# วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567

ISSN : 3027-821X (Online)

PHRANAKHON RAJABHAT

# RESEARCH JOURNAL

(Science and Technology)

**วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**
**Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567 Vol. 19 No.2 July - December 2024
เจ้าของ
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ISSN : 3027-821X (Online)

**วัตถุประสงค์**

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567 เป็นวารสารวิชาการระดับชาติที่อยู่ในฐานข้อมูลของ TCI ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่แลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการและการวิจัยของคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้มีบทความเกี่ยวกับศาสตร์ทางด้านฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ วัสดุศาสตร์ การจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คหกรรมศาตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ สาธารณสุขศาสตร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์และวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ ทุกเรื่องมีความน่าสนใจ ซึ่งบทความทุกบทความได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้น ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจต่อไป

การจัดทำวารสารฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่งจากผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ ตลอดจนบุคคลท่านอื่น ๆ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
บรรณาธิการวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers)
## ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

# สารบัญ

# ผลของอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อสมบัติของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยวิธีสปัตเตอริง

# THE EFFECT OF $N_2$ FLOW RATE TO PROPERTY OF (Cr-Al-Nb-Si-V)N FILM BY SPUTTERING TECHNIQUE

วุฒิชัย แพงาม[1]* ณัฐพงศ์ วงษ์ดำเนิน[2] ธนพจน์ ไชยคีรี[3] ทศพร เลิศวณิชผล[4] และ มติ ห่อประทุม[4]
[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000
[3]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140
[4]ทีมวิจัยเทคโนโลยีเซนเซอร์แสงไฟฟ้าเคมี ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ปทุมธานี 12120

Wuttichai Phae-ngam [1]*, Natthapong Wongdamnern[2], Tanapoj Chaikeeree[3],
Tossaporn Lertvanithphol[4] and Mati Horprathum[4]

[1] Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220
[2]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000
[3] Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140
[4]Opto-Electrochemical Sensing Research Team, National Electronics and Computer Technology Center, Pathum Thani, 12120

*E-mail: wuttichai@pnru.ac.th

*Received: 2024-07-18*
*Revised: 2024-08-06*
*Accepted: 2024-08-08*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่างกัน ตั้งแต่ 0-5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีมาตรฐาน (Standard cubic centimeters per minute; sccm) ด้วยวิธีสปัตเตอริง โดยผลของอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0 sccm ผิวฟิล์มที่ได้มีลักษณะที่เรียบและมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐาน ต่อมาเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเป็น 1-5 sccm ลักษณะผิวของฟิล์มจะเห็นเกรนได้อย่างชัดเจน โดยมีขนาด 16.6±2.9 ถึง 42.0±5.1 นาโนเมตร ตามลำดับ และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์ที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเป็น 5 sccm ซึ่งฟิล์มทั้งหมดมีองค์ประกอบธาตุซึ่งมีธาตุ Cr มากที่สุด ส่วนสมบัติด้านความแข็งและมอดูลัสได้รับผลจากการเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนอย่างชัดเจน โดยที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนระหว่าง 0-3 sccm ฟิล์มจะมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.4±0.8 ถึง 11.8±0.4 จิกะปาสคาล และค่ามอดูลัสเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 145.7±13.7 ถึง 157.3±5.8 จิกะปาสคาล ซึ่งต่ำกว่าฟิล์มที่เคลือบโดยใช้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 5 sccm ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 14.7±0.8 จิกะปาสคาล และค่ามอดูลัสเฉลี่ยที่ 181.1±4.2 จิกะปาสคาล อันแสดงให้เห็นว่าเมื่อฟิล์มเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแบบอสัณฐานเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์ จะทำให้ค่าความแข็งและค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** ฟิล์มไนไตรด์ ฟิล์มโลหะแก้ว สปัตเตอริง

**ABSTRACT**

This research aims to study the chemical and physical properties of (Cr-Al-Nb-Si-V)N films deposited with varying nitrogen gas flow rates ranging from 0 to 5 sccm using the sputtering method. The results indicate that the nitrogen gas flow rate significantly affects the film's morphology and crystal structure. At 0 sccm nitrogen gas flow rate, the film's morphology appears smooth surface and the crystal structure exhibits an amorphous. However, when the nitrogen gas flow rate is increased to 1-5 sccm, the film surface shows distinct grains with sizes ranging from 16.6±2.9 to 42.0±5.1 nanometers, respectively. At a nitrogen gas flow rate of 5 sccm, the crystal structure exhibits a polycrystalline. All films showed the element composition with Cr as the predominant element. The hardness and modulus properties are also notably influenced by the change in nitrogen gas flow rates. At nitrogen gas flow rates between 0 and 3 sccm, the films exhibit average hardness values ranging from 10.4±0.8 to 11.8±0.4 GPa and average modulus values ranging from 145.7±13.7 to 157.3±5.8 GPa. These values are lower than those of the films deposited at a nitrogen gas flow rate of 5 sccm, where the average hardness is 14.7±0.8 GPa and the average modulus is 181.1±4.2 GPa. This demonstrates that when the crystal structure of the film was changed from amorphous to polycrystalline, the hardness and modulus values increased.

**Keyword:** Nitride film, Metallic glass film, Sputtering

**บทนำ**

โลหะแก้วเป็นโลหะที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานเกิดจากกระบวนการหล่อที่มีการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างภายในเนื้อโลหะไม่สามารถจับตัวเป็นผลึกได้ทันซึ่งเป็นโครงสร้างที่คล้ายกับโครงสร้างของแก้วจึงเรียกโลหะชนิดนี้ว่าโลหะแก้ว (Metallic glass) และจากโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึกจึงส่งผลต่อสมบัติทางกลของโลหะแก้วให้มีความแตกต่างจากโลหะทั่วไป เช่น จากการจัดเรียงตัวของอะตอมไม่เป็นระเบียบทำให้ไม่มีกลไกการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน (Dislocation) ซึ่งแตกต่างจากโลหะทั่วไปที่มีการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันบนโครงสร้างของอะตอมที่เรียงชิดติดกัน (Close pack plane) โดยการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันนั้นทำให้เกิดการแปรรูปแบบถาวรหรือการแปรรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ซึ่งทำให้โลหะปกตินั้นเกิดการแปรรูปได้ง่ายกว่าโลหะแก้ว และจากการที่โลหะแก้วไม่มีโครงสร้างแบบผลึกจึงไม่มีระนาบของอะตอมที่เรียงชิดติดกัน (Close pack plane) จึงไม่มีทิศทางในการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันทำให้เกิดการแปรรูปได้ยากกว่าโลหะปกติทั่วไปทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าโลหะทั่วไป (Kowong et al., 2023; Sharma & Zadorozhnyy 1933; Ma et al., 2021; Sharma et al., Yiu et al., 2020) โดยโลหะแก้วต้องขึ้นรูปด้วยอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการผสมโลหะแก้วจำเป็นต้องมีการเลือกใช้ธาตุที่ผสมกันหลาย ๆ ธาตุเพื่อให้เกิดเป็นโลหะที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานเนื่องจากธาตุที่จะนำมาผสมแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน จึงส่งผลต่อการเกิดเป็นโลหะแก้วที่ต่างกัน โดยมีหลักดังนี้ 1) ส่วนประกอบธาตุในระบบควรมีธาตุมากกว่าสามธาตุ เพื่อเป็นการเพิ่มความยุ่งเหยิงให้กับระบบอันส่งผลให้การเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกลดลง 2) ความแตกต่างของขนาดอะตอมควรมีอัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 12 ในสามองค์ประกอบหลัก 3) ค่าความร้อนระหว่างการรวมกันของธาตุผสมต่าง ๆ ต้องเป็นค่าน้อยกว่าศูนย์ เนื่องจากค่าความร้อนที่น้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งทำให้อะตอมแม้ขนาดต่างกันแต่ก็จะมาทำ

ปฏิกิริยากันแล้วจะยึดกันแน่นในลักษณะที่โครงสร้างยุ่งเหยิง ทำให้เมื่อเกิดการเย็นตัวอะตอมที่จับตัวกันไม่มีโอกาสที่จะย้ายตำแหน่งเพื่อไปจัดโครงสร้างให้เป็นระเบียบ 4) มีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกับจุดยูเทคติก (Eutectic point) เนื่องจากจุดยูเทคติกเป็นจุดที่เมื่ออุณหภูมิของระบบลดลงของเหลวจะเปลี่ยนเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว ทำให้อะตอมไม่มีเวลาจัดเรียงตัวให้ได้โครงสร้างที่เป็นระเบียบ ทั้งนี้งานด้านโลหะแก้วได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยงานวิจัยของ Wang et al. (2004) ได้สังเคราะห์งานวิจัยด้านโลหะแก้วไว้ถึง 27 ชนิด และโลหะแก้วที่มีจำนวนธาตุประกอบสูงสุด คือ Fe-(Nb, Mo)-(Al, Ga)-(P, C, B, Si, Ge) ประกอบด้วย 10 ธาตุ

ฟิล์มโลหะแก้วเป็นฟิล์มที่ถูกพัฒนาต่อจากฟิล์มโลหะ โดยการใช้สารเคลือบที่ประกอบไปด้วยโลหะหลายชนิดพร้อมกันอย่างน้อย 3 ชนิด ทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐานเพื่อพัฒนาสมบัติบางประการให้มีค่าสูงขึ้น เช่น ค่าความแข็ง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าการนำความร้อน เป็นต้น ทั้งนี้การที่จะพัฒนาสมบัติใดให้เป็นไปได้ตามต้องการนั้นต้องเริ่มจากการเลือกธาตุที่จะใช้นำมาเคลือบฟิล์มอย่างเหมาะสม ยกตัวอย่างงานของ Rajan & Arockiarajan (2021) ทำการศึกษาการใช้ฟิล์มโลหะแก้วในการปลูกถ่ายทางชีวภาพและเครื่องมือผ่าตัด ซึ่งใช้ธาตุ Zr-based Ti-based และ Fe-based ในการสร้างวัสดุและอุปกรณ์ทางการแพทย์พบว่าเข็มที่เคลือบฟิล์มโลหะแก้วจะไม่ทำการดึงเนื้อเยื่อขึ้นมาทำให้ลดความเสียหายของเนื้อเยื้อที่ไม่จำเป็นลงได้ (Wang, 2016)

