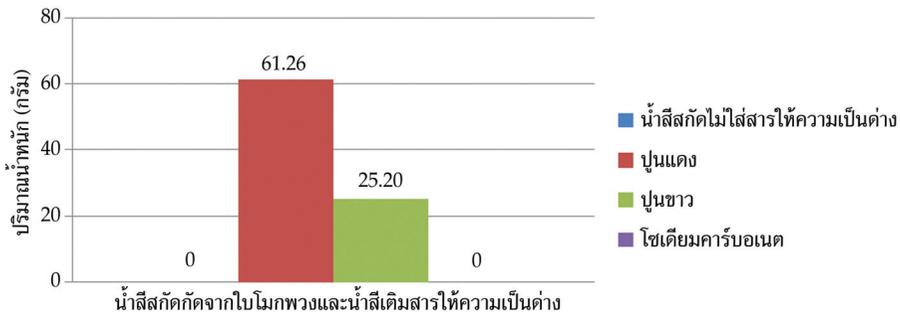
จากลักษณะของการเกิดตะกอนสีของใบโหมกพวงอาจกล่าวได้ว่า สารสกัดจากใบโหมกพวงอาจจะมียอดประกอบที่คล้ายกับองค์ประกอบที่สามารถพบในครามกล่าวคือ มีอินดิแคน หรืออินดอกซิล [11] เนื่องจากเมื่อใช้กระบวนการสกัดแบบเดียวกับการสกัดครามสามารถทำให้เกิดตะกอนสีน้ำเงินซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ [4] ที่วิเคราะห์สาระสำคัญของใบโหมกพวงพบว่า ภายในใบโหมกพวงมีส่วนประกอบของ Indoxyl Glycosides ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่พบได้ในกลุ่ม Indigo ที่ให้สีน้ำเงินในคราม

**2. ผลการตกตะกอนสีธรรมชาติจากใบโหมกพวงที่ใช้วิธีสกัดเย็นด้วยการใช้สารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณเนื้อสี**

เมื่อเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างชนิดกันลงไป ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของค่า pH เพิ่มขึ้น โดยค่า pH สูงที่สุด คือ ปูนแดง โซเดียมคาร์บอเนต และการเติมปูนขาว ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดังนี้ 11.5 9.8 และ 5.4 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4 และปริมาณน้ำหนักของตะกอนน้ำสีสกัดจากใบโหมกพวงที่ไม่เติมสารให้ความเป็นด่าง และเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำที่สกัดจากใบโหมกพวงที่ไม่เติมสารให้ความเป็นด่าง และเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน

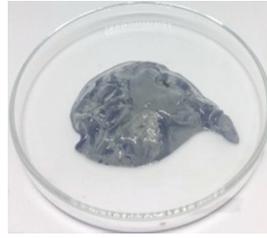


รูปที่ 5 ปริมาณน้ำหนักของตะกอนของน้ำที่สกัดจากใบโหมกพวงที่ไม่เติมสารให้ความเป็นด่าง และเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาปริมาณของตะกอนสีที่ได้จากวิธีสกัดเย็นด้วยการใช้สารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน ใช้อัตราส่วน 20 กรัม ต่อน้ำที่สกัดจากใบโหมกพวง 500 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องพบว่า สารที่ให้ความเป็นด่างที่ต่างชนิดกันให้ปริมาณของตะกอนต่างกัน การเติมปูนแดงมีปริมาณตะกอนมากที่สุด รองลงมาคือ การเติมปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีค่าดังนี้ 61.26 และ 25.20 กรัม และในส่วนของ การเติมโซเดียมคาร์บอเนต และการไม่เติมสารให้ความเป็นด่างพบว่า ไม่มีการตกตะกอนให้เห็นสิ่งไม่ปรากฏค่าบนรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของตะกอน สารละลายน้ำสีพบว่า การเติมโซเดียมคาร์บอเนตทำให้สารละลายน้ำที่สกัดจากใบโหมกพวงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่เติม การเติมปูนแดงมีตะกอนสีน้ำเงินเข้มที่สุด และการเติมปูนขาวมีตะกอนสีขาวอมน้ำเงิน (รูปที่ 6)



(ก) ตะกอนที่ได้จากการเติมปูนแดง



(ข) ตะกอนที่ได้จากการเติมปูนขาว

(ค) น้ำสีสกัดจากใบโหมกพวงที่ไม่เติมสาร  
ให้ความเป็นด่าง(ง) น้ำสีสกัดจากใบโหมกพวง  
ที่เติมโซเดียมคาร์บอเนต

รูปที่ 6 เนื้อสี และน้ำสี ธรรมชาติที่ได้จากใบโหมกพวงที่เติมและไม่เติมสารให้ความเป็นด่าง

### 3. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH และความแปรปรวนของปริมาณตะกอนเนื้อสีที่ได้จากการเติมสารให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของตะกอนของสารที่ให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณของน้ำหนักตะกอนของสารที่ให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แบ่งผลของน้ำหนักออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำสีที่มีส่วนผสมของปูนแดงมีค่าของน้ำหนักตะกอนมากที่สุดอยู่ที่ 61.26 รองลงมาคือ น้ำสีที่มีส่วนผสมของปูนขาวมีค่าของน้ำหนักตะกอนอยู่ที่ 25.20 แต่ในน้ำสีที่เติมโซเดียมคาร์บอเนตให้ความเป็นด่างไม่พบว่ามีปริมาณของตะกอน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักและค่าความเป็นกรด-ด่างของสารที่ให้ความเป็นด่าง

สารให้ความเป็นด่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
ปูนแดง	61.26 <sup>c</sup>	11.23 <sup>c</sup>
ปูนขาว	25.20 <sup>b</sup>	5.36 <sup>a</sup>
โซเดียมคาร์บอเนต	0.0 <sup>a</sup>	9.80 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: a, b, c ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวตั้งมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

จากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของตะกอนของสารที่ให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณของน้ำหนักตะกอนของสารที่ให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แบ่งผลของน้ำหนักออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำสีที่มีส่วนผสมของปูนแดงมีค่าของน้ำหนักตะกอนมากที่สุดอยู่ที่ 61.26 รองลงมาคือ น้ำสีที่มีส่วนผสมของปูนขาวมีค่าของน้ำหนักตะกอนอยู่ที่ 25.20 แต่ในน้ำสีที่เติมโซเดียมคาร์บอเนตให้ความเป็นด่างไม่พบว่า มีปริมาณของตะกอน

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารที่ให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารที่ให้ความเป็นด่างที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แบ่งผลของน้ำหนักออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำสีที่มีส่วนผสมของปูนแดงมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุดอยู่ที่ 11.23 รองลงมาคือ น้ำสีที่เติมโซเดียมคาร์บอเนตให้ความเป็นด่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 9.80 และน้ำสีที่มีส่วนผสมของปูนขาวมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.36 ตามลำดับ

## สรุป

การวิจัยครั้งนี้ใช้กระบวนการสกัดสีจากใบโมกพวงโดยยึดกระบวนการสกัดสีคราม แต่ผลที่ได้พบว่ามี ความแตกต่างกับกระบวนการสกัดสีคราม คือ

1. สีที่สกัดได้จากใบโมกพวงจะให้ตะกอนสีเฉพาะการเติมปูนแดงเท่านั้น ในขณะที่ครามจะให้ ตะกอนสีทั้งจากปูนแดง และปูนขาว
2. น้ำสีที่ได้จากการสกัดใบโมกพวงที่ใช้วิธีการสกัดเย็นโดยการแช่หมัก มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ที่ความยาวคลื่นแสงที่สูงที่สุดที่ 510 นาโนเมตร ทำให้มองเห็นน้ำสีเป็นสีเขียว-น้ำเงิน
3. น้ำสีที่ได้จากการสกัดใบโมกพวงมีค่าเฉลี่ย pH อยู่ที่ 4.8 ก่อนการเติมสารที่ให้ความเป็นด่าง ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ปูนแดง ปูนขาว และโซเดียมคาร์บอเนต ทำให้น้ำสีสกัดจากใบโมกพวงมีค่า pH สูงขึ้น
4. ปูนแดงจะทำให้น้ำสีสกัดจากใบโมกพวงมีค่า pH เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด
5. ต่างต่างชนิดกันมีผลต่อการตกตะกอนแตกต่างกัน ปูนแดง และปูนขาวเท่านั้นที่ทำให้น้ำสีสกัดเย็น โดยวิธีการแช่หมักจากใบโมกพวง โดยเนื้อสีจากปูนแดงที่ตกตะกอนได้ให้สีน้ำเงินเข้มกว่า และ มีความละเอียดกว่าเนื้อสีที่ได้จากปูนขาวอย่างชัดเจน ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตไม่สามารถทำให้น้ำสีสกัดเย็น โดยวิธีการแช่หมักจากใบโมกพวงเกิดการตกตะกอนแต่เปลี่ยนสีจากสีเขียว-น้ำเงินเป็นน้ำเงินที่เข้มขึ้น

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าใบโมกพวงสามารถเป็นวัสดุให้สีธรรมชาติที่ให้สีน้ำเงิน นับเป็นการเพิ่มทางเลือกในการใช้วัสดุให้สีทางธรรมชาติในกลุ่มของสีน้ำเงินจากครามกับฮ่อม เนื่องจาก การให้ตะกอนสีจากปฏิกิริยารีดักชันในลักษณะเดียวกับครามทำให้เห็นแนวโน้มของการนำไปใช้ย้อมสีสิ่งทอได้ โดยอาศัยกระบวนการเดียวกันกับการย้อมสีจากครามและฮ่อม

## References

- [1] Younsook, S., Dong Il ,Y., and Kangwha, K. (2012). Process Balance of Natural Indigo Production Based on Traditional Niram Method. **Textile Coloration and Finishing**. Vol. 24, Issue 4, pp. 253-259. DOI: 10.5764/TCF.2012.24.4.253
- [2] Gokhale, S. B., Taty, A. U., Bakliwal, S. R., and Fursule, R. A. (2004). **Natural Dye Yielding Plants in India**. R.C. Patel College of Pharmacy Shirpur, India
- [3] Meipan, N. (2015). **Silk Dyeing with Natural Dyes from Krachai Dam Rhizome**. Master's Thesis, Kasetsart University
- [4] Saithong, A. (2012). Natural Dyed Indigo Silk. **KKU Science Journal**. Vol. 40, Number 2, pp. 423-435
- [5] Yoshiko, I. W., Rice, M. K., and Barton, J. (1999). **Shibori: The Inventive Art of Japanese Shaped Resist Dyeing**. Tokyo: Kodansha International 277-283
- [6] Mongkolrattanasit, R., Klaijoi, C., ChangMuang, S., Sasitorn, N., ManaRungwit, K., Mahain, K., PhaisanTantiwong, N., Roongruangkitkrai, N., Chamnongkan, T., Wong Phakdi W., and Tiyasri S. (2017). **New Natural Indigo Dyeing Guide on Silk and Cotton Yarns Commercially**. Kor-Hor Company Limited. Bangkok
- [7] Puakpong, S. (2018). **Natural Dyes Technology**. Department of Home Economics. Kasetsart University, Bangkok. (Teaching Document)
- [8] Maugare, T., Enaud, E., Sayette, A. D. L., Choisy P., and Legoy, M. D. (2002). Beta-Glucosidase-Catalyzed Hydrolysis of Indican from Leaves of *Polygonum tinctorium*. **Biotechnology Progress**. Vol. 18, Issue 5, pp. 1104-1108. DOI: 10.1021/bp025540+
- [9] Chantarangsi, K. (2013). **Design of Weaving Structure for Hand-Woven Indigo Dye Fabric**. Case Study Group of Ban Don Koi Indigo-Dyed Weaving Group Phanna Nikhom District Sakon Nakhon. Province Graduate School. Srinakarinwirot University
- [10] Sahakitpichana, P., Chimnoia, N., Srinrocha, C., Ruchirawata, S., and Kanchanapooma, T. (2018). **Benzoxazinoid and Indoxyl Glycosides from Wrightia Religiosa**. Faculty of Pharmaceutical Sciences, Khon Kaen University. Khon Kaen
- [11] Precha, P. (2009). **The Study of Natural Indigo Dyeing Processic on Cotton**. Bachelor of Science Project in Chhemistry. Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

การเลือกปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตร  
ประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์

## Factor Selection for Improving Vocational Certificate Course Selection Model Performance using Wrapper Method

ปวีรรต เพียรภายลูน<sup>1\*</sup> และจारी ทองคำ<sup>1</sup>

Pariwat Pianpailoon<sup>1\*</sup> and Jaree Thongkam<sup>1</sup>

Received: November 8, 2020; Revised: May 5, 2021; Accepted: May 18, 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องข้องในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในงานวิจัยนี้ข้อมูลนักศึกษาที่จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม ตั้งแต่ปีการศึกษา 2555 - 2561 ได้ถูกรวบรวมจำนวน 926 ข้อมูล วิธีแรปเปอร์ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับเทคนิค Random Tree เทคนิค Support Vector Machines และเทคนิค Naive Bayes ในการเลือกปัจจัย เทคนิค Bagging เทคนิค K-Nearest Neighbors เทคนิค Decision Tree C4.5 เทคนิค Random Forest และเทคนิค Artificial Neural ได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองในการวัดประสิทธิภาพการคัดเลือกปัจจัยผู้วิจัยได้ใช้ 10-fold cross validation และวัดด้วยค่าความถูกต้อง ค่าความไว และค่าความจำเพาะ จากการทดลองพบว่าวิธีแรปเปอร์ร่วมกับ Random Tree สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องให้กับแบบจำลองการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพสูงถึงร้อยละ 89.13 ค่าความไวสูงถึงร้อยละ 75.86 และค่าความจำเพาะสูงถึงร้อยละ 92.86

คำสำคัญ: การเลือกปัจจัย; วิธีแรปเปอร์; แบบจำลองการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ; การทำเหมืองข้อมูล

<sup>1</sup> คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

<sup>1</sup> Faculty of Informatics, Mahasarakham University

\* Corresponding Author E - mail Address: ohmeve74@gmail.com

## Abstract

The objective of this research is to relevant select factors for improving of the vocational certificate program selection models of third secondary education students. In this research paper, data were collected from students who graduated with a vocational certificate from the Sarisongkram Industrial Technology College, Nakhon Phanom University. The data are from 2012 - 2018 academic year, total 926 records. Wrapper with the Random Tree and Support Vector Machines and Naive Bayes and were used to select the relevant factors. Technique Bagging technique, K-Nearest neighbors, Decision Tree C4.5 technique, Random Forest technique and Artificial Neural techniques were used to build the prediction models. In order to measure performance of factors, 10-fold cross validation was employed and measured with Accuracy, Sensitivity and Specificity values. The experimental results showed that the wrapper method in combination with Random Tree was able to increase the accuracy of vocational certificate program selection model up to 89.13 %, sensitivity up to 75.86 % and specificity up to 92.86 %.