ฟิล์มโลหะไนไตรด์ถูกพัฒนาต่อมาจากฟิล์มโลหะเพื่อเพิ่มสมบัติในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น ความสวยงาม ความแข็ง เป็นต้น ซึ่งมีวิธีการเคลือบได้หลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือสปัตเตอริง (Aissani et al., 2022; Choa, 2022; Li et al., 2021; Nguyen et al., 2023) โดยระหว่างการเคลือบจะทำการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็นฟิล์มไนไตรด์ซึ่งจะได้ฟิล์มที่มีความบริสุทธิ์สูงและกระบวนการนี้จะเพิ่มสมบัติด้านการยึดเกาะได้ดีในต้นทุนต่ำจึงถูกประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การเคลือบแข็งเพื่อทนการขัดสี เป็นต้น งานวิจัยนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคระหว่างฟิล์มโลหะแก้วและฟิล์มโลหะไนไตรด์เพื่อศึกษาและพัฒนาสมบัติของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยวิธีสปัตเตอริง

## วิธีการ

การวิจัยนี้ใช้ระบบเคลือบฟิล์มบางสุญญากาศเป็นระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงแบบสองหัวเคลือบที่มีกำลังเคลือบสูงสุด 300 วัตต์ เป้าสารเคลือบเป็นเป้า $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 1/8 นิ้ว วัสดุรองรับฟิล์มคือ แผ่นซิลิกอน ระนาบ (100) ก๊าซอาร์กอน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 (ก๊าซสปัตเตอร์) และก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99

การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ได้แก่ โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) รุ่น D8 Discover, Bruker AXS ค่าความแข็งและมอดูลัสด้วยเครื่อง Nanoindentation mechanical test รุ่น TI-900, Tribo Indenter, Hysitron ลักษณะพื้นผิวและเนื้อฟิล์มด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) รุ่น JSM 660LV , JEOL และอัตราส่วนธาตุด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) รุ่น SU8030 Hitachi high tech

กระบวนการเคลือบฟิล์มบางเริ่มจาก 1) การเตรียมชิ้นงานเข้าห้องเคลือบโดยนำวัสดุรองรับ (Substrate) หรือชิ้นงานที่ต้องการเคลือบเข้าห้องเคลือบ และวางบนแท่นวางชิ้นงานซึ่งสามารถปรับระยะห่างของวัสดุรองรับให้ห่างจาก

หน้าเป้าสารเคลือบ ($d_{s-t}$) ได้ตามต้องการ 2) การสร้างสภาวะสุญญากาศโดยลดความดันภายในห้องเคลือบให้ได้ความดันพื้น ($P_b$) เท่ากับ $5x10^{-5}$ มิลลิบาร์ 3) การทำความสะอาดหน้าเป้าซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการทำความสะอาดผิวหน้าเป้าสารเคลือบโดยวิธี pre-sputtering ในบรรยากาศก๊าซอาร์กอน ก่อนการเคลือบจริง โดยเลื่อนแผ่นบัง (Shutter) มากั้นระหว่างวัสดุรองรับและเป้าสารเคลือบ เพื่อไม่ให้สารเคลือบที่หลุดออกจากหน้าเป้าขณะทำ pre-sputtering ตกเคลือบลงบนวัสดุรองรับ ใช้เวลา 5 นาที 4) การเคลือบฟิล์มบางในขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบชิ้นงานตามที่ต้องการภายหลังการทำความสะอาดหน้าเป้าโดยการ pre-sputtering แล้ว โดยเริ่มจากการป้อนก๊าซอาร์กอนเข้าสู่ห้องเคลือบ จ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงให้แก่เป้าสารเคลือบ เพื่อสร้างสารเคลือบจากกระบวนการโกลว์ดิสชาร์จ (แผ่นบังยังปิดอยู่ ปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเคลือบตามเงื่อนไขในการทดลอง) เมื่อความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เป้าสารเคลือบไม่เปลี่ยนแปลง เริ่มการเคลือบฟิล์มบางโดยเลื่อนแผ่นบังที่ปิดหน้าเป้าสารเคลือบออก เพื่อเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มบางลงบนวัสดุรองรับ พร้อมบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า ค่าศักย์ไฟฟ้าและค่าความดันรวมขณะเคลือบ 5) การนำชิ้นงานออกจากห้องเคลือบโดยหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเคลือบฟิล์มตามระยะเวลาที่กำหนด ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ปิดการจ่ายก๊าซที่ใช้เคลือบ ปิดวาล์วสุญญากาศสูง แล้วปล่อยอากาศเข้าภาชนะสุญญากาศ เพื่อนำชิ้นงานที่ได้ออก

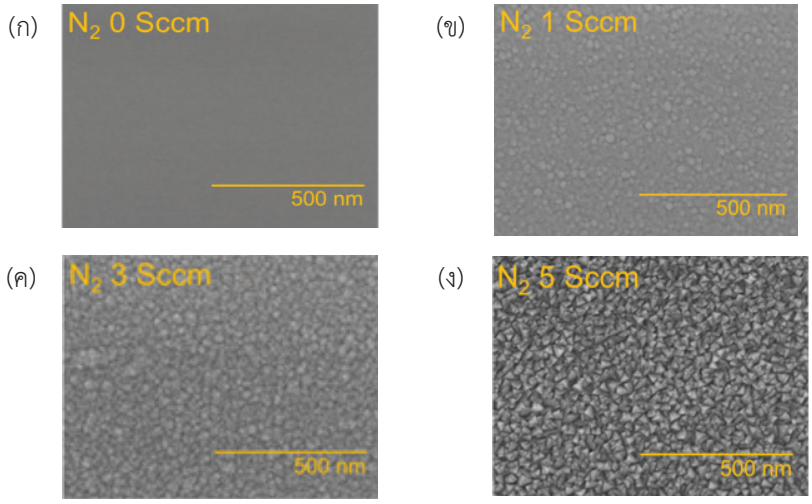
การเตรียมฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน

| เงื่อนไข | รายละเอียด |
|---|---|
| เป้าสารเคลือบ | $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ |
| วัสดุรองรับ | แผ่นซิลิกอน |
| ความดันพื้น (มิลลิบาร์) | $5x10^{-5}$ |
| ความดันขณะเคลือบ (มิลลิบาร์) | $3x10^{-3}$ |
| กระแสไฟฟ้าเป้า $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ (มิลลิแอมแปร์) | 800 |
| ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (เซนติเมตร) | 8 |
| อัตราไหลก๊าซอาร์กอน (sccm) | 36 |
| อัตราไหลก๊าซไนโตรเจน (sccm) | 0 1 3 และ 5 |
| เวลาเคลือบ (นาที) | 60 |

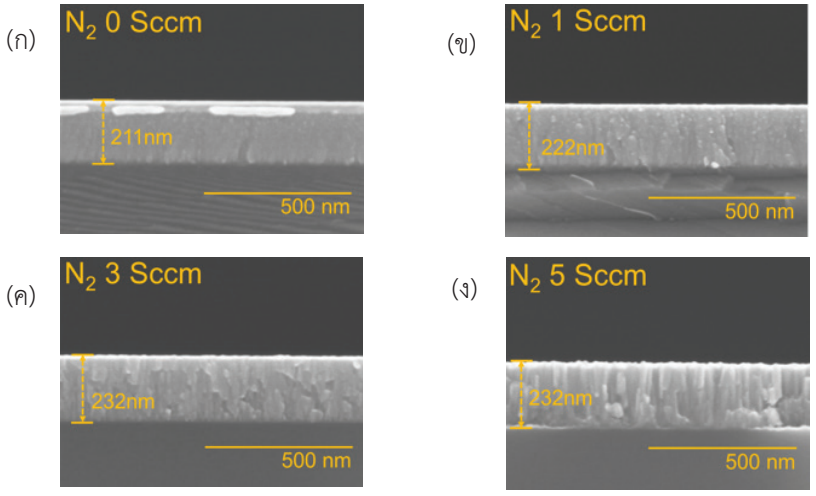
**ผลการทดลองและวิจารณ์**

ภาพที่ 1 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน คือ 0 1 3 และ 5 sccm




**ภาพที่ 1** ภาพถ่ายพื้นผิวฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ก) 0 sccm (ข) 1 sccm (ค) 3 sccm (ง) 5 sccm

โดยรวมแล้วนั้นภาพถ่ายกำลังขยายสูงที่ 150,000 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวฟิล์มที่เตรียมบนแผ่นซิลิกอนมีลักษณะการเกิดฟิล์มอย่างสม่ำเสมอ โดยฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบโดยไม่มีการเติมก๊าซไนโตรเจนจะมีลักษณะผิวที่ไม่สามารถมองเห็นเกรนของเนื้อฟิล์มได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบภายใต้เงื่อนไขนี้ฟิล์มที่ได้จะมีความเป็นฟิล์มโลหะแก้วโดยสมบูรณ์ (Metallic glass) และเมื่อทำการเติมก๊าซไนโตรเจนที่ 1 และ 3 sccm จะเห็นว่าพื้นผิวของฟิล์มปรากฏเกรนในลักษณะเป็นเม็ดกลม ที่มีขนาดเกรน 16.6±2.9 และ 26.9±1.3 นาโนเมตร ตามลำดับ ต่อมาทำการเคลือบฟิล์มที่ใช้ก๊าซไนโตรเจน 5 sccm พบว่าลักษณะพื้นผิวเป็นเม็ดเหลี่ยมมีขนาดเกรน 42.0±5.1 นาโนเมตร (Zhang et al., 2018)




**ภาพที่ 2** ภาพถ่ายภาพตัดขวางฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ก) 0 sccm (ข) 1 sccm (ค) 3 sccm (ง) 5 sccm

ภาพที่ 2 แสดงเป็นภาพตัดขวางที่แสดงลักษณะของฟิล์มและความหนาของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน คือ 0 1 3 และ 5 sccm โดยที่การเคลือบฟิล์ม Cr-Al-Nb-Si-V ที่ไม่เติมก๊าซไนโตรเจนและฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เติมไนโตรเจนที่ 1 sccm พบว่าฟิล์มมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันหรือแสดงความเป็นอสัณฐาน ต่อมาเมื่อเติมไนโตรเจนที่ 3 sccm พบว่าฟิล์มเริ่มแสดงให้เห็นเป็นลักษณะแท่งหรือคอลัมนา (Columnar) แต่ยังไม่ชัดเจน และเมื่อเติมก๊าซไนโตรเจนที่ 5 sccm พบว่าฟิล์มมีลักษณะเป็นคอลัมนาที่ชัดเจน (Li et al., 2017)

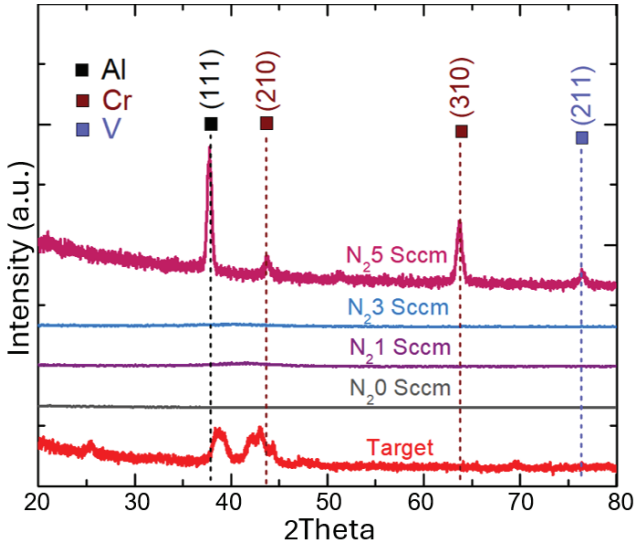
ความหนาของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการเติมก๊าซไนโตรเจนระหว่าง 0-5 sccm ส่งผลต่อความหนาของฟิล์มไม่มากนักแต่ส่งผลต่อลักษณะของเนื้อฟิล์ม โดยที่การเติมก๊าซไนโตรเจนไม่เกิน 3 sccm ฟิล์มยังคงเป็นอสัณฐานและมีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 211 นาโนเมตร เป็น 232 นาโนเมตร แต่เมื่อเติมก๊าซไนโตรเจน 5 sccm พบว่าฟิล์มมีลักษณะเป็นแบบลักษณะคอลัมนา เนื่องจากไนโตรเจนเข้าไปจับตัวกับสารเคลือบก่อตัวเป็นผลึกที่มีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ (Cubic structure) และมีความหนาคงที่ (Feng et al., 2022)

การวิเคราะห์อัตราส่วนธาตุของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน คือ 0 1 3 และ 5 sccm โดยเทคนิค EDX ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงค่าร้อยละองค์ประกอบธาตุโดยอะตอม (%Atomic Concentration) พบว่าเมื่อทำการเคลือบฟิล์มอะตอมของ Cr จะลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับอะตอมของ Cr ในเป้า $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ อาจเกิดจากปริมาณที่มีมากเกินไปในการจับตัวเป็นผิวฟิล์มเมื่อเทียบกับธาตุอื่น และพบว่าที่การเคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 5 sccm สามารถสร้างพันธะกับก๊าซไนโตรเจนได้สูงสุด โดยฟิล์มนี้มีร้อยละองค์ประกอบธาตุโดยอะตอม (%Atomic Concentration) ของก๊าซไนโตรเจนที่ร้อยละ 36.5 ซึ่งแสดงความเป็นผลึกชัดเจนที่สุดดังแสดงในผล XRD

**ตารางที่ 2** อัตราส่วนธาตุของฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน

| อัตราการไหลของ $N_2$ (sccm) | ร้อยละองค์ประกอบธาตุโดยอะตอม | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cr | Al | Nb | Si | V | N |
| เป้า $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ | 44.4 | 10.1 | 0.4 | 43.5 | 1.6 | - |
| 0 | 11.4 | 10.7 | 2.9 | 64.4 | 10.6 | - |
| 1 | 9.9 | 8.4 | 2.5 | 57.6 | 4.3 | 17.3 |
| 3 | 6.9 | 6.1 | 1.9 | 53.2 | 2.8 | 29.1 |
| 5 | 5.6 | 5.4 | 1.3 | 49.0 | 2.3 | 36.5 |

การศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน คือ 0 1 3 และ 5 sccm ด้วยเทคนิค XRD แสดงในภาพที่ 3 ซึ่งผลการทดลองอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน คือ 0 1 และ 3 sccm ฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N จะมีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสัณฐานยังไม่สามารถสร้างฟิล์มโลหะไนไตรด์ได้ แต่เมื่อใช้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 5 sccm พบว่าฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N แสดงความเป็นผลึกแบบโพลีคริสตัลไลน์อันประกอบไปด้วย Al Cr และ V โดยตรงกับ JCPDF หมายเลข 98-000-0062 04-015-0321 และ 04-004-4452 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดเป็นโครงสร้างผลึกแบบ Cubic โดย Al แสดงระนาบ (111) ที่มุม 2θ ที่ 38.474 องศา Cr แสดงระนาบ (210) ที่มุม 2θ ที่ 44.386 องศา และระนาบ (310) ที่มุม 2θ ที่ 64.577 องศา และ V แสดงระนาบ (211) ที่มุม 2θ ที่ 77.180 องศา (Li et al., 2017)




**ภาพที่ 3** กราฟ XRD ของฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N
ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน 0-5 sccm

**ตารางที่ 3** ค่าความแข็งและมอดูลัสของฟิล์มบาง (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน

| อัตราการไหลของ $N_2$ (sccm) | ความแข็งเฉลี่ย (จิกะปาสคาล) | มอดูลัสเฉลี่ย (จิกะปาสคาล) |
|---|---|---|
| 0 | 10.4±0.8 | 145.7±13.7 |
| 1 | 11.8±0.4 | 157.3±5.8 |
| 3 | 11.0±0.6 | 151.8±4.0 |
| 5 | 14.7±0.8 | 181.1±4.2 |

การศึกษาความแข็งและมอดูลัสของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน คือ 0 1 3 และ 5 sccm ด้วยเทคนิค XRD และ Nanoindentation mechanical test โดยสามารถหาค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งและมอดูลัสของฟิล์มตัวอย่างได้ดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งได้รับผลกระทบหลักมาจากลักษณะโครงสร้างผลึกของเนื้อฟิล์ม โดยฟิล์มที่มีลักษณะเป็นอสัณฐานจะมีค่าความแข็งต่ำไม่เกิน 12 จิกะปาสคาล ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้อัตราการไหลก๊าซไนโตรเจนระหว่าง 0-3 sccm แต่เมื่ออัตราการไหลไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 5 sccm พบว่าฟิล์มมีความแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่า 12 จิกะปาสคาล โดยมีค่าความแข็งสูงสุดที่ 14.7 GPa ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ฟิล์มนี้มีความเป็นผลึกชัดเจนจากผล XRD ในส่วนของค่ามอดูลัสนั้นก็พบว่าแนวโน้มค่ามอดูลัสจะสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 5 sccm จะทำให้ได้ค่ามอดูลัสเพิ่มเป็น 181 GPa จากการที่ฟิล์มแสดงสมบัติความเป็นผลึกนั่นเอง (Lee et al., 2015)

## สรุป

จากผลการเคลือบฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกัน คือ 0 1 3 และ 5 sccm พบว่าส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม ลักษณะเนื้อฟิล์ม โครงสร้างผลึก ความแข็ง และมอดูลัส โดยการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนทำให้ผิวฟิล์มและเนื้อฟิล์มมีเกรนที่เด่นชัดขึ้นจากผิวเรียบกลายเป็นผิวเม็ดกลม (อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 0-3 sccm) และเปลี่ยนเป็นเม็ดเหลี่ยมในที่สุด (อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 5 sccm) ซึ่งการที่ลักษณะของเกรนในเนื้อฟิล์มแสดงความเป็นเกรนที่มีเหลี่ยมชัดเจนนั้นเกิดจากการที่เนื้อฟิล์มเปลี่ยนจากอสัณฐานเป็นโพลีคริสตัลไลน์โดยยืนยันจากผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วย XRD แต่พบว่าฟิล์มที่ทำการเคลือบที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างกันทุกตัวอย่าง อะตอมธาตุ Cr ของฟิล์มจะลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับอะตอมของ Cr ในเป้า $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ อาจเกิดจากปริมาณที่มีมากเกินไปในการจับตัวเป็นผิวฟิล์มเมื่อเทียบกับธาตุอื่น และพบว่าที่การเคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 5 sccm สามารถสร้างพันธะกับก๊าซไนโตรเจนได้สูงสุด ส่วนค่าความแข็งและมอดูลัสของฟิล์มสามารถแบ่งได้ชัดเจนคือ เมื่อฟิล์มมีลักษณะโครงสร้างเป็นอสัณฐานจะมีค่าความแข็งและมอดูลัสต่ำกว่าฟิล์มที่มีโครงสร้างเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์ ดังนั้นหากทำการเติมก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหลมากกวา 5 sccm จะทำให้สมบัติการเป็นโลหะแก้วของ $Cr_{0.35}Al_{0.25}Nb_{0.12}Si_{0.08}V_{0.20}$ หายไปโดยสมบูรณ์

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าเราสามารถศึกษาสมบัติของฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนได้อันได้แก่ ลักษณะผิวฟิล์ม เนื้อฟิล์ม โครงสร้างผลึก อัตราส่วนธาตุ ความแข็ง และมอดูลัส ซึ่งเห็นความเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ นอกจากนั้นฟิล์ม (Cr-Al-Nb-Si-V)N ยังมีสมบัติอื่นที่น่าสนใจศึกษา เช่น สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติการนำความร้อน รวมทั้งความคงทนต่อสภาพแวดล้อม เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้สร้างองค์ความรู้ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ สามารถนำไปพัฒนาเป็นหัวข้อวิจัยระดับสูงได้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2565 และความร่วมมือวัดวิเคราะห์ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

**เอกสารอ้างอิง**

Aissani, L., Alhussein, A., Zia, A.W., Mamba, G., & Rtimi, S. (2022). Magnetron Sputtering of Transition Metal Nitride Thin Films for Environmental Remediation. **Coatings, 12**, 1746.