**Keywords:** Factor Selection; Wrapper Method; Vocational Certificate Program Selection Models; Data Mining

## บทนำ

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) [1] เป็นกระบวนการที่กระทำกับข้อมูลจำนวนมากเพื่อค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในชุดข้อมูลนั้น ในปัจจุบันการทำเหมืองข้อมูลได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภทซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้นำเทคนิคในการทำเหมืองข้อมูลมาใช้ เช่น [2] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคและวิธีการเลือกคุณสมบัติในการทำนายการเรียนรู้ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนอาชีวศึกษา โดยเป็นข้อมูลของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ของสถานศึกษารัฐบาลแห่งหนึ่งในประเทศไทยจำนวน 5,100 ระเบียบ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2550 - 2559 ประกอบด้วย 9 หลักสูตรวิชา และได้ใช้ 3 เทคนิค Decision Tree C4.5, Naive Bayes และ Rule Induction เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยการใช้วิธีการ 10-fold cross validation ซึ่งผลที่ได้เทคนิค Decision Tree C4.5 เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนอาชีวศึกษา [3] ได้ศึกษาตัวแบบพยากรณ์คุณลักษณะความเหมาะสมสำหรับการเลือกสมัครสาขาวิชาเรียนโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์คุณลักษณะความเหมาะสมสำหรับการเลือกสมัครสาขาวิชาเรียนและทำการประเมินตัวแบบพยากรณ์ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และเทคนิคแรนดอมฟอเรส ผลการทดลองพบว่า เทคนิคแรนดอมฟอเรส ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด ปัญหาของการทำเหมืองข้อมูลนั้นสามารถแก้ไขปัญหาด้วยการคัดเลือกปัจจัยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำนายการเป็นสมาชิกกลุ่ม โดยอาศัยข้อมูลตัวอย่างคุณลักษณะบางอย่างที่มีประโยชน์ต่อการทำนายและหากนำคุณลักษณะที่มีจำนวนมากไปใช้

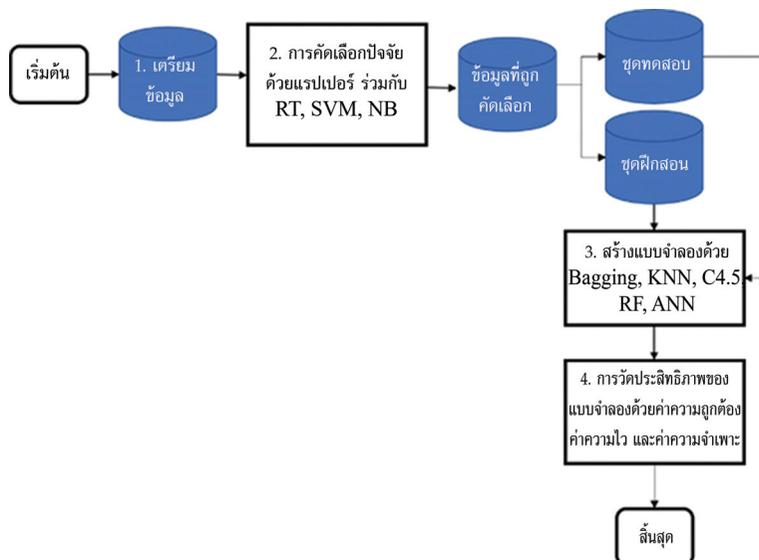
ในการจำแนกอาจจะส่งผลต่อความแม่นยำได้ กระบวนการคัดเลือกปัจจัย [4] การทำเหมืองข้อมูลเหล่านี้จึงเป็นกระบวนการวิเคราะห์เพื่อจำแนกประเภท กำจัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง และข้อมูลที่ซ้ำซ้อนทำให้เพิ่มความแม่นยำในการเรียนรู้เพิ่มความเข้าใจต่อตัวแบบที่ได้ และยังลดเวลาในการเรียนรู้ข้อมูลกระบวนการนี้จึงเรียกว่า การคัดเลือกปัจจัย

การคัดเลือกปัจจัย [5] เป็นขั้นตอนก่อนการสร้างแบบจำลอง ใช้ในการค้นหาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกข้อมูลอัตโนมัติให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีแรปเปอร์ (Wrapper) ซึ่งเป็นหลักการเรียนรู้เพื่อหาเป้าหมายเพื่อคาดคะเนมูลค่าของกลุ่มปัจจัย แล้วนำกลุ่มปัจจัยที่ได้มาคำนวณหาค่าความถูกต้องหลังจากคัดเลือกปัจจัย

ดังนั้นผู้วิจัยได้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาการเลือกปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค Random Tree เทคนิค Support Vector Machines เทคนิค Naive Bayes และทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค K-Nearest Neighbors เทคนิค Decision Tree C4.5 เทคนิค Random Forest (RF) เทคนิค Artificial Neural Networks ทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยหลักการ 10-fold cross validation เพื่อหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความไว (Sensitivity) และค่าความจำเพาะ (Specificity)

## วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยนี้มี 4 ขั้นตอน คือ การเตรียมข้อมูล การคัดเลือกปัจจัย การสร้างแบบจำลอง และการวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

## 1. การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูลเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลนักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาจากทั้ง 5 หลักสูตร ได้แก่ หลักสูตรวิชาช่างยนต์ หลักสูตรวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรวิชาช่างไฟฟ้า หลักสูตรวิชาการบัญชี และหลักสูตรวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม จากปีการศึกษา 2555 - 2561 มีจำนวนนักศึกษา 1,350 คน แสดงจำนวนนักศึกษาได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนนักศึกษา

ลำดับ	หลักสูตร	ปีการศึกษา							จำนวน นักศึกษา
		2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	
1	คอมพิวเตอร์ธุรกิจ	21	29	46	44	40	48	62	290
2	ช่างไฟฟ้า	33	41	40	47	50	48	35	294
3	ช่างยนต์	22	18	16	19	44	48	44	211
4	ช่างอิเล็กทรอนิกส์	36	34	33	40	39	37	36	255
5	บัญชี	44	35	38	39	41	42	61	300
รวม									1,350

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้รวบรวมจากแฟ้มข้อมูลมาใส่ในไฟล์ Excel แล้วทำการคัดกรองข้อมูลที่สามารถนำมาใช้และทำความสะอาดข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่มามีค่าไม่ครบถ้วน จากนั้นทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำเอาไปใช้ในการวิเคราะห์หึงจึงได้ทำการแทนค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เช่น เพศชาย แปลงเป็น 1, เพศหญิงแปลงเป็น 2, รายได้บิดา 150,000 - 300,000/ปี แปลงเป็น 1, น้อยกว่า 150,000/ปี แปลงเป็น 2, มากกว่า 300,000/ปี แปลงเป็น 3, ไม่มีรายได้แปลงเป็น 4, รายได้มารดา 150,000 - 300,000/ปี แปลงเป็น 1, น้อยกว่า 150,000/ปี แปลงเป็น 2, มากกว่า 300,000/ปี แปลงเป็น 3, ไม่มีรายได้แปลงเป็น 4, หลักสูตรคอมพิวเตอร์ธุรกิจ แปลงเป็น 1, หลักสูตรช่างไฟฟ้า แปลงเป็น 2, หลักสูตรช่างยนต์ แปลงเป็น 3, หลักสูตรช่างอิเล็กทรอนิกส์ แปลงเป็น 4, หลักสูตรการบัญชี แปลงเป็น 5 เป็นต้น และทำการเลือกตัวแปรต้นที่เป็นอิสระต่อกันแต่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (คลาส) ได้จำนวนนักศึกษาที่จบการศึกษาและนำไปประมวลผลมีจำนวนทั้งสิ้น 926 ข้อมูล ปัจจัยในงานวิจัยสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปัจจัยแบบ Nominal

ลำดับที่	ชื่อปัจจัย	คำอธิบายปัจจัย
1	Sex	เพศ
2	Fa_occ	อาชีพบิดา
3	Ma_occ	อาชีพมารดา

ตารางที่ 2 ปัจจัยแบบ Nominal (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อปัจจัย	คำอธิบายปัจจัย
4	Fa_income	รายได้บิดา
5	Ma_income	รายได้มารดา
6	GPA	เกรดเฉลี่ยจบ (ปวช.)
7	Class	หลักสูตร

ตารางที่ 3 ปัจจัยแบบ Numeric

ลำดับที่	ชื่อปัจจัย	คำอธิบายปัจจัย	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)
1	Thai	เกรดวิชาภาษาไทย	1.08	40	2.5	0.63
2	English	เกรดวิชาภาษาอังกฤษ	1	4.03	2.09	0.75
3	Science	เกรดวิชาวิทยาศาสตร์	1	4	2.5	0.63
4	Mathematics	เกรดวิชาคณิตศาสตร์	1	6.06	2.22	0.74
5	Social	เกรดวิชาสังคมศึกษา	1	23.8	2.74	1.16
6	Gymnastics	เกรดวิชาพลศึกษา	1.75	4	3.31	0.40

## 2. การคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์

การคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ (Wrapper) [6] เป็นวิธีการลดปัจจัยให้น้อยลงเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เริ่มต้นด้วยชุดข้อมูลที่มีคุณลักษณะแบบเต็มและทำการลบคุณลักษณะที่ดีที่สุด โดยลองเลือกความเป็นไปได้ทั้งหมดและดำเนินการต่อไป ในการเลือกคุณลักษณะของโปรแกรมกระบวนการทำงานของแรปเปอร์นั้นจะรวมตัวแยกประเภทไว้ในรูปการตรวจสอบความถูกต้องโดยจะค้นหาผ่านช่องว่างของคุณลักษณะและใช้ลักษณะนามเพื่อค้นหาชุดคุณลักษณะที่ดีในการค้นหาสามารถไปข้างหน้าถอยหลังหรือแบบสองทิศทาง เริ่มต้นจากส่วนย่อยของตัวนั้น ๆ แรปเปอร์ [7] จะค้นหาคุณลักษณะ  $X_i$  จะเรียกว่ามีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรกลุ่มหรือตัวแปรเป้าหมายอย่างแข็ง ก็ต่อเมื่อการแจกแจงความน่าจะเป็นอย่างมีเงื่อนไขของกลุ่มโดยกำหนดคุณลักษณะทั้งหมดที่เปลี่ยนไปตาม ถ้า  $X_i$  ถูกกำจัด และคุณลักษณะ  $X_i$  จะเรียกว่ามีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวแปรอย่างอ่อน ถ้าการแจกแจงความน่าจะเป็นอย่างมีเงื่อนไขของกลุ่มเมื่อกำหนดเซตย่อยของคุณลักษณะ  $S$  (ซึ่งรวม  $X_i$ ) นั้นเปลี่ยนไปถ้า  $X_i$  ถูกกำจัด คุณลักษณะใดที่ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องอย่างแข็งหรืออ่อน จะเรียกว่าเป็นคุณลักษณะที่ไม่มีความเกี่ยวข้อง ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค Random Tree เทคนิค Support Vector Machines เทคนิค Naive Bayes เข้ามาทำการคัดเลือกปัจจัย

เทคนิค Random Tree (RT) [8] เป็นขั้นตอนวิธีในการสร้างต้นไม้ตัดสินใจโดยมีหลักการสร้างต้นไม้จากการสุ่มต้นไม้หลาย ๆ แบบ ในแต่ละโหนดแล้วเลือกมาประมวลผล โดยไม่ใช้การตัดแต่งกิ่ง Random Tree ทำงานคล้ายกับ C4.5 หรือ CART แต่ Random Tree จะสุ่มเลือกชุดย่อยของแอตทริบิวต์ก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งขนาดของชุดย่อยถูกระบุโดยพารามิเตอร์อัตราส่วนชุดย่อย

เทคนิค Support Vector Machine (SVM) [9] เป็นขั้นตอนวิธีการที่มีความรวดเร็วและเป็นอัลกอริทึมที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาการจำแนกข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูลโดยอาศัยหลักการของการหาสัมผัสประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้โดยเน้นไปยัง เส้นแบ่งแยกแยะกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุดแนวความคิดของเทคนิควิธี SVM นั้นเกิดจากการที่นำค่าของกลุ่มข้อมูลมาวางลงในพีเจอร์สเปซ (Feature Space) ในลักษณะเชิงเส้นจากนั้นจึงหาเส้นที่ใช้แบ่งข้อมูลทั้งสองออกจากกันโดยจะทำการสร้างเส้นแบ่ง (Hyperplane) ที่เป็นเส้นตรงขึ้นมา เพื่อให้ทราบว่า เส้นตรงที่แบ่งกลุ่มสองกลุ่มออกจากกันนั้น เส้นใดเป็นเส้นที่ดีที่สุด

เทคนิค Naive Bayes (NB) [10] เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้หลักการของความน่าจะเป็นในการคัดกรองแต่ละคำตอบ (Class) ซึ่งมีอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อนเป็นขั้นตอนวิธีในการจำแนกข้อมูลโดยการเรียนรู้ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาสร้างเงื่อนไขการจำแนกข้อมูลใหม่เป็นการจำแนกข้อมูลโดยใช้ความน่าจะเป็นและคำนวณการแจกแจงความน่าจะเป็นตามสมมติฐานหลักการของนาอิวเบสที่ใช้การคำนวณหาความน่าจะเป็นซึ่งถูกใช้ในการทำนายผลเป็นวิธีในการแก้ปัญหา แบบการจำแนกที่สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อนไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์ นาอิวเบสเป็นวิธีจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ มีอัลกอริทึมในการทำงานที่ไม่ซับซ้อน เหมาะกับกรณีของเซตตัวอย่างที่มีจำนวนมากและสมบัติ (Attribute) ของตัวอย่างไม่ขึ้นต่อกัน

จากการนำวิธีการแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค Random Tree เทคนิค Support Vector Machines เทคนิค Naive Bayes เมื่อทำการเลือกข้อมูลแล้วสามารถแสดงปัจจัยหลังจากการคัดเลือกได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยหลังจากใช้วิธีแรปเปอร์

Feature Select with Wrapper	Random Tree	Support Vector Machines	Naive Bayes
	เพศ	เพศ	เพศ
	อาชีพบิดา	อาชีพบิดา	อาชีพบิดา
	เกรดวิชาภาษาอังกฤษ	อาชีพมารดา	อาชีพมารดา
	เกรดวิชาวิทยาศาสตร์	เกรดวิชาวิทยาศาสตร์	เกรดเฉลี่ยจบ(ปวช.)
Wrapper Subset Evaluation	เกรดวิชาสังคม	รายได้มารดา	หลักสูตร
	เกรดวิชาพลศึกษา	หลักสูตร	
	รายได้บิดา		
	รายได้มารดา		
	หลักสูตร		

### 3. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองการเลือกปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์ จากการศึกษาปัจจัยการเลือกหลักสูตรของนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม ผู้วิจัยได้นำเทคนิคในการทำเหมืองข้อมูลจำนวน 5 เทคนิคมาสร้างแบบจำลอง ดังนี้

เทคนิค Bagging [11] เป็นการสร้างแบบจำลองออกมาหลาย ๆ แบบจำลองโดยใช้การสุ่มข้อมูลตัวอย่างจากข้อมูลฝึกสอนออกมาเป็นหลาย ๆ ชุดสำหรับวิธีการสุ่มข้อมูลออกมาเป็นวิธีสุ่มแบบแทนที่ (Random with Replacement) หมายความว่าข้อมูลที่เรามียังคงเดิมไม่ได้ลดลงหลังจากการสุ่ม ซึ่งสามารถสุ่มข้อมูลหลาย ๆ รอบเพื่อให้ได้ classifier หลาย ๆ ตัวเวลาทำนายจะใช้ classifier ทุกตัวที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำนายชุดข้อมูลใหม่ที่พบ

เทคนิค K-Nearest Neighbors (KNN) [12] เป็นวิธีการที่จะจำแนกโดยดูว่าคลาสใดที่จะแทนเงื่อนไขหรือกรณีใหม่ ๆ ได้บ้าง โดยการตรวจสอบจำนวนบางจำนวน ("K" ตัว) ของกรณีหรือเงื่อนไขที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยจะหาผลรวมของจำนวนเงื่อนไขสำหรับแต่ละคลาสและกำหนดเงื่อนไขใหม่ ๆ ให้คลาสที่เหมือนกันกับคลาสที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด การนำเทคนิค K-Nearest neighbors ไปใช้นั้น เป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละตัวแปร (Attribute) ในข้อมูลแล้ว หาผลรวมของระยะห่างทั้งหมดแล้วพิจารณาเลือกคำตอบจากจำนวน K ตัว