Chao, R., Cai, H., Li, H., & Xue, Y. (2022). Effect of Nitrogen Flow Rate on Microstructure and Optical Properties of $Ta_2O_5$ Coatings. **Coatings, 12**, 1745.

Feng, C., Feng, X., Guan, Z., Song, H., Wang, T., Liao, W., Lu, Y., & Zhang, F. (2022). Nanocrystalline (AlTiVCr)N Multi-Component Nitride Thin Films with Superior Mechanical Performance. **Nanomaterials, 12**, 2722.

Kowong, R., Denchitcharoen, S., Lertvanithphol, T., Triamnak, N., Chananonnawathorn, C., Lohwong watana, B., Chaiprapa, J., Songsiriritthigul, C., Treetong, A., Klamchuen, A., Songsiriritthigul, P., Muthitamongkol, P., Chia, J.Y., Jaruwongrungsee, K., Nuntawong, N., & Horprathum, M. (2023). Structural and mechanical behavior of Zr-W-Ti thin film metallic glasses prepared by multitarget co-magnetron sputtering. **Journal of Alloys and Compounds**, **936**, 168330.

Lee, J., Tung, H.C., & Duh, J.G. (2015). Enhancement of mechanical and thermal properties in Zr–Cu–Ni–Al–N thin film metallic glass by compositional control of nitrogen. **Materials Letters, 159**, 369-372.

Li, C.L., Chung, C.Y., Lou, B.S., Lee, J.W., & Chu, J.P. (2017). Effect of Nitrogen Content on the Corrosion Resistance of Zr-Ni-Al-Si Thin Film Metallic Glass**, International Journal of Electrochemical Science, 12**(12), 12074-12083.

Li, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Li, J., & Zhao, H. (2021). Effect of Nitrogen Flow Ratio on Degradation Behaviors and Failure of Magnetron Sputter Deposited Tantalum Nitride. **Coatings, 11**, 1133.

Ma, X., Sun, K., Li, P., Zhang, N., Wang, Q., & Wang, G. (2021). Enhanced Mechanical Properties of Metallic Glass Thin Films via Modification of Structural Heterogeneity. **Materials**, **14**(4), 999.

Nguyen, T.A.K., Dang, N.M., Lin, C.-H., Lee, M.-C., Wang, Z.-Y., Tsai, Y.-C., & Lin, M.-T. (2023). Effects of RF Magnetron Sputtering Power on the Mechanical Behavior of Zr-Cu-Based Metallic Glass Thin Films. **Nanomaterials**, **13**, 2677.

Sharma, A., & Zadorozhnyy, V. (1933). Review of the Recent Development in Metallic Glass and Its Composites. **Metals, 11**(12), 11121933.

Rajan, S.T., & Arockiarajan, A. (2021). Thin film metallic glasses for bioimplants and surgical tools: A review, **Journal of Alloys and Compounds, 876**, 159939.

Wang, W. H., Dong, C., & Shek, C. H. (2004). Bulk Metallic Glasses. **Materials Science and Engineering**, **44**, 45-89.

Wang, Y. (2016). **Engineering Si-Compatible Materials Based on Transparent Nitrides and Conductive Oxides (Tncos) for Broadband Active Plasmonics and Metamaterials Applications.** (Doctoral dissertation). Boston University, Boston, MA.

Yiu, P., Diyatmika, W., Bönninghoff, N., Lu, Y.C., Lai, B.Z., & Chu, J.P. (2020). Thin film metallic glasses: Properties, applications and future. **Journal of Applied Physics**, **127**(3), 030901.

Zhang, Y., Yan, X.-H., Liao, W.-B., & Zhao, K. (2018). Effects of Nitrogen Content on the Structure and Mechanical Properties of $(Al_{0.5}CrFeNiTi_{0.25})N_x$ High-Entropy Films by Reactive Sputtering. **Entropy, 20**, 624.

# 4-CYCLES AND AN EQUILIBRIUM POINT IN A PIECEWISE LINEAR MAP WITH INITIAL CONDITIONS ON THE POSITIVE Y-AXIS

Nattakan Rungjang, Wiphawee Khamhom and Wirot Tikjha*

Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

*E-mail: wirottik@psru.ac.th

*Received: 2024-04-02*
*Revised: 2024-08-18*
*Accepted: 2024-08-21*

## ABSTRACT

This article examines the behavior of a piecewise linear map, particularly when initial conditions are set along the positive y-axis. Our focus is on the emergence of 4-cycles and an equilibrium point within the map. We identify specific regions on the y-axis where the solutions tend to move toward these 4-cycles and the equilibrium point. By partitioning the positive y-axis into smaller segments, we analyze the solution behavior through a combination of direct calculation and induction methods. This approach allows us to demonstrate that the solutions consistently reach a prime period of 4 and an equilibrium point. Notably, this finding holds true regardless of the application of stability theorems, indicating a robust pattern in the solution dynamics. This study looks closely at how these solutions change over time, giving a clear picture of their paths. By carefully dividing the positive y-axis and studying each part, we find out why the solutions move towards the 4-cycles and the equilibrium point. This detailed look shows that the map's behavior is predictable and follows a certain pattern no matter where we start on the positive y-axis. Our research helps us understand piecewise linear systems better, and these insights could be useful for other similar systems. Our findings prove that periodic behavior and equilibrium are common in these maps, making it easier to predict how they will act over a long time.

**Keywords:** Difference equation, Periodic solution, Equilibrium point

## Introduction

The Lozi map (Lozi, 1978) is a widely recognized example of a piecewise linear map (PWL), representing the most basic form of a piecewise smooth map (PWS). Functioning as a simplified variant of the Hénon map, the Lozi map displays a peculiar attractor. An example of a piecewise linear map involving absolute values is part of this category. It is acknowledged that PWS maps can exhibit phenomena such as multistability (Simpson, 2010; Zhusubaliyev et al., 2008) and an abundance of coexisting attractors (Simpson, 2014a; Simpson, 2014b). A noteworthy open problem related to a piecewise linear system was outlined by Grove et al. (2012) as follows:

$$\begin{cases} x_{n+1} = |x_n| + ay_n + b \\ y_{n+1} = x_n + c|y_n| + d \end{cases}, n = 0,1,2,\ \ldots \tag{1}$$

where parameters $a, b, c$ and $d$ are in $\{-1,0,1\}$ and the initial condition $(x_0, y_0) \in \mathbf{R}^2$. Grove et al. (2012) discovered that each solution of a specific instance of the system described in System (1) eventually becomes a prime period 3 solution, excluding the unique equilibrium solution. In works by Tikjha et al. (2010; 2015; 2017) and Tikjha & Lapiere (2020), various special cases of System (1) were investigated, revealing the existence of periodic attractors. Through direct calculations and inductive statements, they demonstrated that every solution ultimately converges to either these attractors or the equilibrium point. Our objective is to extend the generalization to the parameter $b$ in the specified case of System (1), as outlined below:

$$\begin{cases} x_{n+1} = |x_n| - y_n + b \\ y_{n+1} = x_n - |y_n| + 1 \end{cases}, n = 0,1,2,\ldots \tag{2}$$

where $b$ is any real number. In their research, Krinket & Tikjha (2015) examined a unique instance of System (2) where they set b equal to -1. They observed that solutions, under specific initial conditions on the axis, eventually become prime period 4. In their study, Tikjha & Piasu (2020) explored the outcomes of an alternate scenario in System (2) where they assigned $b$ a value of -3:

$$\begin{cases} x_{n+1} = |x_n| - y_n - 3 \\ y_{n+1} = x_n - |y_n| + 1 \end{cases}, n = 0,1,2,\ldots \tag{3}$$

They determined that, when the initial condition lies within a specific region in the first quadrant, excluding the positive y-axis, the solutions eventually converge to either an equilibrium point or exhibit a prime period 4. As a result, we proceed to examine System (3) with the initial condition located on the positive y-axis.

## Methods

We intend to employ direct calculations by substituting specific initial conditions into System (3). An "iteration" refers to the process of repeatedly applying a function or map to a point or state of the system. By verifying the negativity or non-negativity of the system in each iteration, we will utilize this property to compute the subsequent iteration. The subsequent definitions (Grove & Ladas, 2005) will be applied in this paper. A two-dimensional system of difference equations of the first order is a system of the form:

$$\begin{cases} x_{n+1} = f(x_n, y_n) \\ y_{n+1} = g(x_n, y_n) \end{cases}$$

where $f$ and $g$ are continuous functions which map $\mathbf{R}^2$ into $\mathbf{R}$ and $n \geq 0$. A **solution** of the system of difference equations is a sequence $\{(x_n, y_n)\}_{n=0}^{\infty}$ which satisfies the system for all $n \geq 0$. If we prescribe an $(x_0, y_0) \in \mathbf{R}^2$ then solutions $(x_1, y_1) = (g(x_0, y_0), f(x_0, y_0))$, $(x_2, y_2) = (g(x_1, y_1), f(x_1, y_1)), \ldots$. A solution of the system of difference equations which is constant for all $n \geq 0$ is called an equilibrium solution. If $(x_n, y_n) = (\bar{x}, \bar{y})$ for all $n \geq 0$ is an equilibrium solution of the system of difference equations, then $(\bar{x}, \bar{y})$ is called an equilibrium point, or simply an equilibrium of the system of difference equations. A solution $\{(x_n, y_n)\}_{n=0}^{\infty}$ of a system of difference equations is called an eventually equilibrium point if there exists an integer $N > 0$ such that $\{(x_n, y_n)\}_{n=0}^{\infty}$ is the equilibrium point $(\bar{x}, \bar{y})$; that is, $(x_n, y_n) = (\bar{x}, \bar{y})$ for all $n \geq N$. A solution $\{(x_n, y_n)\}_{n=0}^{\infty}$ of a System (3) is called an eventually periodic with prime *period* $p$ or an eventually prime period $p$ solution (or $p$-cycle) if there exists an integer $N > 0$ and $p$ is the smallest positive integer such that $\{(x_n, y_n)\}_{n=0}^{\infty}$ is periodic with period $p$; that is, $(x_{n+p}, y_{n+p}) = (x_n, y_n)$ for all $n \geq N$. We denote $\{((a,b),(c,d),(e,f),(g,h))\}$ as 4-cycle which consists of 4 consecutive points: $(a,b)$, $(c,d)$, $(e,f)$ and $(g,h)$ in $xy$ plane. It is worth noting that a solution is eventually periodic with period $p$ (a solution is an eventually 4-cycle) when orbit (forward iterations) contains a point of the cycle (eventually 4-cycle).

## Results and Discussions

We will examine the dynamics of System (3) when the initial condition is situated the positive y-axis, that is $l_1 \cup l_2$ where $l_1 = \{(0, y) \in \mathbf{R}^2 \mid y \geq 1\}$ and $l_2 = \{(0, y) \in \mathbf{R}^2 \mid 0 < y < 1\}$. We assert that System (3) possesses an equilibrium point $(-1, -1)$, determined by solving equations $\bar{x} = |\bar{x}| - \bar{y} - 3$

and $\overline{y} = \overline{x} - |\overline{y}| + 1$. We also found two prime period 4 solutions (or 4-cycles):

$P_{4.1} = \{((-5,-1),(3,-5),(5,-1),(3,5))\}$ and $P_{4.2} = \{((1,-1),(-1,1),(-3,-1),(1,-3))\}$

of System (3). We will begin our investigation by calculating the first iteration for $(x_0, y_0) \in l_1$:

$x_1 = |x_0| - y_0 - 3 = -y_0 - 3 < 0$ and $y_1 = x_0 - |y_0| + 1 = -y_0 + 1 \le 0$ (4)

$x_2 = 2y_0 - 1 > 0$ and $y_2 = -2y_0 - 1 < 0$, (5)

$x_3 = 4y_0 - 3 > 0$ and $y_3 = -1$, (6)

$x_4 = 4y_0 - 5$ and $y_4 = 4y_0 - 3 > 0$ (7)

If $(0, y_0)$ is in the region for which $y_0 \ge \frac{5}{4}$ then $x_4 \ge 0$ and so

$x_5 = -5$ and $y_5 = -1$

So, we have the following lemma.

**Lemma 1** *Let* $(0, y_0) \in l_1$ *be an initial condition where* $y_0 \ge \frac{5}{4}$. *Then the fifth iteration of the solution of the system* (3) *is* $(-5,-1)$.

We will investigate the solution with the initial condition $(x_0, y_0)$ belonging to the remain region of $l_1$ as the following lemma.

**Lemma 2** *Let* $(0, y_0) \in l_1$ *be an initial condition where* $y_0 \in \left[1, \frac{5}{4}\right)$. *Then the solution of the system* (3) *is an eventually* $(-5,-1)$ or $(-1,1)$.

Proof. If we choose the initial condition with $y_0 = 1$ then $(x_1, y_1) = (-4, 0), (x_2, y_2) = (1, -3)$, $(x_3, y_3) = (1, -1)$ which is the member of $P_{4.2}$. Suppose that $y_0 \in \left(1, \frac{5}{4}\right)$. We have a closed form of the first four iterations in the form of equations (4) – (7) and $x_4 = 4y_0 - 5 < 0$. The following sequences are used in the inductive statement of this lemma: $a_n = \frac{2^{2n}+1}{2^{2n}}$ and $\delta_n = 2^{2n} + 1$. Let $P(n)$ be the following statement:

"for $y_0 \in (1, a_n)$,

$x_{4n+1} = -2^{2n+1} y_0 + 2\delta_n - 5 < 0$ and $y_{4n+1} = -1$,

$x_{4n+2} = 2^{2n+1} y_0 - 2\delta_n + 3 > 0$ and $y_{4n+2} = -2^{2n+1} y_0 + 2\delta_n - 5 < 0$,

$x_{4n+3} = 2^{2n+2} y_0 - 4\delta_n + 5 > 0$ and $y_{4n+3} = -1$,

$x_{4n+4} = 2^{2n+2} y_0 - 4\delta_n + 3$ and $y_{4n+4} = 2^{2n+2} y_0 - 4\delta_n + 5 > 0$.

If $y_0 \in [a_{n+1}, a_n)$ then $x_{4n+4} \ge 0$ and so

$x_{4n+5} = -5$ and $y_{4n+5} = -1$.

If $y_0 \in (1, a_{n+1})$ then $x_{4n+4} < 0$".

Firstly, we shall show that $P(1)$ is true. By letting $x_0 \in (1, a_1) = \left(1, \frac{5}{4}\right)$ we have,

$x_{4(1)+1} = x_5 = |x_4| - y_4 - 3 = -8y_0 + 5 = -2^{2(1)+1} y_0 + 2\delta_1 - 5 < 0$

$y_{4(1)+1} = y_5 = x_4 - |y_4| + 1 = -1,$

$x_{4(1)+2} = x_6 = |x_5| - y_5 - 3 = 8y_0 - 7 = 2^{2(1)+1} y_0 - 2\delta_1 + 3 > 0$

$y_{4(1)+2} = y_6 = x_5 - |y_5| + 1 = -8y_0 + 5 = -2^{2(1)+1} y_0 + 2\delta_1 - 5 < 0,$

$x_{4(1)+3} = x_7 = |x_6| - y_6 - 3 = 16y_0 - 15 = 2^{2(1)+2} y_0 - 4\delta_1 + 5 > 0$

$y_{4(1)+3} = y_7 = x_6 - |y_6| + 1 = -1,$

$x_{4(1)+4} = x_8 = |x_7| - y_7 - 3 = 16y_0 - 17 = 2^{2(1)+2} y_0 - 4\delta_1 + 3$

$y_{4(1)+4} = y_8 = x_7 - |y_7| + 1 = 16y_0 - 15 = 2^{2(1)+2} y_0 - 4\delta_1 + 5 > 0.$

If $y_0 \in [a_2, a_1) = \left[\frac{17}{16}, \frac{5}{4}\right)$ then $x_8 = 16y_0 - 17 \geq 0$ and so $x_{4(1)+5} = x_9 = |x_8| - y_8 - 3 = -5$ and $y_{4(1)+5} = y_9 = x_8 - |y_8| + 1 = -1.$

If $y_0 \in (1, a_2) = \left(1, \frac{17}{16}\right)$ then $x_8 = 16y_0 - 17 < 0$.

Hence $P(1)$ is true. Now we suppose further that $P(k)$ is true for a positive integer $k$. We have $x_{4k+4} = 2^{2k+2} y_0 - 4\delta_k + 3 < 0$ and $y_{4k+4} = 2^{2k+2} y_0 - 4\delta_k + 5 > 0$

for $y_0 \in (1, a_{k+1}) = \left(1, \frac{2^{2k+2}+1}{2^{2k+2}}\right)$. We determine the sign of $x_{4k+4}$ by substituting $1$ and $a_{k+1}$ into $y_0$ of a linear function $x_{4k+4}$ as follow:

$x_{4k+4}(1) = 2^{2k+2}(1) - 4(2^{2k}+1) + 3 = 2^{2k+2} - 2^{2k+2} - 4 + 3 = -1 < 0,$

$x_{4k+4}\left(\frac{2^{2k+2}+1}{2^{2k+2}}\right) = 2^{2k+2}\left(\frac{2^{2k+2}+1}{2^{2k+2}}\right) - 4(2^{2k}+1) + 3 = 2^{2k+2} + 1 - 2^{2k+2} - 4 + 3 = 0.$ Thus, we have $x_{4k+4} < 0$.

From now on, we will determine the sign of solutions by using this method. Then

$x_{4(k+1)+1} = x_{4k+5} = |x_{4k+4}| - y_{4k+4} - 3 = -2^{2(k+1)+1} y_0 + 8\delta_k - 11 = -2^{2(k+1)+1} y_0 + 2\delta_{k+1} - 5 < 0.$ We note that

$8\delta_k - 11 = 8(2^{2k}+1) - 11 = 2^{2k+3} + 8 - 11 = 2^{2k+3} - 3 = 2\delta_{k+1} - 5.$

$y_{4(k+1)+1} = y_{4k+5} = x_{4k+4} - |y_{4k+4}| + 1 = 2^{2k+2} y_0 - 4\delta_k + 3 - 2^{2k+2} y_0 + 4\delta_k - 5 + 1 = -1,$

$x_{4(k+1)+2} = x_{4k+6} = 2^{2k+3} y_0 - 2\delta_{k+1} + 3 > 0$ and $y_{4(k+1)+2} = y_{4k+6} = -2^{2k+3} y_0 + 2\delta_{k+1} - 5 < 0,$

$x_{4(k+1)+3} = x_{4k+7} = 2^{2k+4} y_0 - 4\delta_{k+1} + 5 > 0$ and $y_{4(k+1)+3} = y_{4k+7} = -1,$

$x_{4(k+1)+4} = x_{4k+8} = 2^{2k+4} y_0 - 4\delta_{k+1} + 3$ and $y_{4(k+1)+4} = y_{4k+8} = 2^{2k+4} y_0 - 4\delta_{k+1} + 5 > 0.$

If $y_0 \in [a_{k+2}, a_{k+1}) = \left[\frac{2^{2k+4}+1}{2^{2k+4}}, \frac{2^{2k+2}+1}{2^{2k+2}}\right)$ then $x_{4k+8} = 2^{2k+4} y_0 - 4\delta_{k+1} + 3 \geq 0$

and so

$x_{4(k+1)+5} = x_{4k+9} = -5$ and $y_{4(k+1)+5} = y_{4k+9} = -1.$

Thus $(x_{4(k+1)+5}, y_{4(k+1)+5}) = (-5,-1).$

If $y_0 \in (1, a_{k+2}) = \left(1, \frac{2^{2k+4}+1}{2^{2k+4}}\right)$ then $x_{4k+8} = 2^{2k+4} y_0 - 4\delta_{k+1} + 3 < 0.$ Hence $P(k+1)$ is true. By the mathematical induction we conclude that $P(n)$ is true for every positive integer $n$. We note that $\lim_{n\to\infty} a_n = 1$ and $(-5,-1)$ is a member of $P_{4.1}$. By the inductive statement $P(n)$, we can conclude that the solution is an eventually 4-cycle ( $P_{4.1}$ or $P_{4.2}$ ).