เทคนิค Decision Tree C4.5 (C4.5) [13] เป็นวิธีหนึ่งที่จะประมาณฟังก์ชันที่มีค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Value Function) ด้วยแผนผังต้นไม้อาจประกอบด้วยเซตของกฎต่าง ๆ แบบถ้า-แล้ว (if-then) เพื่อให้มนุษย์สามารถอ่านแล้วเข้าใจการตัดสินใจของต้นไม้ได้ ข้อดีอย่างหนึ่งของการใช้ Decision Tree คือเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญที่ช่วยแบ่งแยกข้อมูลออกมาได้

เทคนิค Random Forest (RF) [14] เป็นการสร้างตัวแบบจากต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ตัวแบบย่อย ๆ โดยแต่ละตัวแบบจะได้รับชุดข้อมูลที่ไม่เหมือนกัน (Random Sampling) โดยข้อมูลย่อยจะถูกแบ่งออกมาเป็น  $n$  ชุด ที่ไม่เหมือนกันตามจำนวนต้นไม้ตัดสินใจ และจะสร้างตัวแบบเพื่อทำการพยากรณ์คำตอบของตนเองด้วยการโหวต

เทคนิค Artificial Neural Networks (ANN) [15] เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม คือ ความพยายามที่จะลอกเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์เพื่อทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะทั่วไปของโครงข่ายประสาทเทียมคือ การที่โหนด (Node) ต่าง ๆ จำลองมาจากไซแนปส์ (Synapse) ของเซลล์ประสาทระหว่างเดนไดรต์ (Dendrite) และแอกซอน (Axon) โดยมีฟังก์ชันเป็นตัวกำหนดสัญญาณส่งออก (Activation Function or Transfer Function) ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ 1) โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer) ซึ่งจะมีเพียงชั้นสัญญาณประสาทขาเข้าและชั้นสัญญาณประสาทขาออกเท่านั้น เช่น โครงข่ายเพอเซปตรอนอย่างง่าย (Simple Perceptron) และโครงข่ายโฮปฟิลด์ (Hopfield Networks) เป็นต้น และ 2) โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวแต่จะมีชั้นแอบแฝง (Hidden) เพิ่มขึ้น โดยอยู่ส่วนกลางระหว่างชั้นนำข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกทั้งนี้ชั้นแอบแฝงอาจมีมากกว่า 1 ชั้น

#### 4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองเสร็จแล้วนำแบบจำลองมาทดสอบประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการของ 10-fold cross validation [16] โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 กลุ่มเท่า ๆ กัน จากนั้นจะทำการทดสอบทั้งหมด 10 รอบ โดยในแต่ละรอบจะใช้ข้อมูล 1 ชุดเป็นชุดทดสอบและอีก 9 ชุดที่เหลือเป็นชุดฝึกสอนในรอบต่อไปใช้ชุดข้อมูลถัดไปเป็นชุดทดสอบจนครบทั้ง 10 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลทั้งหมด

จำนวน 926 ข้อมูล แบ่งออกเป็น 10 ชุดข้อมูล ซึ่งคิดเป็นอัตราข้อมูลทดสอบต่อข้อมูลฝึกเป็นอัตราส่วน 10:90 แล้วทำการเปรียบเทียบค่าด้วยการจำแนกกลุ่มข้อมูล คือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความไว (Sensitivity) และค่าความจำเพาะ (Specificity) [17]

4.1 ค่าความถูกต้อง (Accuracy) คือ ค่าที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพได้อย่างถูกต้องต่อข้อมูลดั้งสมการที่ (1)

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{1}$$

4.2 ค่าความไว (Sensitivity) คือ ค่าที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพได้อย่างถูกต้องต่อการเลือกหลักสูตรที่เกิดขึ้นจริงดั้งสมการที่ (2)

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \tag{2}$$

4.3 ค่าความจำเพาะ (Specificity) คือ ค่าที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพที่ไม่ได้เลือกหลักสูตรได้อย่างถูกต้องต่อหลักสูตรที่พยากรณ์ว่ามี การเลือกหลักสูตรดั้งสมการที่ (3)

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \tag{3}$$

TP	คือ	จำนวนข้อมูลที่พยากรณ์ถูกต้องอยู่ในคลาสนั้น
TN	คือ	จำนวนข้อมูลที่พยากรณ์ถูกต้องอยู่ในคลาสนั้น
FP	คือ	จำนวนข้อมูลที่พยากรณ์ผิดแต่เป็นข้อมูลที่อยู่ในคลาสนั้น
FN	คือ	จำนวนข้อมูลที่พยากรณ์ผิดแต่ไม่เป็นข้อมูลที่อยู่ในคลาสนั้น

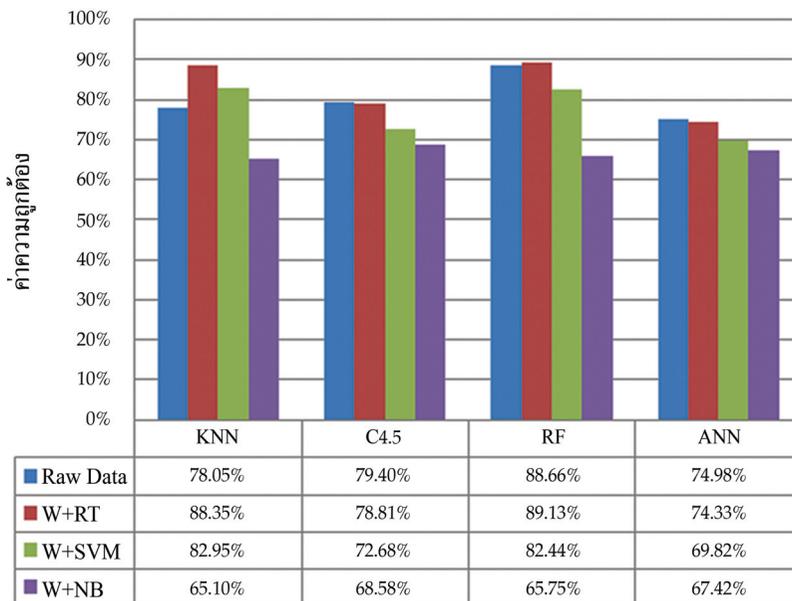
### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค Random Tree (RT) เทคนิค Support Vector Machines (SVM) และเทคนิค Naive Bayes (NB) จากการทดลองโดยทำการแยกข้อมูล ออกเป็น 10 ชุดเท่า ๆ กันนำชุดข้อมูล 9 ชุดมาเป็นชุดฝึกสอน ส่วนชุดที่เหลือเป็นชุดทดสอบ และทำการ ทดสอบจำนวน 10 รอบโดยแต่ละรอบชุดทดสอบจะทดลองไม่ซ้ำกัน ทำให้การทดลองใช้ข้อมูลที่ไม่อยู่ใน ชุดฝึกสอน ในการนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค K-Nearest neighbors (KNN) เทคนิค Decision Tree C4.5 (C4.5) เทคนิค Random Forest (RF) เทคนิค Artificial Neural Networks (ANN) ซึ่งในการทดลองนี้ได้้นำเอาโปรแกรม Weka Version 3.8.4

มาใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบและหาค่าความถูกต้อง ค่าความไว และค่าความจำเพาะของแบบจำลอง การเลือกปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์

1. ผลของค่าความถูกต้อง

ค่าความถูกต้อง คือ ค่าที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลการเลือกหลักสูตรระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพได้อย่างถูกต้อง ในการทดลองนี้แบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรจากข้อมูลดั้งเดิม (Raw Data) และจากข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกปัจจัยด้วยแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB เมื่อนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค RF เทคนิค ANN จากการทดลองสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 2

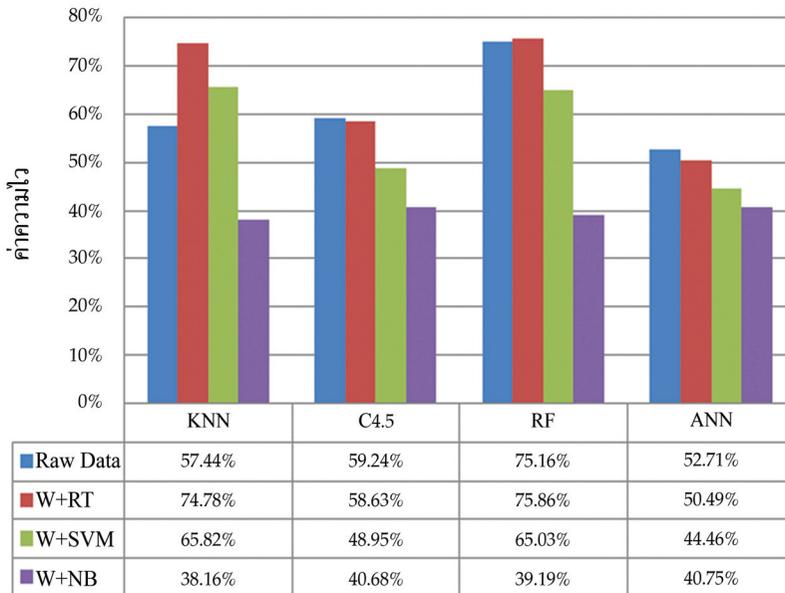


รูปที่ 2 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง

จากรูปที่ 2 แสดงผลค่าความถูกต้องของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตร วิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์ จากข้อมูลดั้งเดิม (Raw Data) และจากข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกปัจจัยด้วย แรปเปอร์ ร่วมกับเทคนิค RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB เมื่อนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้าง แบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค RF เทคนิค ANN จากการ ทดลองพบว่า ค่าความถูกต้องของแบบจำลองหลังการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ ร่วมกับเทคนิค RT สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องเฉลี่ยขึ้นสูงที่สุดเมื่อใช้เทคนิค KNN ในการสร้างแบบจำลองสูงขึ้นไปร้อยละ 10.30 เมื่อวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค SVM สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องเฉลี่ยให้กับแบบจำลองที่สร้าง ด้วยเทคนิค KNN สูงขึ้นเพียงร้อยละ 4.90 แต่อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องสูงที่สุดของแบบจำลอง หลังการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 89.13 เมื่อใช้ เทคนิค RF และค่าความถูกต้องที่ต่ำสุดด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค NB มีค่าต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 65.10 เมื่อใช้เทคนิค KNN

## 2. ผลของค่าความไว

ค่าความไว คือ ค่าที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพได้อย่างถูกต้องต่อการเลือกหลักสูตรที่เกิดขึ้นจริง ในการทดลองนี้แบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรจากข้อมูลดั้งเดิม (Raw Data) และจากข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกปัจจัยด้วยแรปเปอร์ ร่วมกับเทคนิค RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB เมื่อนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค RF เทคนิค ANN จากการทดลองสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 3



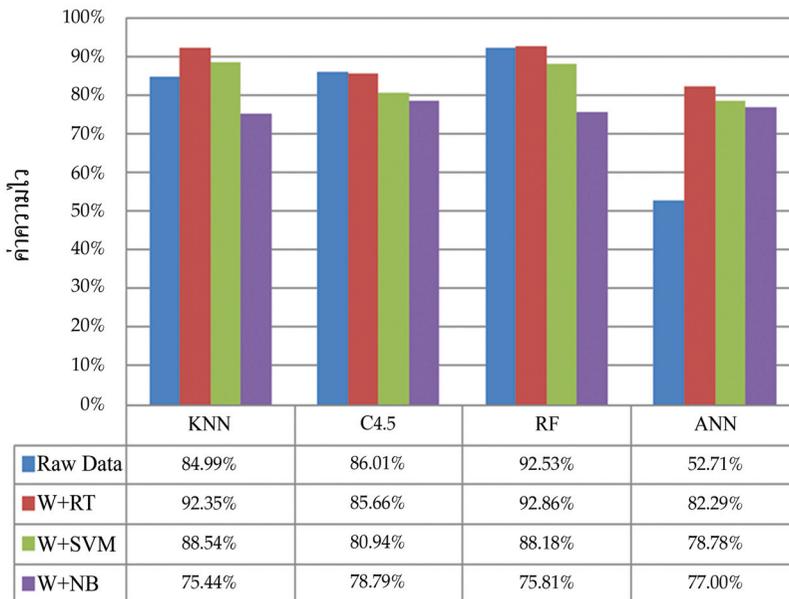
รูปที่ 3 ค่าความไวของแบบจำลอง

จากรูปที่ 3 แสดงผลค่าความไวของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์ จากข้อมูลดั้งเดิม (Raw Data) และจากข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกปัจจัยด้วยแรปเปอร์ ร่วมกับเทคนิค RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB เมื่อนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค RF เทคนิค ANN จากการทดลองพบว่า ค่าความไวของแบบจำลองหลังการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT สามารถเพิ่มค่าความไวเฉลี่ยขึ้นสูงที่สุดเมื่อใช้เทคนิค KNN ในการสร้างแบบจำลองสูงขึ้นไปถึงร้อยละ 15.78 เมื่อวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค SVM สามารถเพิ่มค่าความไวเฉลี่ยให้กับแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิค KNN สูงขึ้นเพียงร้อยละ 8.38 แต่อย่างไรก็ตามค่าความไวสูงที่สุดของแบบจำลองหลังการคัดเลือกปัจจัย ด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT มีค่าความไวเฉลี่ยอยู่ที่ 75.86 เมื่อใช้เทคนิค RF และค่าความไวที่ต่ำสุดด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค NB มีค่าต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 38.16 เมื่อใช้เทคนิค KNN

## 3. ผลของค่าความจำเพาะ

ค่าความจำเพาะ คือ ค่าที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ข้อมูลการเลือกหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพที่ไม่ได้เลือกหลักสูตรได้อย่างถูกต้องต่อหลักสูตรที่พยากรณ์ว่ามีการเลือก

หลักสูตร ในการทดลองนี้แบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรจากข้อมูลดั้งเดิม (Raw Data) และจากข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกปัจจัยด้วยแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB เมื่อนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค RF เทคนิค ANN จากการทดลองสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าความจำเพาะของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4 แสดงผลค่าความจำเพาะของแบบจำลองการคัดเลือกหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพด้วยวิธีแรปเปอร์ จากข้อมูลดั้งเดิม (Raw Data) และจากข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกปัจจัยด้วยแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB เมื่อนำข้อมูลชุดฝึกสอนแต่ละชุดมาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค RF เทคนิค ANN จากการทดลองพบว่า ค่าความจำเพาะของแบบจำลองหลังการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT สามารถเพิ่มค่าความจำเพาะเฉลี่ยขึ้นสูงที่สุดเมื่อใช้เทคนิค ANN ในการสร้างแบบจำลองสูงขึ้นไปร้อยละ 32.58 เมื่อวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค SVM สามารถเพิ่มค่าความจำเพาะเฉลี่ยให้กับแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิค 26.07 สูงขึ้นเพียงร้อยละ 8.38 แต่อย่างไรก็ตามค่าความจำเพาะสูงที่สุดของแบบจำลองหลังการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT มีค่าความจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ 92.86 เมื่อใช้เทคนิค RF และค่าความจำเพาะที่ต่ำสุดด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค NB มีค่าต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 75.44 เมื่อใช้เทคนิค KNN

## สรุปและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้มีการเตรียมข้อมูลเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลนักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาจาก 5 หลักสูตร ประกอบด้วย หลักสูตรวิชาช่างยนต์ หลักสูตรวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรวิชาช่างไฟฟ้า หลักสูตรวิชาการบัญชี และหลักสูตรวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ ของวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม จากปีการศึกษา 2555 - 2561 มีจำนวนนักศึกษา 1,350 คน จากการศึกษาปัจจัยที่ได้จากคัดเลือกหลักสูตรด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับ RT เทคนิค SVM และเทคนิค NB พบว่า

1. วิธีการแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT คัดเลือกปัจจัยได้สูงสุด 9 ปัจจัย (เพศ อาชีพบิดา เกรดวิชาภาษาอังกฤษ เกรดวิชาวิทยาศาสตร์ เกรดวิชาสังคม เกรดวิชาพลศึกษา รายได้บิดา รายได้มารดา และหลักสูตร) ค่าความถูกต้องของแบบจำลองหลังการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีแรปเปอร์ร่วมกับเทคนิค RT สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องเฉลี่ยขึ้นสูงที่สุดเมื่อใช้เทคนิค KNN ในการสร้างแบบจำลองสูงขึ้นไปถึงร้อยละ 10.30 และเพิ่มค่าความไวสูงขึ้นไปร้อยละ 15.78

2. ค่าความถูกต้องสูงที่สุดของแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิค RF มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดที่ 89.13 ค่าความไวสูงถึงร้อยละ 75.86 และค่าความจำเพาะสูงถึงร้อยละ 92.86 ซึ่งดีกว่าด้วยเทคนิค Bagging เทคนิค KNN เทคนิค C4.5 เทคนิค ANN เช่นเดียวกับงานวิจัยของ [18] ที่ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์อาชีพสำหรับนักศึกษาในระดับปริญญาตรี สร้างด้วยเทคนิค RF ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดร้อยละ 84.29

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนมที่ให้ข้อมูลนักศึกษาที่จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

## References

- [1] Hand, D. J., and Adams, N. M. (2014). Data Mining. **Wiley StatsRef: Statistics Reference Online**. pp. 1-7. DOI: 10.1002/9781118445112.stat06466.pub2
- [2] Klachuen, R. and Sanrach, C. (2018). An Efficiency Comparison of Algorithms and Feature Selection Methods to Predict the Learning Achievement of Vocational Students. **RMUTT Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi**. Vol. 17, Issue 1, pp. 1-10
- [3] Wanon, S. M., and Muangsan, R. (2020). A Study and Development of Forecasting Model for the Suitability Characteristics on the Applying Major Selection by Using Data Mining Techniques. **Journal of Management Science Suratthani Rajabhat University**. Vol. 7, No. 1, pp. 135-152
- [4] Kira, K. and Rendell, L. A. (1992). A Practical Approach to Feature Selection. **Machine Learning Proceedings 1992**. pp. 249-256. DOI: 10.1016/B978-1-55860-247-2.50037-1

- [5] Akarachantachote, N. (2016). Feature Selection for High-Dimensional Data in Classification. **Research Methodology and Cognitive Science**. Vol. 8, No. 2, October 2010 - March 2011. pp. 1-13
- [6] Witten, I. H. (2014). **More Data Mining with Weka**. MOOC Course Material, Department of Computer Science University of Waikato New Zealand
- [7] John, G. H., Kohavi, R., and Pfleger, K. (1994). Irrelevant Features and the Subset Selection Problem. **Machine Learning Proceedings 1994**. pp. 121-129. DOI: 10.1016/B978-1-55860-335-6.50023-4
- [8] Aldous, D. (1991). The Continuum Random Tree. I. **The Annals of Probability**. Vol. 19, No. 1, pp. 1-28
- [9] Pinmuang, N. and Thongkam, J. (2018). Classifying Thai Opinions on Online Media Using Text Mining. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University**. Vol. 37, No. 3, pp. 372-379
- [10] Larose, D. T. and Larose, D. T. (2006). **Data Mining Methods and Models**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [11] Breiman, L. (1996). Bagging Predictors. **Machine Learning**. Vol. 24, No. 2, pp. 123-140. DOI: 10.1023/A:1018054314350
- [12] Ertugrul, O. F. and Tagluk, M. E. (2017). A Novel Version of k Nearest Neighbor: Dependent Nearest Neighbor. **Applied Soft Computing**. Vol. 55, pp. 480-490. DOI: 10.1016/j.asoc.2017.02.020
- [13] Jankowski, D. and Jackowski, K. (2014). Evolutionary Algorithm for Decision Tree Induction. In: Saeed K., Snášel V. (eds). **Computer Information Systems and Industrial Management**. CISIM 2015. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8838. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-45237-0\_4
- [14] Breiman, L. (2001). Random Forests. **Machine learning**. Vol. 45, No. 1, pp. 5-32. DOI: 10.1023/A:1010933404324
- [15] Yegnanarayana, B. (2009). **Artificial Neural Networks**. PHI Learning Pvt. Ltd.
- [16] Donrat, P. and Thongkam, J. (2018). The Comparison of Performance Models for Predicting Students Success in Vocation Education. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University**. Vol. 37, No. 3, pp. 380-388
- [17] Baratloo, A., Hosseini, M., Negida, A., and El Ashal, G. (2015). Part 1: Simple Definition and Calculation of Accuracy, Sensitivity and Specificity. **Emergency (Tehran, Iran)**. Vol. 3, No. 2, pp. 48-49
- [18] Wanon, S., Arreerard, T., and Sanrach, C. (2018). A Study of Techniques in Predicting Career Counseling for Undergraduate Students of the Computer Program by Using Data Mining Technique. **Journal of Information Technology Management and Innovation**. Vol. 5, No. 1, pp. 164-171

การสร้างสรรคงานออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน ห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

## Creation of Interior Architecture for Reseach Room at Rajamangala University of Technology Isan

วิไลวรรณ พานทอง<sup>1\*</sup>

Wilaiwan Phanthong<sup>1\*</sup>

Received: January 22, 2021; Revised: May 25, 2021; Accepted: June 1, 2021

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการเรียบเรียงกระบวนการสร้างสรรคงานออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้า ส่วนงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จากประสบการณ์การออกแบบ พื้นที่ดังกล่าว ดำเนินงานโดยจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ สร้างแนวความคิด สร้างทางเลือก งานออกแบบ ผู้สร้างจริง ด้วยการคำนึงถึงการร่วมสร้างสรรคงานออกแบบร่วมกันจากผู้ที่เกี่ยวข้องพบว่า 1) การสร้างสรรคงานตามกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในอย่างเป็นขั้นตอนควบคู่ไปกับการมีส่วนร่วมในการออกแบบจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ทำให้ได้ข้อมูลเฉพาะทางจากผู้ใช้งานจริง ได้ข้อสรุปผลการออกแบบ ในเวลาที่กระชับ ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงคือ การมีระบบการจัดการที่ดี มีความยืดหยุ่นในการทำงานร่วมกับผู้อื่น รับฟังมุมมองที่หลากหลายจากผู้เกี่ยวข้องในทุกฝ่าย มีการสื่อสารให้เป็นที่เข้าใจ เพื่อให้ผลงานบรรลุ วัตถุประสงค์ตามกรอบเวลา และเกิดปฏิสัมพันธ์ที่ดีร่วมกัน 2) ผลงานสร้างสรรค์ มีแนวคิดหลักของโครงการ เป็นสภาพแวดล้อมยุคใหม่เพื่อการเรียนรู้และการทำงานด้านการวิจัย มีสภาวะร่วมมือ ส่งเสริมภาพลักษณ์ องค์กรในเชิงบวก ตอบสนองต่อการใช้งาน และมีความสวยงาม สู่แนวความคิดในการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ ภายใต้แนวคิด โคลแลป โมเดิร์น อินโนเวชั่น เป็นพื้นที่สำหรับการทำงาน การค้นคว้าเรียนรู้ร่วมกัน ด้านงานวิจัย ปฏิบัติการนวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ มีสภาพแวดล้อมทางกายภาพ รูปแบบกึ่งทางการ ทันสมัย จัดผังแบบผสมผสาน มีพื้นที่ทำงานส่วนกลาง กันพื้นที่แบบโปร่งใส ช่วยจัดสรรพื้นที่ใช้งาน เป็นสัดส่วน สร้างความโปร่งโล่งให้พื้นที่ และเป็นการเชื่อมโยงการทำงานร่วมกัน ใช้โทนสีเย็น เพื่อความสบาย เครื่องเรือนไม่เป็นทางการ วัสดุสมัยใหม่พื้นผิวเรียบ ง่ายต่อการทำความสะอาด และทนทาน สภาพแวดล้อมทางจิตวิทยาเน้นบรรยากาศผ่อนคลายให้นำเข้าใช้งาน

คำสำคัญ : สถาปัตยกรรมภายใน; ห้องค้นคว้า; การร่วมสร้างสรรค

<sup>1</sup> คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

<sup>1</sup> Faculty of Fine Arts and Industrial Design, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

\* Corresponding Author E - mail Address: Wilaiwan.ro@rmuti.ac.th

## Abstract

This article is a compilation of the creative process of Interior Architecture for Research Room, Institute of Research and Development at Rajamangala University of Technology Isan. From the experience of designing such areas. Operate by Program Analysis, Create Concept Design, Create design choices to build. With consideration of Co-creation of designs from related parties. Found that: 1) Creation of work according to the interior architecture design process in a step-by-step manner along with co-creation in the design from relevant persons. Resulting in specialized information from real users. Get the conclusion of the design in a timely manner. Factors to consider are to have a good management. Have the flexibility to work with others. Listen to diverse idea from all stakeholders. There is communication to be understood. To achieve the results of the objectives in a time frame. And formed a good relationship together. 2) Creative work. Has the main concept of the project. It is a new learning environment and research working. Have a collaboration. Promote a positive corporate. Responds to use and beautiful. To the concept of creative design is Co-Lab Modern Innovation. A space for work Research and learning together, Innovation lab and creative work. Have a physical environment semi-formal, modern style, mixed layout plan, have a co-working area. Transparent partition helps allocate the usable space in proportion. Creating an open space and link to work together. Use cool color tones for comfort. Casual furniture, modern material, smooth surface easy to clean and durable. The psychological environment emphasizes a relaxing atmosphere that makes it suitable for use.

**Keywords:** Interior Architecture; Research Room; Co-creation

## บทนำ

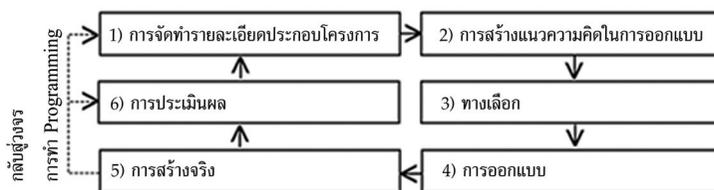
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เป็นหน่วยงานที่ดูแลและสนับสนุน เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ โดยการวิจัย สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรม รวมถึงให้บริการทางวิชาการแก่สังคม [1] มีแนวคิดสร้างห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย กำหนดชื่อเป็น (Think Tank) ภายในพื้นที่ชั้น 1 อาคาร 8 สถาบันวิจัยและพัฒนา ให้เป็นแหล่งค้นคว้าส่วนงานวิจัย ศูนย์เครื่องมือวิจัย ช่วยส่งเสริมพัฒนาบุคลากร ด้านงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ จึงประสานงานสาขาสถาปัตยกรรมภายใน เพื่อสรรค์สร้างงานออกแบบสถาปัตยกรรมภายในพื้นที่ดังกล่าว เป็นศูนย์เครื่องมือวิจัย ที่มีสภาพแวดล้อม ภายในที่เหมาะสมกับการค้นคว้าวิจัย การทำงาน เป็นพื้นที่การเรียนรู้ในยุคใหม่ วิธีการดำเนินงานจึงเป็นไปตามกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน โดยให้ความสำคัญกับการร่วมสร้างสรรค์งานออกแบบร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อได้ผลการออกแบบที่ตอบสนองต่อการใช้งานขององค์กร บทความนี้เป็นการเรียบเรียง แนวทางการสร้างสรรค์งานออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผ่านกระบวนการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่นำมาเป็นแนวทาง 3 ด้าน คือ

### 1. กระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน

การทำโปรแกรมในการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล วิธีการจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ รวมถึงการพิจารณารายละเอียดทั่วไปของโครงการ ทั้งนี้ กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) เป็นขั้นตอนการจัดการข้อมูล เพื่อให้ได้ขนาดและคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปสรุปผลเพื่อการออกแบบ ประกอบด้วย การเลือกข้อมูล การจัดกลุ่มข้อมูล การเปรียบเทียบและการแยกแยะข้อมูล การจัดลำดับข้อมูล การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ขั้นตอนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน เริ่มจาก 1) การจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ เพื่อใช้เป็นกระบวนการในการตอบสนองความต้องการและพฤติกรรมของมนุษย์ ทำให้ได้แนวความคิดในการออกแบบตามเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของโครงการ แบ่งเป็นปัจจัยหลักได้ 3 ประการ คือ ปัจจัยด้านมนุษย์ (Human Factor) ปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Factor) หรือลักษณะทางรูปธรรมของกายภาพ ปัจจัยที่มาจากภายนอก (External Factor) เป็นเงื่อนไขต่าง ๆ ที่อยู่เหนือการควบคุม 2) การสร้างแนวความคิดในการออกแบบ (Concept Design) มีทั้งเชิงเหตุผลและเชิงจินตนาการ เพื่อการแก้ปัญหาในการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ (Creative Problem-solving) และเป็นการพัฒนาสิ่งที่เป็นจริงเชิงศิลปะด้วย (Logic Artistic Development) โดยที่นักออกแบบจะต้องมีความสามารถในการเชื่อมโยงและถ่ายทอดแนวความคิดหลักสู่แนวความคิดเชิงสร้างสรรค์อย่างเหมาะสม 3) การสร้างทางเลือกในการออกแบบ เป็นกระบวนการเพื่อวิเคราะห์หรือประเมินข้อมูลในการนำเสนอ โดยอ้างอิงถึงความเป็นจริงตามกระบวนการที่สะท้อนให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่เหมาะสมที่สุด จากการตรวจสอบข้อมูล และการไตร่ตรองด้วยเหตุและผล แล้วจึงทำการตัดสินใจเลือกแนวทางนั้น ๆ 4) การออกแบบ (Design) จะสามารถชี้ให้เห็นถึงรูปแบบ รูปร่าง รูปทรง หน้าตาของผลงาน โดยการพัฒนาจากทางเลือกในการออกแบบ และนำเสนอผลงานออกแบบเป็นสื่อต่าง ๆ 5) การสร้างจริง เป็นกระบวนการก่อสร้างโครงการนั้น ๆ ตามการออกแบบขั้นสุดท้าย ภายใต้การควบคุมของผู้เกี่ยวข้องในหลายฝ่าย เช่น วิศวกรโครงการ สถาปนิกโครงการ สถาปนิกภายใน เป็นต้น และ 6) การประเมินผล เป็นขั้นตอนการประเมินสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขและเป็นฐานข้อมูลสำหรับการออกแบบครั้งต่อไป [2]



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน

ที่มา : ดัดแปลงจาก [2]

### 2. การสร้างสรรค์สภาพแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้และทำงานยุคใหม่

การออกแบบต้องอาศัยกระบวนการคิดและแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน

1) การรับรู้ปัญหา 2) การกำหนดปัญหาให้ชัดเจน 3) การค้นหาหลากหลายแนวทางในการแก้ปัญหา 4) การประเมินผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 5) การทดสอบและเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด โดยกระบวนการออกแบบเป็นกระบวนการสร้างสรรค์ การสร้างสรรค์ในงานออกแบบอาจเกิดจากการออกแบบที่สามารถตอบสนองความต้องการทางการใช้สอยของกลุ่มบุคคลเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับบุคคลทั่วไปหรือการสร้างสรรค์งานออกแบบโดยการนำสถาปัตยกรรมเก่ามาปรับปรุง เพื่อสนองหน้าที่ใช้สอยใหม่ (Adaptive-reuse) งานออกแบบที่เป็นงานสร้างสรรค์ต้องมีคุณลักษณะของการผ่านการคิดสร้างสรรค์ที่นำไปสู่สิ่งแปลกใหม่ที่มีคุณค่า [3]