By the above lemmas, we immediately have the following theorem.

**Theorem 1** *Let* $(0, y_0) \in l_1$ *be an initial condition. Then the solution of the system* (3) *is eventually* 4-cycle $P_{4.1}$ or $P_{4.2}$.

Next, we will calculate the first iteration for $(x_0, y_0) \in l_2$ :

$x_1 = |x_0| - y_0 - 3 = -y_0 - 3 < 0$ and $y_1 = x_0 - |y_0| + 1 = -y_0 + 1 > 0$ (8)

$x_2 = 2y_0 - 1$ and $y_2 = -3$ . (9)

If $(0, y_0)$ is in the region for which $y_0 \le \frac{1}{2}$ then $x_2 \le 0$ and so

$x_3 = -2y_0 + 1 \le 0$ and $y_3 = 2y_0 - 3 < 0$ ,

$x_4 = -1$ and $y_4 = -1$ .

So, we have the following lemma.

**Lemma 3** *Let* $(0, y_0) \in l_2$ *be an initial condition where* $y_0 \le \frac{1}{2}$. *Then the fourth iteration of the solution of the system* (3) *is equilibrium point* $(-1,-1)$.

If $(0, y_0)$ is in the region for which $\frac{1}{2} < y_0 \le 1$ then $x_2 > 0$ and so

$x_3 = 2y_0 - 1 > 0$ and $y_3 = 2y_0 - 3 < 0$ , (10)

$x_4 = -1$ and $y_4 = 4y_0 - 3$ , (11)

If $(0, y_0)$ is in the region for which $\frac{1}{2} < y_0 \le \frac{3}{4}$ then $y_4 = 4y_0 - 3 \le 0$ and so

$x_5 = -4y_0 + 1 < 0$ and $y_5 = 4y_0 - 3 \le 0$ ,

$x_6 = -1$ and $y_6 = -1$. So, we have the following lemma.

**Lemma 4** *Let* $(0, y_0) \in l_2$ *be an initial condition where* $\frac{1}{2} < y_0 \le \frac{3}{4}$. *Then the sixth iteration of the solution of the system* (3) *is* $(-1,-1)$ .

If $(0, y_0)$ is in the region for which $\frac{3}{4} < y_0 \le 1$ then $y_4 = 4y_0 - 3 > 0$ and so

$x_5 = -4y_0 + 1 < 0$ and $y_5 = -4y_0 + 3 < 0$, (12)

$x_6 = 8y_0 - 7$ and $y_6 = -8y_0 + 5 < 0$. (13)

If $(0, y_0)$ is in the region for which $\frac{3}{4} < y_0 \le \frac{7}{8}$ then $x_6 = 8y_0 - 7 \le 0$ and so

$x_7 = -1$ and $y_7 = -1$. So, we have the following lemma.

**Lemma 5** *Let* $(0, y_0) \in l_2$ *be an initial condition where* $\frac{3}{4} < y_0 \le \frac{7}{8}$. *Then the seventh iteration of the solution of the system* (3) *is* $(-1,-1)$.

We will investigate the solution with the initial condition $(x_0, y_0)$ belonging to the remain region for which $\frac{7}{8} < y_0 < 1$ as the following lemma.

**Lemma 6** *Let* $(0, y_0) \in l_2$ *be an initial condition where* $y_0 \in \left(\frac{7}{8}, 1\right)$. *Then the solution of the system* (3) *is an eventually equilibrium point* $(-1,-1)$.

Proof. We have a closed form of the first six iterations in the form of equations (8) – (13) but $x_6 = 8y_0 - 7 > 0$. The following sequences are used in the inductive statement of this lemma:

$b_n = \frac{2^{2n+1} - 1}{2^{2n+1}}, c_n = \frac{2^{2n+2} - 1}{2^{2n+2}}$ and $\gamma_n = 2^{2n+2} - 1$. Let $Q(n)$ be the following statement:

"for $y_0 \in (b_n, 1)$,

$x_{4n+3} = 2^{2n+2} y_0 - \gamma_n$ and $y_{4n+3} = -1$.

If $y_0 \in (b_n, c_n]$ then $x_{4n+3} \le 0$ and so

$x_{4n+4} = -2^{2n+2} y_0 + \gamma_n - 2 < 0$ and $y_{4n+4} = 2^{2n+2} y_0 - \gamma_n \le 0$,

$x_{4n+5} = -1$ and $y_{4n+5} = -1$.

If $y_0 \in (c_n, 1)$ then $x_{4n+3} > 0$ and so

$x_{4n+4} = 2^{2n+2} y - \gamma_n - 2 < 0$ and $y_{4n+4} = 2^{2n+2} y - \gamma_n > 0$,

$x_{4n+5} = -2^{2n+3} y_0 + 2\gamma_n - 1 < 0$ and $y_{4n+5} = -1$

$x_{4n+6} = 2^{2n+3} y_0 - 2\gamma_n - 1$ and $y_{4n+6} = -2^{2n+3} y_0 + 2\gamma_n - 1 < 0$.

If $y_0 \in (c_n, b_{n+1}]$ then $x_{4n+6} \le 0$ and so

$x_{4n+7} = -1$ and $y_{4n+7} = -1$.

If $y_0 \in (b_{n+1}, 1)$ then $x_{4n+6} > 0$".

The inductive proof for statement $Q(n)$ mirrors the methodology applied in proving $P(n)$. Consequently, the detailed proof for $Q(n)$ being true is omitted for brevity. It is noteworthy that

selecting an initial condition within $l_2$, specifically $y_0$ in the interval $\left(\frac{7}{8},1\right)$, aligns the solution's closed form with that of $Q(n)$. As $n$ increases, the sequences $b_n$ and $c_n$ are observed to converge towards 1, indicating that the solution asymptotically approaches the equilibrium point $(-1,-1)$.

By the Lemma 3 – Lemma 6, we immediately have the following theorem.

**Theorem 2.** *Let* $(0,y_0)\in l_2$ *be an initial condition. Then the solution of the system* (3) *is eventually equilibrium point* $(-1,-1)$.

As indicated in the articles by Krisuk et al. (2022) and Tikjha & Piasu (2020), the solution is eventually an equilibrium point or a 4-cycle in certain regions of $\mathbf{R}^2$. Proving the global behavior of map (3) is challenging, as it requires us to set an initial condition in each region of $\mathbf{R}^2$ and verify that the solution converges to certain invariant sets. As we know, the invariant sets of the map (3) consist of an equilibrium point $(-1,-1)$ and two 4-cycles. We believe that our results will serve as a tool for studying this system with other initial conditions in the $\mathbf{R}^2$ region. We conjecture that the solution to system (3) will be confined to either the equilibrium point or 4-cycles.

## Conclusions

We divide the positive y-axis into two segments, $l_1$ and $l_2$. For the first segment, $l_1$, when the initial condition belongs to $l_1$ and $y_0 \geq \frac{5}{4}$, the solution is $(-5,-1)$, which is a member of $P_{4.1}$ within 5 iterations. For $y_0$ in the interval $\left(1,\frac{5}{4}\right)$, the solution eventually becomes a 4-cycle ($P_{4.1}$) by utilizing the first inductive statement. Specifically, if $y_0 = 1$, then the solution transitions to a 4-cycle ($P_{4.2}$) within 3 iterations.

For the second segment, $l_2$, when the initial condition $y_0 \leq \frac{1}{2}$, the solution converges to the equilibrium point within 4 iterations. Selecting $\frac{1}{2} < y_0 \leq \frac{3}{4}$ results in the solution reaching the equilibrium point within 6 iterations. Furthermore, for $\frac{3}{4} < y_0 \leq \frac{7}{8}$, the solution becomes equilibrium within 7 iterations. By applying the second inductive statement, we deduce that for $\frac{7}{8} < y_0 < 1$, the solution eventually reaches an equilibrium point.

## Acknowledgement

The authors are supported by the National Research Council of Thailand and Pibulsongkram Rajabhat University.

## References

Grove, E. A., & Ladas, G. (2005). **Periodicities in Nonlinear Difference Equations**. New York: Chapman Hall.

Grove, E. A., Lapierre, E., & Tikjha, W. (2012). On the Global Behavior of $x_{n+1} = |x_n| - y_n - 1$ and $y_{n+1} = x_n + |y_n|$. **Cubo A Mathematical Journal**, **14**(2), 125–166.

Krisuk, S., Soprom, K., Pantain, J., & Tikjha, W. (2022). Equilibrium Solution on a Two-dimensional Piecewise Linear Map. **KKU Science Journal, 50**(3), 223-230.

Krinket, S., & Tikjha, W. (2015). **Prime period solution of cartain piecewise linear system of difference equation**. In P. Supavititpatana, (Ed.), Proceedings of the Pibulsongkram Research (76-83). Pibulsongkram Rajabhat University Press. (In Thai)

Lozi, R. (1978). Un attracteur étrange du type attracteur de Hénon. **Journal de Physique Colloques, 39**(C5), 9-10.

Simpson, D. J. W. (2010). **Bifurcations in piecewise-smooth continuous systems**. Singapore: World Scientific Publishing.

Simpson, D. J. W. (2014a). Sequences of Periodic Solutions and Infinitely Many Coexisting Attractors in the Border-Collision Normal Form. **International Journal of Bifurcation and Chaos, 24**(6), 1430018.

Simpson, D. J. W. (2014b). Scaling Laws for Large Numbers of Coexisting Attracting Periodic Solutions in the Border-Collision Normal Form. **International Journal of Bifurcation and Chaos, 24**(9), 1450118.

Tikjha, W., & Lapierre, E. (2020). Periodic solutions of a system of piecewise linear difference equations. **Kyungpook Mathematical Journal, 60**(2), 401-413.

Tikjha, W., Lapierre, E. G., & Sitthiwirattham, T. (2017). The stable equilibrium of a system of piecewise linear difference equations. **Advances in Difference Equations, 2017,** 67.

Tikjha, W., Lenbury, Y., & Lapierre, E. G. (2010). On the Global Character of the System of Piecewise Linear Difference Equations $x_{n+1} = |x_n| - y_n - 1$ and $y_{n+1} = x_n - |y_n|$. **Advances in Difference Equations, 2010**, 573281.

Tikjha, W., Lapierre, E. G., & Lenbury, Y. (2015). Periodic solutions of a generalized system of piecewise linear difference equations. **Advances in Difference Equations, 2015,** 248.

Tikjha, W., & Piasu, K. (2020). A necessary condition for eventually equilibrium or periodic to a system of difference equations. **Journal of Computational Analysis and Applications, 28**(2), 254-261.

Zhusubaliyev, Z. T., Mosekilde, E., & Banerjee, S. (2008). Multiple-attractor bifurcations and quasiperiodicity in piecewise-smooth maps. **International Journal of Bifurcation and Chaos, 18**(6), 1775-1789.

# การสั่งซื้อวัตถุดิบสำหรับการผลิตอะคลิริกเรซินเหลว โดยใช้วิธีการพยากรณ์และการวางแผนความต้องการวัสดุ

# PROCUREMENT OF RAW MATERIALS FOR LIQUID ACRYLIC RESIN PRODUCTION USING FORECASTING METHODS AND MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

พัชรินทร์ เหมณี[1] และ นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์[2]*
[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240
[2]ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร กรุงเทพมหานคร 10240

Patcharin Hemmanee[1] and Nitidetch Koohathongsumrit[2]*
[1]Engineering Management and Technology, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240
[2]Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

*E-mail: nitidetch.k@rumail.ru.ac.th

*Received: 2024-09-09*
*Revised: 2024-11-12*
*Accepted: 2024-12-06*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบสำหรับการผลิตอะคริลิกเรซินเหลว โดยใช้วิธีการพยากรณ์และการวางแผนความต้องการวัสดุ เริ่มจากการกำหนดความต้องการสินค้าด้วยวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่เหมาะสม จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ พบว่าสินค้า (D)-362 และ(D)-836 ควรใช้การพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลโฮลต์-วินเทอร์ ส่วนสินค้า (D)-500 ควรใช้วิธีการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย สำหรับสินค้า (D)-376 และ (D)-814 ควรใช้การพยากรณ์วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และสินค้า (D)-509 ควรใช้วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล ผลจากการพยากรณ์ไปกำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อใช้วางแผนความต้องการวัสดุทำให้ทราบเวลาที่เหมาะสมในการสั่งซื้อวัตถุดิบสามารถลดค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าได้อย่างสิ้นเชิง แต่มีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการทดลองใช้วิธีที่เสนอจริงเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าลดลงเหลือ 0 บาท ซึ่งเทียบเท่ากับการลดลงร้อยละ 100 และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 751,770 บาท ตามลำดับ คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 เปรียบเทียบกับช่วงเวลา 3 เดือนก่อนการนำวิธีนี้มาใช้ เมื่อเปรียบเทียบค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าที่ลดลงกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าที่เพิ่มขึ้นนั้นมีความคุ้มค่าต่อการปรับปรุงปัญหาของการวิจัยนี้

**คำสำคัญ:** อะคริลิกเรซินเหลว การพยากรณ์อนุกรมเวลา การวิเคราะห์การถดถอย การวางแผนความต้องการวัสดุ

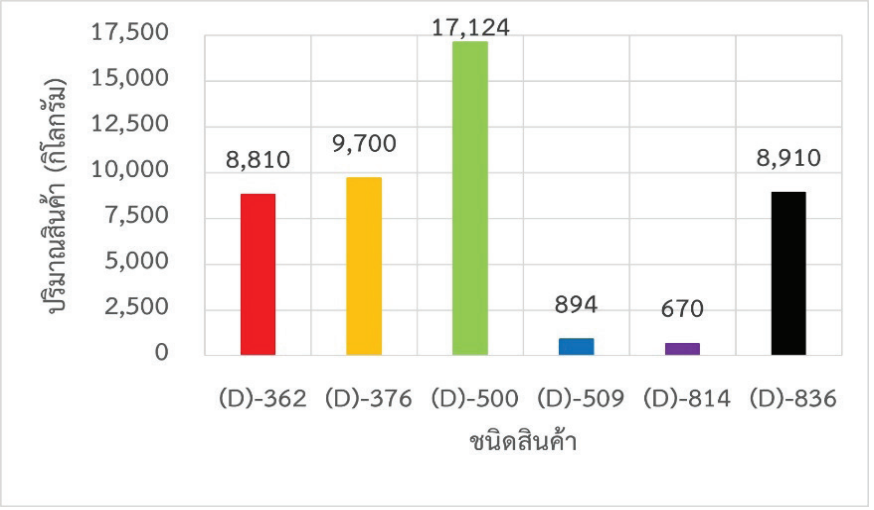
**ABSTRACT**

This research aims to study the planning of placing orders for raw materials used in the production of liquid acrylic resin. The study uses the method of forecasting and material requirements planning (MRP), and begins with determining product demands though appropriate time series forecasting techniques. The results so obtained are then used for raw material order planning. It was found that for the products (D)-362 and (D)-836, the Holt-Winters exponential smoothing method should be used, for the product (D)-500, the regression analysis should be employed, for the products (D)-376 and (D)-814, the moving average method is recommended, and for the product (D)-509, the exponential smoothing technique is suitable. Forecast results were used to define the product structure for MRP, and to identify optimal raw material ordering times, which resulted in completely eliminating loss sales due to stockouts, while increasing inventory holding costs only slightly. A three-month trial of the proposed method showed that stockout related opportunity costs dropped to 0 Baht, representing a 100% reduction, while inventory holding costs increased by 751,770 Baht, or 5%, compared to the previous three-month period. The trade-off between reduced opportunity costs and increased holding costs proved that addressing this research problem is worth the effort and cost efficient.

**Keywords:** Liquid acrylic resin, Timeseries forecasting, Regression analysis, Material requirement planning

**บทนำ**

ธุรกิจกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการฟื้นตัวของเศรษฐกิจไทย ส่งผลให้ความต้องการผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีการขยายตัว เป็นสาเหตุให้ราคาของผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Bank of Ayudhya Public Company Limited, 2023) โดยอะคริลิกเรซินเหลว (Liquid Acrylic Resin) เป็นสารสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่ผลิตจากปิโตรเคมี ผลิตขึ้นด้วยกรรมวิธีพอลิเมอไรเซชันในตัวทำละลาย และสารเคมีหลายชนิด เช่น โมโนเมอร์ ตัวทำละลาย สารลดการเกิดฟอง ฯลฯ อะคริลิกเรซินเหลวมักถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสี หรือสารเคลือบเนื่องจากความคงทนต่อแสงแดดและยึดติดกับผิววัสดุได้เป็นอย่างดี บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตอะคริลิกเรซินเหลว โดยมีลูกค้าหลักคือผู้ผลิตสีน้ำมันและสีทาบ้าน ซึ่งใช้อะคริลิกเรซินเหลวเป็นวัถุดิบหลักในการผลิตสินค้า เมื่อศึกษาปัญหาเบื้องต้นพบว่าบริษัทประสบปัญหาการขาดส่งสินค้าจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ (D)-362 (D)-376 (D)-500 (D)-509 (D)-814 และ (D)-836 เนื่องจากปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาใช้วิธีการพยากรณ์คำสั่งซื้อสินค้าจากประสบการณ์ของพนักงาน ทำให้ฝ่ายวางแผนการผลิตไม่สามารถดำเนินการผลิตสินค้าได้ตามกำหนด และไม่สามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ จากข้อมูลความต้องการสินค้าและปริมาณการจำหน่ายสินค้าในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 พบว่ามีปริมาณสินค้าที่ไม่เพียงพอจำหน่ายจำนวน 46,108 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 4,501,290 บาท แสดงดังภาพที่ 1



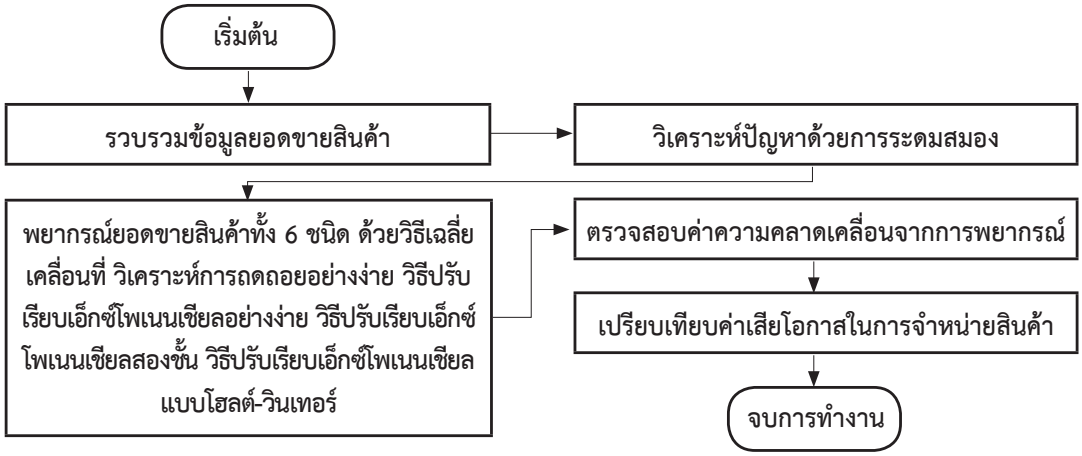

**ภาพที่ 1** ปริมาณสินค้าที่ไม่เพียงพอต่อการจำหน่าย

โดยจากการศึกษาสภาพปัญหาเบื้องต้น พบว่าการไม่สามารถผลิตสินค้าได้เกิดจากการวัตถุดิบไม่เพียงพอและไม่ทราบช่วงระยะเวลาที่ต้องการใช้วัตถุดิบ โดยสินค้าแต่ละชนิดใช้วัตถุดิบในการผลิตที่ต่างกัน ได้แก่ M-3 M-5 M-10 และ M-9 คือโมโนเมอร์ C-10 C-20 และ C-30 คือสารเติมแต่ง S-30 คือตัวทำละลาย และ A-50 คือสารกันด่าง ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้ต้องการนำวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาและการวางแผนการสั่งซื้อวัสดุ มาใช้แก้ปัญหาการขาดส่งสินค้าและการผลิตไม่ทันต่อความต้องการ (Miclo, et al., 2019)