ห้องคันท้าว่าส่วนงานวิจัย (Think Tank) เป็นพื้นที่แห่งความคิด การเรียนรู้ การทำงาน การค้นคว้า ด้านงานวิจัย ดังนั้นการสร้างสรรค์พื้นที่ดังกล่าว ต้องเข้าใจถึงสภาพแวดล้อมในการทำงาน พื้นที่ทำงานในแต่ละยุคแต่ละสมัยเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพเศรษฐกิจ สังคม และความก้าวหน้าของเทคโนโลยี โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) คน (People) 2) แบบแผนในการประกอบธุรกิจ (Process) 3) พื้นที่ที่เอื้ออำนวยให้คนทำกิจกรรม (Platform) ทั้ง Offline Platform เช่น อาคารสำนักงาน และปัจจุบันมี Online Platform ทำงานหรือประชุมกันผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งองค์กรต้องคำนึงถึงในการออกแบบพื้นที่ทำงาน [4] บรรยากาศและโทนิสควรรออกแบบให้สอดคล้องกับอัตลักษณ์ขององค์กร (Corporate Identity) [5] และด้านสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ (Learning Environment) มีทั้งสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Physical Environment) และสภาพแวดล้อมทางจิตวิทยา (Psychological Environment) ที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไป พื้นที่ใช้งานควรสะดวกสบาย ออกแบบตกแต่งสวยงาม สอดคล้องกับพฤติกรรมและความต้องการของผู้ใช้งาน [6] การจัดพื้นที่สำหรับการเรียนรู้ควรจัดให้สามารถใช้งานได้หลากหลาย มีความยืดหยุ่นเอื้อสำหรับการปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ปลอดภัย สะดวกสบาย มีวัสดุอุปกรณ์พร้อม มีการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่การเรียนรู้ต่าง ๆ และที่สำคัญ คือต้องสนองความต้องการของผู้ใช้งาน แนวโน้มการออกแบบพื้นที่การเรียนรู้นั้นจะเป็นแบบเน้นมนุษย์หรือผู้ใช้เป็นสำคัญคือออกแบบโดยคำนึงถึงความต้องการของผู้ใช้ ดังนั้นในการออกแบบพื้นที่การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จึงจำเป็นต้องดำเนินการแบบร่วมแรงร่วมใจระหว่างนักออกแบบและผู้ที่เกี่ยวข้อง [7]

### 3. การร่วมสร้างสรรค์

Co-creation เป็นคำจำกัดความของการร่วมสร้างสรรค์ ในงานออกแบบเชิงพื้นที่ กระบวนการ Co-creation เป็นเรื่องจำเป็น เพื่อให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการเสนอแนวความคิด ความต้องการ และรู้สึกผูกพันเป็นเจ้าของพื้นที่เหล่านั้นร่วมกันต่อไป เปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากงานออกแบบสามารถมีส่วนร่วมในการสร้างสรรค์งานออกแบบร่วมกัน ในกระบวนการทำงานออกแบบที่ร่วมกันสร้างสรรค์นั้นค่อนข้างเปิดโอกาสให้มีการรับฟัง แลกเปลี่ยนความคิดเห็นอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม นอกจาก Co-creation จะเป็นเครื่องมือการทำงานออกแบบเชิงพื้นที่หรือด้านการบริการ ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างผู้คนและพื้นที่ได้ ทำให้เกิดความผูกพันต่อสถานที่หรือโครงการมากขึ้นในระยะยาว อีกทั้งยังเป็นการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้ออกแบบและผู้ใช้หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่ไม่จำเป็นต้องหยุดลงเมื่อเสร็จสิ้นการออกแบบ แต่การสนทนาแลกเปลี่ยน การเรียนรู้ การค้นคว้าร่วมกัน การปรับเปลี่ยนของพื้นที่ และความสัมพันธ์ระหว่างผู้คนที่หลากหลายนั้นสามารถมีวิวัฒนาการและเติบโตได้อย่างต่อเนื่องและเป็นประโยชน์กับทุกฝ่าย [8]

## วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างสรรค์งานออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

## วิธีดำเนินการ

หลังจากได้รับโจทย์จากหน่วยงาน ได้ดำเนินการตามกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในผ่านเทคนิคการออกแบบร่วมกันกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

1. จัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ โดยการเก็บข้อมูลจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องสำรวจพื้นที่ สัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ ตัวแทนผู้บริหาร ผู้เชี่ยวชาญประจำศูนย์งานวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนา และวิศวกรโครงการ สนทนากลุ่มจากผู้เชี่ยวชาญด้านสถาปัตยกรรมภายใน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเรียบเรียงประเด็นของรายละเอียดประกอบโครงการห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย

2. สร้างแนวความคิดในการออกแบบ จากการระดมความคิดจากผู้เชี่ยวชาญด้านสถาปัตยกรรมภายใน ประเมินและเลือกแนวคิดที่เหมาะสมร่วมกันกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

3. สร้างแบบร่างขั้นต้น นำเสนองานสถาปัตยกรรมภายในเป็นภาพ 2 มิติ มุ่งเน้นการแสดงให้เห็นรูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยและบรรยากาศในขั้นต้น ประเมินทางเลือกร่วมกันกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ด้วยการประชุมกลุ่มย่อย พัฒนาแบบตามข้อเสนอแนะจากทุกฝ่าย สรุปแนวทางที่เหมาะสม เพื่อเข้าสู่กระบวนการออกแบบขั้นสมบูรณ์

4. สร้างสรรค์งานออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย นำเสนอเป็นทัศนียภาพ 3 มิติ พร้อมรายละเอียดประกอบแบบ

5. สังเกตการณ์และให้คำปรึกษา ระหว่างกระบวนการสร้างจริง ตามการออกแบบขั้นสุดท้ายร่วมกับผู้เกี่ยวข้อง

6. สรุปผลแนวทางการสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรมภายใน ห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ด้วยการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม

## ผลการดำเนินการ

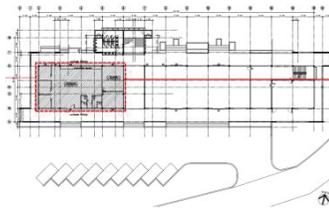
ผลจากการดำเนินกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

### ขั้นตอนที่ 1 การจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ

ผลจากการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเรียบเรียงประเด็นรายละเอียดประกอบโครงการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย ประกอบด้วย ปัจจัยด้านมนุษย์ (Human Factor) ปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Factor) และปัจจัยที่มาจากภายนอก (External Factor) มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ ท้องคั่นคว้าวางงานวิจัย

	หัวข้อ	รายละเอียด
ปัจจัยด้านมนุษย์ (Human Factor)	ลักษณะโครงสร้าง องค์กร	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เป็นหน่วยงานที่ดูแลและสนับสนุน เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ โดยการวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม รวมถึงบริการทางวิชาการแก่สังคม
	วัตถุประสงค์ของ โครงการ	ท้องคั่นคว้าวางงานวิจัย (Think Tank) เป็นแหล่งคั่นคว่างานวิจัย ศูนย์เครื่องมือวิจัย มีสภาพแวดล้อมภายในที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ การทำงาน ยุคใหม่ ส่งเสริม พัฒนาบุคลากร เพื่อสร้างผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์
	กิจกรรม	การคั่นคว่าเรียนรู้ การปฏิบัติการทดลอง และสำนักงาน ด้านงานวิจัย
	ผู้ใช้โครงการ	ผู้ให้บริการ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญประจำศูนย์วิจัย 1 คน เจ้าหน้าที่ 4 คน ผู้รับบริการ ได้แก่ บุคคลที่ต้องการ คั่นคว่า ปฏิบัติการ ทดลอง งานวิจัย
	พฤติกรรม	คั่นคว่าเรียนรู้ ปฏิบัติการทดลองด้านงานวิจัย ปฏิบัติงานสำนักงาน
ปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Factor)	ที่ตั้ง	พื้นที่ชั้น 1 อาคาร 8 สถาบันวิจัยและพัฒนา ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา



ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนา

โครงสร้าง	อาคารโครงสร้างปูน ช่องเปิดกระจก
องค์ประกอบภายใน	เดิมเป็นห้องพยาบาล พื้นที่จึงถูกจัดสรรเพื่อการรักษาพยาบาล ยังไม่สอดคล้องกับกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นใหม่ จึงต้องปรับองค์ประกอบ ภายในให้ตอบสนองต่อการใช้งานด้านการคั่นคว่างานวิจัย
ขนาดพื้นที่	200 ตารางเมตร
เครื่องเรือนและอุปกรณ์	ชุดเครื่องเรือนและอุปกรณ์ สำหรับ ส่วนหน้า ส่วนบริการ และส่วนสำนักงาน ชุดเครื่องมือทดสอบงานวิจัย (Lab) SEM XRD SPM Thermal Mill
วัสดุและการตกแต่ง	สวยงาม แข็งแรง ทนทาน ทันสมัย
ประโยชน์ใช้สอย	1) ส่วนหน้า ได้แก่ โถงต้อนรับ 2) ส่วนบริการ ได้แก่ พื้นที่ทำงานส่วนกลาง ห้องประชุมย่อย ห้องปฏิบัติการ และห้องเตรียมการ 3) ส่วนสำนักงาน ได้แก่ ห้องทำงาน 4) ส่วนเสริม ได้แก่ ห้องกาแฟ

ตารางที่ 1 ผลการจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ ห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
ระบบกิจกรรม และพฤติกรรม	1) ผู้เชี่ยวชาญประจำศูนย์งานวิจัย มีพฤติกรรม ปฏิบัติงานควบคุมดูแล ให้คำปรึกษาด้านงานวิจัย ส่วนปฏิบัติการ และประชุม 2) เจ้าหน้าที่ มีพฤติกรรม ปฏิบัติงานสำนักงาน ควบคุมดูแล ให้คำปรึกษาด้านงานวิจัย ส่วนปฏิบัติการ และประชุม 3) บุคคลทั่วไป มีพฤติกรรม ค้นคว้าเรียนรู้ ทำงาน ปฏิบัติการทดลอง
ความสัมพันธ์ของพื้นที่	
ค่าความสัมพันธ์แบบ Interaction Matrix	
ค่าความสัมพันธ์แบบ Bubble Diagram	
ค่าความสัมพันธ์แบบ Functional & Circulation Diagram	
ปัจจัยที่มาจากภายนอก (External Factor)	ด้านงบประมาณ กระบวนการจัดการงานก่อสร้าง ความคุ้มค่าอยู่ในกรอบที่เหมาะสม โดยผ่านการพิจารณาจากกรรมการ ตามการออกแบบขั้นสุดท้าย ภายใต้การควบคุมของผู้เกี่ยวข้อง

## ขั้นตอนที่ 2 การสร้างแนวความคิดในการออกแบบ

ผลจากการวิเคราะห์รายละเอียดประกอบโครงการ และระดมแนวคิดร่วมกันจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แนวความคิดหลักที่สอดคล้องกับลักษณะโครงการท้องถิ่นคว้าวางงานวิจัย (Think Tank) มีแนวโน้มไปในลักษณะทันสมัย ส่งเสริมภาพลักษณ์องค์กรด้านงานวิจัย นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ มุ่งเน้นสร้างปฏิสัมพันธ์ที่ดี สภาวะร่วมมือ การทำงานร่วมกัน (Collaboration) ถ่ายทอดสู่แนวความคิดเชิงสร้างสรรค์ ด้วยคำจำกัดความว่า “โคแลป โมเดิร์น อินโนเวชัน” (Co-Lab Modern Innovation) เป็นพื้นที่สำหรับการทำงาน การค้นคว้าเรียนรู้ร่วมกัน ด้านงานวิจัย ปฏิบัติการนวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ ภายใต้รูปแบบทันสมัย บรรยากาศผ่อนคลาย คำนึงถึงความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการใช้งาน แบ่งพื้นที่การใช้งานเป็นสัดส่วน เชื่อมโยงบรรยากาศการทำงานร่วมกัน ใช้โทนสีกลางที่เรียบง่าย ขาว เทา น้ำตาล ประกอบกับสีประจำองค์กร ม่วง เขียว ส้ม เฉพาะจุด เพื่อสื่อสารเอกลักษณ์องค์กร สถาบันวิจัยและพัฒนา

## ขั้นตอนที่ 3 การสร้างทางเลือกในการออกแบบ

ผลจากการจัดทำรายละเอียดประกอบการออกแบบ วิเคราะห์และสรุปแนวทางการออกแบบ นำเสนองานสถาปัตยกรรมภายในเป็นภาพ 2 มิติ ในขั้นต้น เพื่อประเมินทางเลือกร่วมกันกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ประกอบด้วย สถาปนิกภายใน วิศวกร เจ้าหน้าที่ประจำท้องถิ่นคว้าวางงานวิจัย ผู้เชี่ยวชาญดูแลเครื่องมือ งานวิจัย และกลุ่มผู้บริหารสถาบันวิจัย ร่วมตรวจสอบและเลือกแนวทางที่เหมาะสม นำไปพัฒนางานออกแบบ

ผลการออกแบบยังคงเป็นไปตามแนวคิดรูปแบบกับบรรยากาศที่คู่ทันสมัย การหาความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้สอย การวางผัง รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องเรือน แบบที่ 1 ถูกปรับพื้นที่ใช้สอยพัฒนาสู่แบบที่ 2 พบข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ด้านการกันห้องทำงานที่เป็นส่วนตัวแต่สามารถมองเห็นผู้ใช้งานได้ ด้านห้องปฏิบัติการ (Lab) ทุกห้องต้องควบคุมอุณหภูมิได้ตลอดเวลาเพื่อรักษาเครื่องมือวิจัย เพิ่มเติมห้องเตรียมการ (Sample) สำหรับทดลองและล้างสารเคมี พัฒนาการออกแบบสู่แบบที่ 3 มีความเหมาะสมในการจัดสรรพื้นที่ใช้สอยสอดคล้องตามความต้องการของหน่วยงานและผู้ใช้งานมากที่สุด สรุปพื้นที่ใช้สอยหลัก ประกอบด้วย ส่วนหน้า ได้แก่ โถงต้อนรับ ส่วนกลาง ได้แก่ พื้นที่ทำงานส่วนกลาง ห้องประชุมย่อย ห้องเตรียมการ ห้องปฏิบัติการ ส่วนสำนักงาน ได้แก่ ห้องทำงาน และส่วนเสริม ได้แก่ พื้นที่เช่าส่วนร้านค้าแฟรช รายละเอียดดังตารางที่ 2

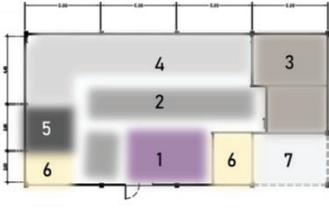
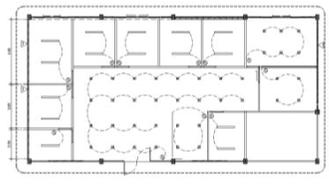
ตารางที่ 2 การพัฒนาผลการออกแบบขั้นต้น

หัวข้อ	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
<p>ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้สอย</p>			
<p>การวางผัง</p>			
<p>พื้นที่ใช้สอย อุปกรณ์ และเครื่องเรือน</p>			
<p>ส่วนหน้า</p>	1. โถงต้อนรับ	1. โถงต้อนรับ	1. โถงต้อนรับ
<p>ส่วนบริการ</p>	2. พื้นที่ทำงานส่วนกลาง 3. ห้องประชุมย่อย 4. ห้องปฏิบัติการ 5. ห้องน้ำ	2. พื้นที่ทำงานส่วนกลาง 3. ห้องประชุมย่อย 4. ห้องปฏิบัติการ 5. ห้องน้ำ	2. พื้นที่ทำงานส่วนกลาง 3. ห้องประชุมย่อย 4. ห้องปฏิบัติการ (Lab) 5. ห้องเตรียมการ (Sample)
<p>ส่วนทำงาน</p>	6. ห้องทำงาน 7. ห้องเก็บของ	6. ห้องทำงาน 7. ห้องเก็บของ	6. ห้องทำงาน -
<p>ส่วนเสริม</p>	8. พื้นที่เข้าส่วนร้านกาแฟ	8. พื้นที่เข้าส่วนร้านกาแฟ	7. พื้นที่เข้าส่วนร้านกาแฟ

ขั้นตอนที่ 4 ผลการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย

ผลออกแบบขั้นสมบูรณ์ที่พัฒนารูปแบบมาจากขั้นทางเลือก นำเสนอเป็นทัศนียภาพ 3 มิติ พร้อมรายละเอียดประกอบแบบ เพื่อสื่อสารให้เข้าใจถึงลักษณะสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย

หัวข้อ	รูปแบบ	รายละเอียด
แนวความคิดในการออกแบบ (Design Concept)	คำจำกัดความ โคแลป โมเดิร์น อินโนเวชั่น (Co-Lab Modern Innovation)	พื้นที่สำหรับการทำงาน การค้นคว้าเรียนรู้ ร่วมกัน ด้านงานวิจัย ปฏิบัติการนวัตกรรม และงานสร้างสรรค์
ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้สอย (Functional Relationship)		1) โถงต้อนรับ (Hall) 2) พื้นที่ทำงานส่วนกลาง (Co-Working) 3) ห้องประชุมย่อย (Meeting room) 4) ห้องปฏิบัติการ (Lab) SEM, XRD, SPM, Thermal, Mill 5) ห้องเตรียมการ (Sample) 6) ห้องทำงาน (Working Room) 7) พื้นที่เข้าส่วนร้านกาแฟ (Coffee Room)
การวางผัง (Furniture layout plan)		แบบผสมผสาน ได้แก่ แพนผังแบบสังคัม มีพื้นที่ส่วนกลางและโต๊ะทำงานที่สะดวกสบาย เพื่อส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ และแผนผังแบบ ห้องปฏิบัติการนวัตกรรม มีส่วนปฏิบัติการและ การระดมความคิดเห็น การวางผังตามแนวแกน ตั้งและแกนนอน เพื่อความเป็นระเบียบ และ จำนวนอุปกรณ์เครื่องเรือน อ้างอิงจากความ ต้องการของผู้ใช้โครงการ
ทัศนียภาพ (Perspective)		รูปแบบกึ่งทางการ มีความทันสมัย และ บรรยากาศผ่อนคลาย
แสงสว่าง (Lighting)	 * ผังการวางตำแหน่งไฟ	ใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ โคม Downlight ชนิดฝังฝ้าแสง Cool White เพื่อ ความสบายตาในการทำงาน และแสงแบบ Indirect Lighting ซ่อนไฟในบางจุดเพื่อสร้าง บรรยากาศ
รูปแบบเครื่องเรือน (Furniture)		เน้นเครื่องเรือนชนิดลอยตัว เคลื่อนย้ายได้ สะดวก รูปแบบทันสมัย ไม่เป็นทางการ ผสมผสานหลากหลาย

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย (ต่อ)

หัวข้อ	รูปแบบ	รายละเอียด
วัสดุ (Materials)		วัสดุสังเคราะห์ ไม้สังเคราะห์ ไม้เทียม ประกอบด้วย พื้นกระเบื้องยางลายไม้ พรม ผืนผ้าสี กระจก วอลเปเปอร์ ลามิเนต องค์ประกอบอื่น ๆ ผ้าปู ลามิเนตไฮกรอส ผนังเทียม ไม้เทียม และไม้
โทนสี (Colors)		โทนเย็น เน้นสี ขาว เทา น้ำตาล ดำ เป็นหลัก ประกอบด้วย สีประจำองค์กร ม่วง เขียว เหลือง ตกแต่งเฉพาะจุด
กราฟิกสภาพแวดล้อม (Environmental Graphic)		ใช้ตัวหนังสือเป็นกราฟิกตกแต่งสภาพแวดล้อม และเพื่อระบุพื้นที่ใช้งาน สร้างบรรยากาศ สำนักงานสมัยใหม่ และสร้างความจดจำในพื้นที่ ใช้งาน
รายละเอียดประกอบแบบ (Working Drawing)	-	จัดทำรายละเอียดประกอบแบบ เพื่อชี้แจง รายละเอียดและองค์ประกอบต่าง ๆ ในการ ออกแบบ ใช้ประกอบกระบวนการสร้างจริง ต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการสร้างจริง

หลังจากได้ผลจากการออกแบบขั้นสมบูรณ์ ผ่านการตรวจสอบ ประเมินราคา ต่อเนื่องสู่กระบวนการสร้างจริง ตามการออกแบบขั้นสุดท้าย ภายใต้การควบคุมของผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิศวกรโครงการ สถาปนิกโครงการ สถาปนิกภายใน ทีมผู้บริหารของหน่วยงาน เจ้าหน้าที่ ประจำสถาบันวิจัยและพัฒนา เพื่อให้ผลการสร้างสรรค์บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของหน่วยงานต่อไป

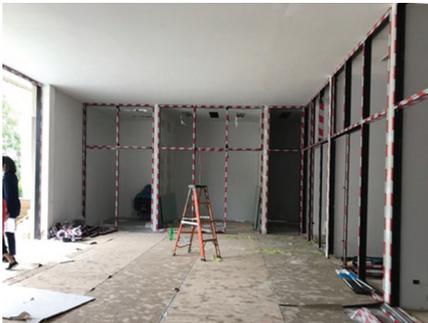


(ก) ทางเข้าหลัก



(ข) พื้นที่ส่วนหน้า

รูปที่ 2 กระบวนการระหว่างสร้างจริง



(ค) พื้นที่ส่วนบริการ



(ง) พื้นที่ส่วนทำงาน

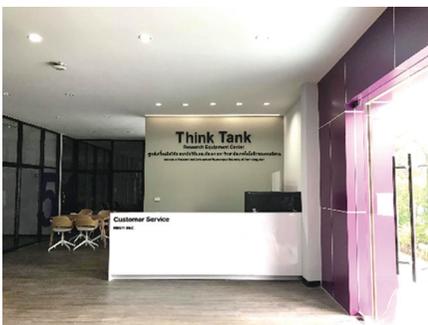
รูปที่ 2 กระบวนการระหว่างสร้างจริง (ต่อ)



(ก) ด้านหน้าอาคาร



(ข) ทางเข้าหลัก



(ค) พื้นที่ส่วนหน้า

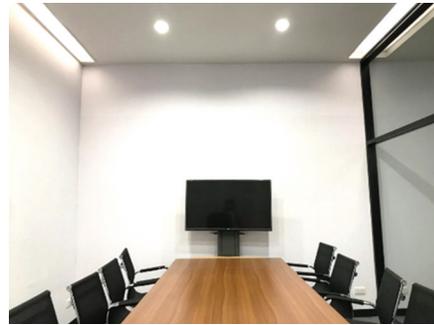


(ง) พื้นที่ส่วนบริการ

รูปที่ 3 ผลงานสร้างสรรค์ชิ้นสมบูรณ์ สถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย



(จ) พื้นที่ส่วนทำงาน



(ฉ) พื้นที่ส่วนประชุม

รูปที่ 3 ผลงานสร้างสรรค์ขั้นสมบูรณ์ สถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย (ต่อ)

## สรุป

1. การสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัยด้วยการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม การสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย มีแนวทางการออกแบบ องค์ประกอบหลัก คือ 1. กระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน ประกอบด้วย ขั้นตอนการจัดทำรายละเอียดประกอบโครงการ ขั้นตอนการสร้างแนวความคิด ขั้นตอนการสร้างและพัฒนาทางเลือก ในงานออกแบบ ขั้นตอนการออกแบบ และการสร้างจริง 2. การออกแบบอย่างมีส่วนร่วมจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ดำเนินการควบคู่กันไป โดยสถาปนิกภายในเป็นผู้ควบคุมและสรุปข้อมูล จากแนวทางดังกล่าว ผลการสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัยอย่างเป็นขั้นตอน มีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการจัดการและคัดกรองข้อมูลจากหลายองค์ประกอบให้เหมาะสมต่อการนำไปสรุปถ่ายทอดสู่ผลงาน สร้างสรรค์ และการออกแบบร่วมกัน มีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการร่วมคิด ร่วมบอกความต้องการ ได้ข้อมูลที่เหมาะสมเจาะจงจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ร่วมออกแบบให้พื้นที่ใช้งานตรงตามความต้องการ และบรรยากาศสื่อสารความเป็นตัวตนขององค์กร ร่วมประเมินผล เป็นข้อมูลให้สถาปนิกภายในออกแบบพื้นที่ ได้อย่างเหมาะสม และได้ข้อสรุปผลงานสร้างสรรค์ เพื่อเข้าสู่กระบวนการสร้างจริง ในเวลาที่กระชับขึ้น สอดคล้องกับ ในงานออกแบบเชิงพื้นที่ กระบวนการ Co-creation เป็นเรื่องจำเป็นเพื่อให้ผู้คนมีส่วนร่วม ในการสร้างสรรค์งานออกแบบร่วมกัน ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างผู้คนและพื้นที่ เป็นการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้ออกแบบและผู้ใช้ ซึ่งเป็นประโยชน์กับทุกฝ่าย [8] สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ ควรจะมีระบบการจัดการที่ดี ในการจัดการข้อมูลและการทำงานร่วมกับผู้อื่น มีการสื่อสารให้เป็นที่เข้าใจ มีความยืดหยุ่นรับฟังมุมมองที่หลากหลายจากผู้เกี่ยวข้องในทุกภาคส่วน เพื่อทำความเข้าใจร่วมกัน กระชับข้อมูลให้สอดคล้องตามกรอบเวลา ให้ได้มาซึ่งผลงานที่เหมาะสม และเกิดปฏิสัมพันธ์ที่ดีร่วมกัน

## 2. ผลงานสร้างสรรค์การออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย

การออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย เป็นผลงานสร้างสรรค์ในเชิง การออกแบบสภาพแวดล้อมภายใน ผ่านกระบวนการคิด วิเคราะห์ แก้ปัญหา สู่การออกแบบสิ่งใหม่ที่มี คุณค่า ตอบสนองต่อการใช้งานอย่างมีคุณภาพ และมีความงาม เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี ส่งเสริมการทำงาน ให้มีประสิทธิภาพและมีความสุข

ห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย เป็นพื้นที่สำหรับการค้นคว้าเรียนรู้ ทำงานด้านงานวิจัย โดยทางหน่วยงานให้คำจำกัดความภาษาอังกฤษว่า Think Tank เพื่อสื่อสารความเป็นพื้นที่แห่งความรู้ สัมพันธ์กับเอกลักษณ์ขององค์กรสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ดูแลและสนับสนุนเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ โดยการวิจัย สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรม เป็นต้นทางความคิดสำคัญที่นำมาพิจารณาในการสร้างแนวคิดสู่ผลงานสร้างสรรค์สภาพแวดล้อมภายใน สรุปได้ว่า 1. แนวคิดหลักของโครงการ กำหนดเป็นสภาพแวดล้อมยุคใหม่เพื่อการเรียนรู้และการทำงานด้านการวิจัย ปฏิบัติการนวัตกรรม เน้นสภาวะการทำงานร่วมกัน ส่งเสริมภาพลักษณ์องค์กรในเชิงบวก 2. แนวความคิดในการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ ภายใต้แนวคิด โคแลป โมเดิร์น อินโนเวชัน (Co-Lab Modern Innovation) พื้นที่สำหรับการทำงาน การค้นคว้าเรียนรู้ร่วมกัน ด้านงานวิจัย ปฏิบัติการนวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ ถ่ายทอดผ่านสภาพแวดล้อมภายในอาคารเพื่อการเรียนรู้และทำงานยุคใหม่ ทั้งในแง่ของสภาพแวดล้อมทางกายภาพ รูปแบบกึ่งทางการ ทันสมัย จัดแบ่งพื้นที่ในแนวตรงตามแกนตั้งและแกนนอน สร้างความเป็นระเบียบให้สภาพแวดล้อมภายใน จัดสรรพื้นที่ใช้งานเป็นสัดส่วนด้วยการจัดแบ่งพื้นที่ตามลักษณะการใช้งาน ผังแบบผสมผสาน มีพื้นที่ทำงานส่วนกลาง ส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ ประกอบกับผังแบบห้องปฏิบัติการนวัตกรรม ทดลอง และการระดมความคิดเห็น กันพื้นที่แบบโปร่งโล่งเพื่อเชื่อมโยงพื้นที่ใช้งานร่วมกันและสร้างความโปร่งโล่งให้พื้นที่ วัสดุสมัยใหม่พื้นผิวเรียบมันวาวทำความสะอาดง่ายและทนทาน เครื่องเรือนรูปแบบไม่เป็นทางการ ใช้โทนสีเย็นเพื่อความสบาย สภาพแวดล้อมทางจิตวิทยาเน้นบรรยากาศผ่อนคลายให้นำเข้าใช้งาน สอดคล้องกับ แนวคิดของการออกแบบพื้นที่ทำงานยุคใหม่ ด้านแนวคิด สภาวะร่วมมือ (Collaboration) คือ สภาวะการทำงานร่วมกันกับผู้อื่น เพื่ออาศัยความสามารถอันหลากหลายของคนเป็นหมู่คณะในการสร้างสรรค์งานให้สำเร็จ ลุล่วง และบรรลุเป้าหมายร่วมกัน สภาวะนี้สร้างได้ด้วยการจัดให้มีห้องประชุมปิด จัดมุมหนึ่งในพื้นที่ทำงานที่เปิดโอกาสให้คนทำงานได้มีกิจกรรมร่วมกัน [9] และการจัดแผนผังแบบสังคม จะมีพื้นที่ส่วนกลางที่สะดวกสบายส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ ช่วยให้พนักงานมีความสุขและทำงานอยู่ในองค์กรได้นาน แผนผังแบบห้องปฏิบัติการนวัตกรรม ช่วยสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์ผ่านการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น [10]

แนวทางการสร้างสรรค์งานออกแบบสถาปัตยกรรมภายในห้องค้นคว้าส่วนงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้วยการออกแบบอย่างมีส่วนร่วมผ่านกระบวนการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้ข้อสรุปของผลงานสร้างสรรค์ในรูปแบบกึ่งทางการ บรรยากาศผ่อนคลาย สื่อสารภาพลักษณ์องค์กรในเชิงบวก ตอบสนองต่อการใช้งาน มีความทันสมัยสวยงาม เพื่อช่วยส่งเสริมพัฒนาบุคลากรด้านงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม และงานสร้างสรรค์ สอดคล้องกับ งานสถาปัตยกรรมภายใน เป็นงานสร้างสรรค์ด้านการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในเป็นลักษณะขององค์กรรวม เป็นการออกแบบที่เชื่อมโยงความสามารถมนุษย์กับประโยชน์ใช้สอย ด้วยการสร้างองค์ประกอบ ทางกรมมองเห็น เพื่อสร้างคุณค่า ความประทับใจ รวมถึงความสวยงามให้กับพื้นที่ โดยเน้นที่พื้นฐานทางสังคมนั้นเป็นหลักในการออกแบบ [11]

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาสถาปัตยกรรมภายใน คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม และความร่วมมือจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน

## References

- [1] Institute of Research and Development Rajamangala University of Technology Isan. (2020). **AboutIRD**. Access (1 December 2020). Available (<http://ird.rmuti.ac.th/2020/world/content/IRD010720C00001>)
- [2] Pomtip, R. (2013). **Design Programme for Interior Architecture**. 1<sup>st</sup> ed. Nonthaburi: Inthaninpress
- [3] Vimolsiddhi, H. Busakorn, S., and Siwaporn, K. (2013). **Environmental Psychology A Basis for Creation and Management of Livable Environment**. 2<sup>nd</sup> ed. Bangkok: G.B.P Center co., LTD.
- [4] TrueID. (2020). **The Future Workspace**. Access (30 December 2020). Available (<https://news.trueid.net/detail/R971O28Eb1O6>)
- [5] GoldHand. (2020). **Office Design**. Access (30 December 2020). Available (<https://www.sahacharoen.co.th/content>)
- [6] Wilaiwan, P. and Kaweevan, I. (2020). Environment in Architecture Education Building Supports Self-Directed Learning Case Study: Rajamangala University of Technology Isan. **JIE Journal of Industrial Education**. Vol. 19, No. 2, pp. 119-128
- [7] Apipa, P. (2017). Learning Space Design for Higher Education Institutions in the 21<sup>st</sup> Century. **Dusit Thani College Journal**. Vol. 11, No. 2, pp. 372-392
- [8] Supreeya, W. (2020). **Co-Creation: Architecture Co-creation Process**. Access (1 December 2020). Available (<https://asacrew.asa.or.th/feature19/>)
- [9] Encyclopedia. (2018). **Office Space Design Trend**. Access (20 January 2020). Available (<https://www.wazzadu.com/article/2596>)
- [10] Mikkie, M. (2019). **Match Your Company Culture With Your Office Layout**. Access (20 January 2021). Available (<https://alrasub.com/match-your-company-culture-with-your-office-layout/>)
- [11] Nattaya, P. and Yanin, R. (2018). The Study of Corporate Identity for the Environment Interior Design for Loei Rajabhat University. **Arch KKU Journal**. Vol. 17, No. 1, pp. 133 -148



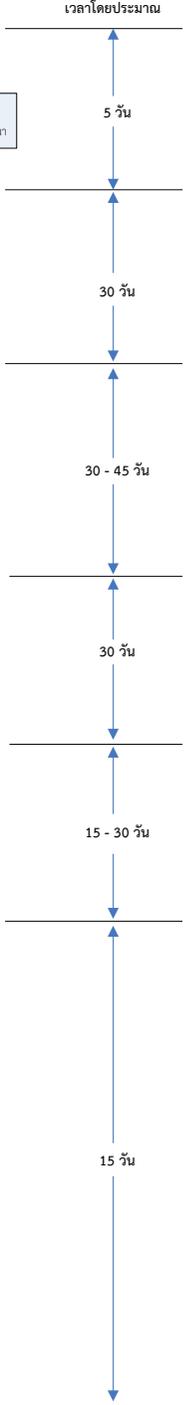
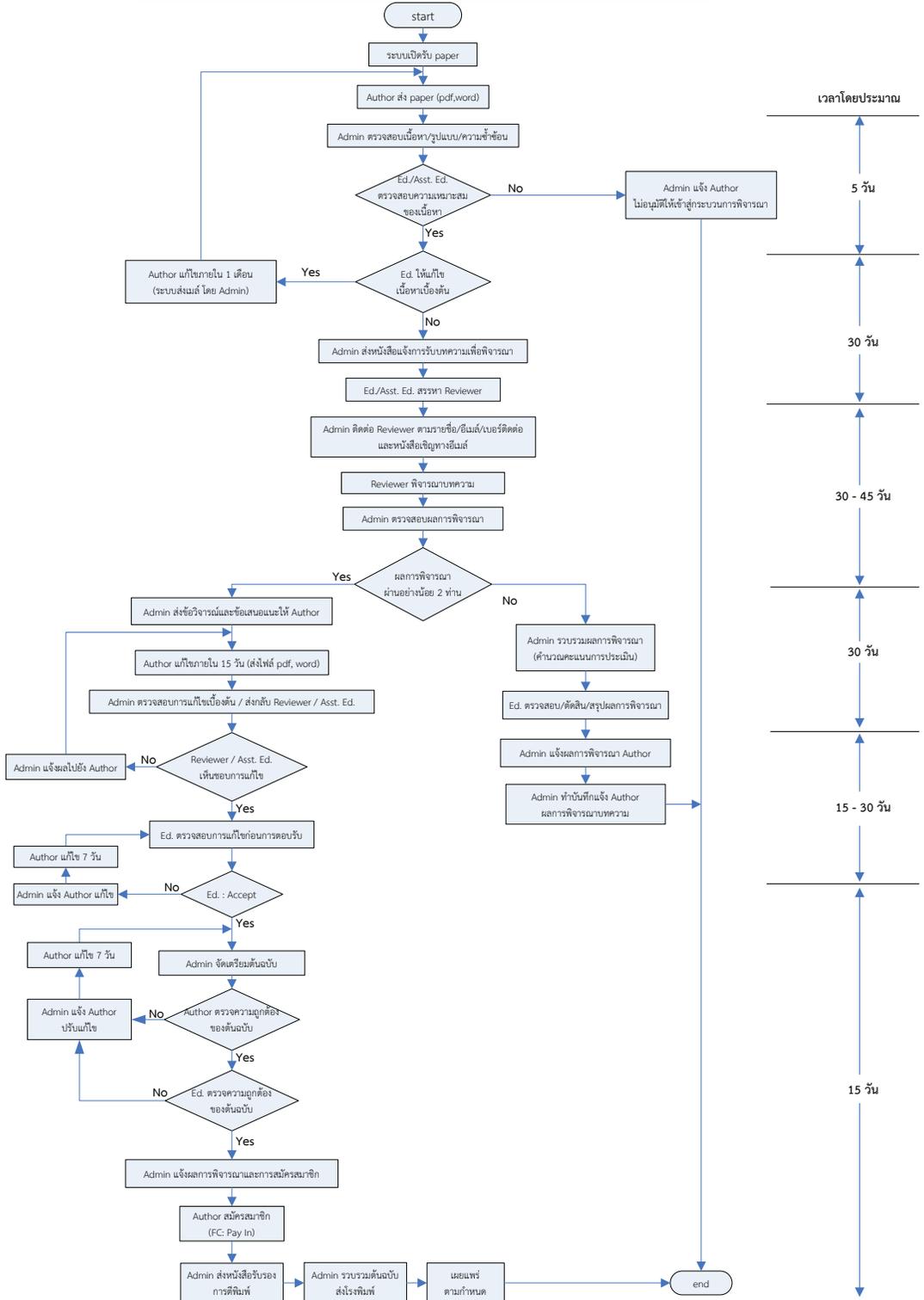


คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

RMUTI  
ราชมงคลอีสาน



ผังการดำเนินงานวารสาร มทร.ฮีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
RMUTI JOURNAL Science and Technology

1. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

1.1 บทความวิจัย (Research article) เป็นบทความที่ได้จากงานวิจัย

1.2 บทความวิชาการ (Academic article) เป็นบทความที่มีลักษณะดังนี้

1. เป็นบทความจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งเป็นผลมาจากการวิจัยหลาย ๆ ครั้ง ถือเป็นบทความที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

2. เป็นบทความนำเสนอกระบวนการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดสอบภาคสนาม รวมถึงไปถึงเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใหม่ ๆ

3. เป็นบทความที่มาจากประสบการณ์ หรือความชำนาญของผู้เขียน

4. เป็นบทความเกี่ยวกับนโยบายด้านต่าง ๆ ของหน่วยงาน

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) 2.54 ซม. ขอบล่าง (Bottom Margin) 2.54 ซม.

ขอบขวา (Right Margin) 2.54 ซม. ขอบซ้าย (Left Margin) 3.17 ซม.

- ระยะห่างบรรทัด 1 เท่า

- รูปแบบตัวอักษร บทความภาษาไทยใช้ TH SarabunPSK  
บทความภาษาอังกฤษใช้ Times New Roman

- การย่อหน้า 7 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 8

- จำนวนหน้า 12 หน้า แต่ไม่ควรเกิน 15 หน้า

- ชื่อบทความ ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 20 ตัวหนา

ภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

- ชื่อผู้เขียน ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 16 และจัดชิดซ้าย

ภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 และจัดชิดซ้าย

- ตัวเลขยก (ต่อท้ายนามสกุล) ขนาดตัวอักษร 14

- ที่อยู่ ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 13

ภาษาอังกฤษ และภาษาอังกฤษ 11

- ชื่อหัวเรื่องหลักในบทความ เช่น “บทคัดย่อ” “คำสำคัญ” “วิธีดำเนินการ” “ผลการวิจัย”

“สรุปผลการวิจัย” “กิตติกรรมประกาศ” “เอกสารอ้างอิง” จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ

กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา

- ชื่อหัวเรื่องรอง จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ

กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 11 ตัวหนา

- เนื้อหาในส่วนต่าง ๆ และคำสำคัญ

กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 14

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 11

- ชื่อตาราง

กรณีบทความภาษาไทย ชื่อความ “ตารางที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา  
วางด้านบน ซิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ชื่อความ “Table x” ใช้ขนาดตัวอักษร 11 ตัวหนา  
วางด้านบน ซิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 11 ไม่หนา

- ชื่อรูปภาพ

กรณีบทความภาษาไทย ชื่อความ “รูปที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา  
วางด้านล่างจัดซิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ชื่อความ “Figure x” ใช้ขนาดตัวอักษร 11 ตัวหนา  
วางด้านล่างจัดซิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 11 ไม่หนา

### 3. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

#### 3.1 บทความวิจัย จะประกอบไปด้วย

##### ก. ส่วนปก

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับรัด ไม่ยาวเกินไป  
บทความภาษาไทยชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทความภาษาอังกฤษชื่อเรื่องไม่ต้องมี  
ภาษาไทย

2. ชื่อผู้เขียน (Authors) ชื่อเต็ม - นามสกุลเต็ม ของผู้เขียนทุกคน โดยให้รายละเอียด  
ต้นสังกัดของผู้เขียนไว้ที่บรรทัดล่างสุดของหน้าแรก พร้อมทั้งระบุชื่อผู้เขียนประสานงาน (Corresponding  
Author) ด้วยการระบุ E-mail address ที่สามารถติดต่อได้ และให้ใส่เครื่องหมายดอกจันตรงด้วย  
กำกับไว้ต่อท้ายนามสกุล และตัวเลขยก ให้เขียนไว้ต่อท้ายนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน

3. บทคัดย่อ (Abstract) ควรสั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา  
ประกอบไปด้วยเนื้อหา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัย และการอภิปรายผล เป็นต้น โดยเขียน  
ลงใน 1 ย่อหน้า ถ้าบทความเป็นภาษาไทย จะต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย 1 ย่อหน้า และภาษาอังกฤษ  
1 ย่อหน้า โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน เนื้อความในบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษต้องมีความหมาย  
เดียวกัน ความยาวของบทคัดย่อภาษาอังกฤษ กำหนดให้มีความยาวได้ไม่เกิน 300 คำ

4. คำสำคัญ (Key words) เป็นการกำหนดคำสำคัญที่สามารถไปใช้เป็นคำสืบค้น  
ในระบบฐานข้อมูล หากเป็นบทความภาษาไทยต้องมีคำสำคัญ 2 ภาษา คือภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มี  
ความหมายตรงกัน ส่วนกรณีของบทความภาษาอังกฤษให้มีเพียงคำสำคัญในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น  
จำนวนคำสำคัญที่กำหนดให้มีความสำคัญได้น้อย 3 คำ แต่ไม่เกิน 5 คำ

**\*\*หมายเหตุ :** เนื้อหาส่วนปกจะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาษจำนวน 1 หน้า เท่านั้น

## ข. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (**Introduction**) เพื่ออธิบายถึงความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมถึงการทบทวนวรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (**Materials and Methods**) / วิธีดำเนินการวิจัย (**Research Methodology**) อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้ชัดเจน

3. ผลการวิจัย (**Results**) เสนอผลการทดลองอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมีรูปภาพและ/หรือ ตารางประกอบการอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ

4. การอภิปรายผล (**Discussion**) เป็นการอภิปรายผลการวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็นคล้อยตาม เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น พร้อมทั้งเสนอแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์ผลการวิจัย และการอภิปรายผล (**Results and Discussion**) อาจนำมาเขียนตอนเดียวกันได้

5. บทสรุป (**Conclusion**) สรุปประเด็น และสาระสำคัญของการวิจัย

6. กิตติกรรมประกาศ (**Acknowledgements**) เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย อาจมีหรือไม่ก็ได้

7. เอกสารอ้างอิง (**References**) เป็นรายการเอกสารที่ถูกอ้างไว้ในส่วนของเนื้อเรื่อง เพื่อใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัย จำนวนเอกสารที่นำมาอ้างอิงตอนท้ายต้องมีจำนวนตรงกับที่ถูกอ้างอิงไว้ในส่วนของเนื้อเรื่องที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การจัดเรียงให้เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเนื้อหาโดยให้ยึดถือรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงตามที่ทางวารสาร มทร.อีสาน กำหนด และต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

### 3.2 บทความวิชาการ จะประกอบไปด้วย

#### ก. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย และเขียนให้อยู่ในกระดาษ จำนวน 1 หน้า เท่านั้น

#### ข. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (**Introduction**) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ

2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (**Method**) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือการดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ

3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (**Results**) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็น โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ

4. สรุป (**Conclusion**) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา

5. เอกสารอ้างอิง (**References**) ใช้รูปแบบที่วารสารกำหนด รายการการอ้างอิงต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

## 4. การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (**In-text Citations**)

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องใช้รูปแบบ IEEE ระบบตัวเลข (**Numerical System**) เท่านั้น โดยรายการอ้างอิงเอกสารให้จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ หมายเลขลำดับของเอกสารอ้างอิงในเครื่องหมาย

วงเล็บกรอบสี่เหลี่ยม ตัวอย่างเช่น [1] เป็นต้น หากเป็นการอ้างอิงเอกสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน ให้ใส่หมายเลขอ้างอิงเรียงตามลำดับ จากน้อยไปหามาก เช่น [1] - [3] หรือ [1], [2], [5] เป็นต้น

### การเขียนรายการเอกสารอ้างอิง (Reference list)

#### 1) หนังสือ

[X] ผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อหนังสือ.// ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).// เมืองที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์.

ตัวอย่างเช่น

[1] Herren, Ray V. (1994). **The Science of Animal Agriculture**. Albany, N.Y. : Delmar Publishers.

#### 2) หนังสือแปล

[X] ผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่องของหนังสือแปล// แปลจาก(ชื่อเรื่องในภาษาเดิม).// โดย/ชื่อผู้แปล.// ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).// เมืองที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

[2] Grmek, Mirko D. (1990). **History of AIDS : Emerging and Origin of a Modern Pandemic**. Translated by Russell C. Maulitz, and Jacalyn Duffin. Princeton, N.J.: University Press

#### 3) บทความหรือบทในหนังสือ

[X] ผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ชื่อเรื่อง./ชื่อบรรณาธิการหรือผู้รวบรวม(ถ้ามี).// หน้า/เลขหน้า.// สถานที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

[3] McTaggart, J. M. E. (1993). The Unreality of Time. **Philosophy of Time**. Robin Le Poidevin, and Murray MacBeath, eds. pp. 23-34. Oxford : Oxford University Press

#### 4) บทความในหนังสือรายงานประชุมทางวิชาการ/สัมมนาทางวิชาการ

[X] ผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ชื่อบรรณาธิการ(ถ้ามี).// ชื่อเรื่องรายงานการประชุม.// หน้า/เลขหน้า.// สถานที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

[4] Beales, P. F. (1980). The Status of Malaria in Southeast Asia. **Proceedings of the Third Asian Congress of Pediatrics**. Aree Valyasevi, and Vidhaya Mekanandha, eds. pp. 52-58. Bangkok : Bangkok Medical Publisher

#### 5) วารสาร

[X] ผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ.// ชื่อวารสาร.// ปีที่.// ฉบับที่.// หน้า/เลขหน้า

ตัวอย่างเช่น

[5] Vitsanusat, A. and Phachirarat, S. (2015). Measurement of Radon in Drinking Water at Amphur Meaung, Khonkhaen Province with Ionization chamber. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 8, No. 2, pp. 12-20

6) บทความในหนังสือพิมพ์

[X] ชื่อผู้เขียน.// (ปี./วัน./เดือน).// ชื่อบทความ./ใน/ชื่อหนังสือพิมพ์./หน้า/เลขหน้า  
ตัวอย่างเช่น

[6] Vitit Muntarbhorn. (1994. 21. March). **The Sale of Children as a Global Dilemma.**  
Bangkok Post. p. 4

7) บทความในสารานุกรม

[X] ชื่อผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ใน/ชื่อสารานุกรม.//เล่มที่:/หน้า/เลขหน้า-เลขหน้า  
ตัวอย่างเช่น

[7] Morrow, Blaine Victor. (1993). Standards for CD-Rom Retrieval. **Encyclopedia of Library and Information Science.** Vol. 51, pp. 380-389

8) วิทยานิพนธ์

[X] ผู้เขียนวิทยานิพนธ์.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อวิทยานิพนธ์.// ระดับวิทยานิพนธ์/ชื่อสาขา/คณะ/  
มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างเช่น

[8] Phillips, O. C., Jr. (1962). **The Indfluence of Ovidd on Lucan's Bellum Civil.** Ph.D.  
Dissertation University of Chicago

9) สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (สื่ออิเล็กทรอนิกส์) : www

[X] ผู้เขียน.//ปี.//ชื่อบทความ.//ชื่อวารสารหรือนิตยสาร./ปีที่(เดือนหรือฉบับที่):/เลขหน้า(ถ้ามี).//  
เข้าถึงเมื่อ (วัน เดือน ปีที่ค้นข้อมูล)/เข้าถึงได้จาก (ที่อยู่ของบทความหรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ URL)

ตัวอย่างเช่น

[9] Department of the Environment and Heritage. (1999). **Guide to Department and Agency Libraries.** Access (17 November 2000). Available (<http://www.erin.gov.au/library/guide.html>)

10) ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

[X] ชื่อหน่วยงาน.// (ปีที่พิมพ์)./ชื่อหนังสือ/เล่มที่(ถ้ามี).//ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).//เมืองที่พิมพ์:/  
สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

[10] Prince of Songkla University. (2009). **Annual Report 2008.** Songkhla: Prince of Songkla University

11) มีเฉพาะชื่อบรรณาธิการเป็นผู้รวบรวม

[X] ชื่อบรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม หรือผู้เรียบเรียง.// (ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ.//เล่มที่ (ถ้ามี)//  
ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี)//เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

[11] Rueangwit Limpanat. (2000). **Local - India.** Chonburi: Department of History Faculty of Humanities And social science Burapa university

## 5. รูปแบบการใส่รูปภาพในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อรูปภาพห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) รูปภาพที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงรูปภูมุนั้น ๆ
- 3) คำอธิบายรูปภาพ ให้เขียนไว้ใต้รูปภาพแต่ละรูป โดยจัดรูปภาพไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ และคำอธิบายจัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
- 4) ไฟล์ของรูปภาพต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .jpg, .png, .tiff หรือ .eps เท่านั้น ความละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi
- 5) ลายเส้นที่ปรากฏบนรูปภาพต้องมีความคมชัด กรณีที่เป็นรูปภาพ ต้องระบุชื่อแกนต่าง ๆ ให้ครบถ้วน
- 6) กรณีที่มีรูปภูมุน้อย ควรจัดให้รูปภูมุน้อยทั้งหมดอยู่ในหน้าเดียวกัน สำหรับบทความภาษาไทย ให้เขียนคำบรรยายใต้ชื่อรูปภูมุน้อยแต่ละรูป และกำหนดลำดับของรูปภาพด้วยตัวอักษร ตัวอย่างเช่น



(ก) รูปภูมุน้อยที่ 1



(ข) รูปภูมุน้อยที่ 2

### รูปที่ 1 ตัวอย่างการเขียนคำอธิบายรูปภาพ

- สำหรับบทความภาษาอังกฤษ ให้ใช้อักษร (a), (b),... แทนการกำหนดรูปภูมุน้อย
- 7) การเว้นระยะบรรทัด ก่อนรูปภาพ ให้เว้น 1 บรรทัด และหลังจากชื่อรูปภาพ ให้เว้น 1 บรรทัด
  - 8) การใช้ภาพสี อาจทำให้เกิดความสวยงาม แต่ให้คำนึงถึงการสื่อความหมายกรณีที่มีการจัดพิมพ์เอกสารแบบขาวดำเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ กรณีที่เป็นกราฟควรกำหนดลักษณะเส้นที่แตกต่างกันเพื่อให้สามารถเข้าใจได้ เมื่อมีการจัดพิมพ์แบบขาว - ดำ
  - 9) ขนาดของรูปต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้
  - 10) หากเป็นการคัดลอกรูปภาพมาจากที่อื่น ผู้เขียนควรมีการอ้างอิงแหล่งที่มาให้ถูกต้อง

## 6. รูปแบบการใส่ตารางในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อตารางห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) ตารางที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงตารางนั้น ๆ
- 3) คำอธิบายตาราง ให้เขียนไว้ด้านบนของตาราง โดยจัดคำอธิบายไว้ชิดขอบด้านซ้ายของหน้ากระดาษ และตารางอยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ควรจัดเนื้อหาตารางให้อยู่บนหน้าเดียวกัน กรณีที่ตารางมีความยาวเกินหน้ากระดาษ ให้ใส่ชื่อตาราง “ตารางที่ x .....” ไว้ที่ด้านบนของตารางในหน้าแรก และใส่ชื่อตาราง “ตารางที่ x ..... (ต่อ)” ไว้ที่ด้านบนของตารางในหน้าถัดไป
- 4) ขนาดของตารางต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้
- 5) การเว้นระยะบรรทัด ก่อนชื่อตาราง ให้เว้น 1 บรรทัด และหลังสิ้นสุดตาราง ให้เว้น 1 บรรทัด
- 6) การกำหนดเส้นขอบตาราง ให้กำหนดเฉพาะเส้นด้านบน และด้านล่างของบรรทัด ดังตัวอย่าง

## ตารางที่ 1 ตัวอย่างการนำเสนอตาราง

Table Head	Table Column Head	
	Subhead (unit)	Subhead (unit)
xxx	123	456
xxx	321	654

### 7. รูปแบบการใส่สมการในเนื้อหาบทความ

- 1) จัดตำแหน่งของสมการไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 2) พิมพ์สมการด้วยโปรแกรม MathType โดยใช้รูปแบบตัวอักษร Times New Roman ขนาด 11
- 3) ระบุเลขลำดับสมการโดยเขียนไว้ในวงเล็บ จัดตำแหน่งเลขสมการชิดขวาของหน้ากระดาษ เช่น

$$y = ax + b \quad (1)$$

- 4) ทุกสมการต้องมีการอ้างถึงในเนื้อหา ให้ระบุเลขและเขียนไว้ในวงเล็บ เช่นเดียวกับที่ปรากฏในสมการ
- 5) การเว้นระยะบรรทัด ก่อนสมการ ให้เว้น 1 บรรทัด และหลังสมการ ให้เว้น 1 บรรทัด

### 8. การดำเนินงานของกองบรรณาธิการ

1) บทความที่ส่งเข้าวารสาร ต้องส่งผ่านระบบออนไลน์ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutjo/index> โดยดำเนินการสมัครสมาชิก และชำระค่าสมาชิกจำนวน 1,000 บาท ซึ่งจะมีอายุสมาชิก 1 ปี

2) บทความที่ถูกส่งเข้ามายังระบบ กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป บทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนดจะไม่รับเข้าสู่กระบวนการพิจารณา โดยผู้ทรงคุณวุฒิ และจะส่งกลับเพื่อทำการแก้ไข ดังนั้น เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในเข้าสู่กระบวนการพิจารณาผล ผู้เขียนควรดำเนินการจัดทำวารสารให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

3) เมื่อบทความผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร และผู้เขียนได้ดำเนินการจัดเตรียมเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ครบถ้วนตามข้อกำหนดของวารสารเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนจะได้รับหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความเพื่อเป็นการยืนยัน

4) หากทางวารสารตรวจพบว่าบทความที่ถูกส่งเข้ามามีการคัดลอก หรือเผยแพร่ในที่อื่น ๆ ก่อนหน้า หรือมีการดำเนินการใด ๆ อันเป็นการกระทำที่ผิดจรรยาบรรณของนักวิจัย ทางวารสารจะดำเนินการทำหนังสือแจ้งไปยังหน่วยงานต้นสังกัด และระงับการพิจารณาและรับบทความจากผู้เขียนบทความนั้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 ปี



หมายเลขสมาชิก

.....  
(สำหรับเจ้าหน้าที่)

แบบฟอร์มการส่งบทความ  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) .....

ระดับการศึกษาสูงสุด ..... ตำแหน่งทางวิชาการ .....

หน่วยงาน .....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....โมบาย.....

e-mail.....

ขอส่ง  บทความวิจัย  บทความวิชาการ  บทความจากวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์

ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....

(ภาษาอังกฤษ) .....

ชื่อผู้เขียนร่วม

1. ....

2. ....

3. ....

4. ....

สาขาหลักของบทความ (กรุณาเลือก)

วิศวกรรมศาสตร์ ENG  เกษตรศาสตร์ AGR  สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถิติ IG

สาขารองของบทความ (สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> ไฟฟ้า             | <input type="checkbox"/> อิเล็กทรอนิกส์      | <input type="checkbox"/> คอมพิวเตอร์       |
| <input type="checkbox"/> สื่อสาร-โทรคมนาคม | <input type="checkbox"/> สัตวศาสตร์          | <input type="checkbox"/> ศิลปะและการออกแบบ |
| <input type="checkbox"/> วัสดุและโลหะ      | <input type="checkbox"/> โยธา-สำรวจ          | <input type="checkbox"/> สิ่งแวดล้อม       |
| <input type="checkbox"/> พลังงาน           | <input type="checkbox"/> สถาปัตยกรรม         | <input type="checkbox"/> พีชไร์            |
| <input type="checkbox"/> พืชสวน            | <input type="checkbox"/> วิทยาศาสตร์การอาหาร | <input type="checkbox"/> ICT               |
| <input type="checkbox"/> อุตสาหการ         | <input type="checkbox"/> เคมี                | <input type="checkbox"/> คณิตศาสตร์        |
| <input type="checkbox"/> สถิติประยุกต์     | <input type="checkbox"/> เครื่องกล           | <input type="checkbox"/> โภชนศาสตร์        |
| <input type="checkbox"/> ฟิสิกส์           | <input type="checkbox"/> อื่น ๆ .....        |  |

ขอเสนอชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง

1. ชื่อ-สกุล .....ตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ.....สาขาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับส่งเอกสาร.....

หมายเลขโทรศัพท์.....Email.....

2. ชื่อ-สกุล .....ตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ.....สาขาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับส่งเอกสาร.....

หมายเลขโทรศัพท์.....Email.....

#### หมายเหตุ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีตำแหน่งทางวิชาการ ระดับ ผศ. ขึ้นไป หรือจบการศึกษาระดับปริญญาเอก และต้องไม่สังกัดหน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์
2. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการเป็นผู้พิจารณาคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาผลงานทางวิชาการ
3. เจ้าของบทความที่ผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร จะต้องสมัครสมาชิกวารสาร มทร.อีสาน อย่างน้อย 1 ปี เพื่อเป็นการยืนยันการตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่าง ๆ ในแบบฟอร์มแนบท้าย ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ใน “คำแนะนำผู้เขียน” ที่ทางกองบรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ได้กำหนดขึ้น และยินดีให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์ที่จะไม่รับพิจารณา หากไม่จัดรูปแบบตามที่กำหนด ยินยอมให้มีสิทธิ์ในการเลือกสรรหาผู้กลั่นกรองโดยอิสระเพื่อพิจารณาคัดฉบับที่ข้าพเจ้า (และผู้แต่งร่วม) ส่งมา ยินยอมให้กองบรรณาธิการสามารถตรวจแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวได้ตามที่เห็นสมควร และข้าพเจ้า “ขอรับรองว่า บทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน”

หากข้าพเจ้ามีความประสงค์ในการขอยกเลิกการพิจารณาบทความหลังจากวันที่ได้รับหนังสือยืนยันการรับบทความ ข้าพเจ้ายินดีรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่มหาวิทยาลัยฯ ดำเนินการตามกระบวนการวารสาร มทร.อีสาน ตามที่จ่ายจริง

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ  
วารสาร มทร.อีसान ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีसान

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง .....

โดย .....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
และตีพิมพ์ในวารสาร มทร.อีसान  
ปีที่..... ฉบับที่.....(.....-..... พ.ศ.....)

(.....)  
บรรณาธิการ วารสาร มทร.อีसान ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีसान



ใบสมัครสมาชิก  
วารสาร มทร.อีसान ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีसान

หมายเลขสมาชิก

.....  
(สำหรับเจ้าหน้าที่)

วันที่สมัคร.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ .....

.....โทรศัพท์.....

ออกใบเสร็จในนาม ชื่อ.....

ที่อยู่.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิก

วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีसान (1 ปี มี 3 ฉบับ 1,000 บาท)

โดย  สมัครเป็นสมาชิกใหม่ จำนวน ..... ปี เริ่มตั้งแต่ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

ต่ออายุสมาชิก จำนวน ..... ปี เริ่มตั้งแต่ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน.....บาท

(ตัวอักษร).....

ซึ่งได้ชำระเงินผ่านทางบัญชีกองทุนสนับสนุนการวิจัย ธนาคารกรุงไทย สาขาม.เทคโนโลยีราชมงคลอีसान นครราชสีมา ชื่อบัญชี “กองทุนสนับสนุนการวิจัย มทร.อีसान” บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 980-9-74231-2

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการจ่ายเงินและใบสมัครสมาชิก มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน การสมัครสมาชิกจะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ.....ผู้สมัคร

(.....)



หนังสือยืนยันการถอนบทความ  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....  
สังกัดหน่วยงาน .....  
มีความประสงค์ขอลงการพิจารณาบทความเรื่อง .....  
.....  
.....  
ที่ได้ส่งเข้ามายังวารสาร มทร.อีสาน เมื่อวันที่..... และยินยอม  
รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน เป็นจำนวนเงิน ..... บาท  
(.....) โดยชำระเงินผ่านทางบัญชีกองทุนสนับสนุนการวิจัย  
ธนาคารกรุงไทย สาขาม.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ชื่อบัญชี “กองทุนสนับสนุนการวิจัย  
มทร.อีสาน” บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 980-9-74231-2

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการชำระเงินและหนังสือยืนยันการถอนบทความ มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่  
E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน ข้อมูลการชำระเงิน  
จะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ.....ผู้ถอนบทความ  
(.....)



**RMUTI**

**ราชมงคลอีสาน**



# RMUTI JOURNAL

Science and Technology

Vol. 14 No. 2 May - August 2021



**Institute of Research and Development**

Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Meuang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Tel. (66) 4423 3063 Fax. (66) 4423 3064

E-mail : [rmuti.journal@gmail.com](mailto:rmuti.journal@gmail.com) <http://ird.rmuti.ac.th/2015>