จากการศึกษางานวิจัยที่ใช้วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาเพื่อแก้ปัญหาการผลิตและการส่งมอบสินค้า เช่น งานวิจัยของ Chuleekorn (2020) งานวิจัยของ Thanchanok & Amarin (2022) งานวิจัยของ Suphawadee & Chalieo (2023) และงานวิจัยของ Sawatgamon et al. (2023) พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาและตัวแบบปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้วัตถุดิบเป็นประเภทสารเคมีที่ปริมาณความต้องการวัตถุดิบที่และระยะเวลาความต้องการวัตถุดิบขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการของสินค้าสำเร็จรูป ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงต้องนำวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาและการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning: MRP) มาใช้ร่วมกัน โดยนำข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้าในอดีตมาพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าในอนาคต จากนั้นจึงนำผลลัพธ์จากการพยากรณ์ไปทำการวางแผนความต้องการวัสดุ เพื่อวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบให้ทันกับความต้องการใช้ในการผลิตและลดการขาดส่งสินค้า ประโยชน์จากงานวิจัยนี้จะช่วยให้บริษัทกรณีศึกษาไม่สูญเสียโอกาสจากการจำหน่ายสินค้าและมีการวางแผนความต้องการใช้วัสดุสำหรับการวางแผนการผลิตต่อไป

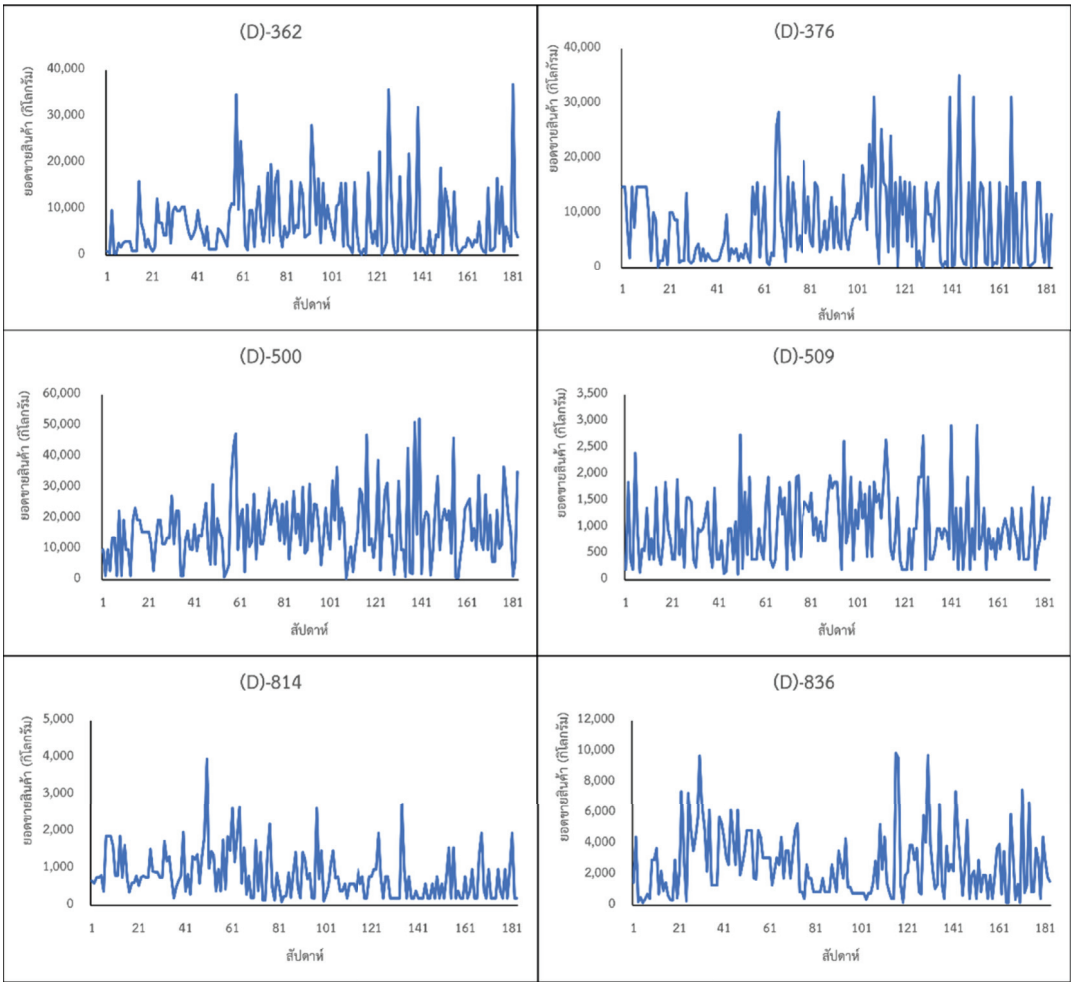
**วิธีการ**

การศึกษาวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัย แสดงดังภาพที่ 2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้




**ภาพที่ 2** การดำเนินงานวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้าอะคริลิกเรซินเหลว (D)-362 (D)-376 (D)-500 (D)-509 (D)-814 และ (D)-836 โดยใช้ข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้ารายสัปดาห์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 จำนวน 183 ข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3 โดยข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้า (D)-376 และ (D)-814 มีปริมาณความต้องการสินค้าค่อนข้างคงที่ (D)-500 และ (D)-509 มีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม (D)-362 และ (D)-836 มีอิทธิพลของแนวโน้มและฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง




**ภาพที่ 3** ข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้า เดือนมกราคม 2564 ถึงเดือนมิถุนายน 2567

ในขณะที่ข้อมูลสารเคมีที่เป็นวัตถุดิบในการผลิต 9 ชนิด ได้แก่ วัตถุดิบ M-3 M-5 M-10 และ M-9 คือ โมโนเมอร์เป็นส่วนประกอบหลักที่นำมาสร้างพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติ และลักษณะที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของโมโนเมอร์ที่นำมาใช้ วัตถุดิบ C-10 C-20 และ C-30 ซึ่งเป็นสารเติมแต่ง วัตถุดิบ S30 คือ ตัวทำละลาย และวัตถุดิบ A-50 คือสารกันด่าง โดยรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ระดับของวัสดุ จำนวนวัสดุที่ต้องการ หน่วยนับ ระยะเวลานำ และขนาดการสั่งของแต่ละวัสดุ

2. วิเคราะห์ปัญหาด้วยการระดมสมอง โดยมีการประชุมร่วมกันระหว่างเจ้าหน้าที่ฝ่ายขาย เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิต เจ้าหน้าที่จัดซื้อ และเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ พบว่าความล่าช้าในการจัดซื้อวัตถุดิบเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การวางแผนการผลิตล่าช้าและไม่สามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ทันตามกำหนดเวลา เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตได้ชี้ว่าสาเหตุของปัญหานี้มาจากเจ้าหน้าที่ฝ่ายขายไม่สามารถให้ค่าพยากรณ์ความต้องการของสินค้าอย่างแม่นยำ ทำให้ฝ่ายวางแผนการผลิตไม่สามารถสั่งซื้อวัตถุดิบได้ทันเวลา และไม่สามารถจำหน่ายสินค้าได้

3. พยากรณ์แบบอนุกรมเวลา งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากปริมาณการจำหน่ายสินค้าโดยใช้ข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้ารายสัปดาห์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2567 จำนวน 183 ข้อมูลเพื่อใช้ในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา โดยลักษณะของข้อมูลจากปริมาณการจำหน่ายสินค้าแต่ละชนิดได้รับอิทธิพล แนวโน้ม ฤดูกาล หรือวัฏจักร แตกต่างกันไป ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ควรเหมาะสมกับลักษณะข้อมูลด้วย โดยการศึกษาวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการพยากรณ์ ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีวิเคราะห์การถดถอย วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์-วินเทอร์ ทั้งนี้วิธีการพยากรณ์แต่ละวิธีมีข้อตกลงเบื้องต้นที่แตกต่างกัน เช่น กรณีข้อมูลอนุกรมเวลาค่อนข้างคงที่ วิธีการพยากรณ์ที่นิยมใช้ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล ในขณะที่ข้อมูลอนุกรมเวลามีองค์ประกอบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น หรือลดลง เหมาะสมกับวิธีการพยากรณ์วิธีการวิเคราะห์การถดถอย และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น ส่วนข้อมูลที่มีอิทธิพลของแนวโน้มและฤดูกาลเหมาะกับวิธีการพยากรณ์แบบโฮลต์-วินเทอร์

3.1 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เป็นการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลที่เกิดขึ้นล่าสุดในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา ค่าพยากรณ์สามารถคำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลล่าสุด ส่วนค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาถัดไปสามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลล่าสุดโดยตัดข้อมูลที่เก่าสุดออกไป และเพิ่มข้อมูลใหม่ แสดงดังสมการที่ (1) โดยที่ $F_t$ คือค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้า ณ ช่วงเวลา t $A_{t-1}$ คือข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้าจริง ณ ช่วงเวลา t - 1 n คือจำนวนช่วงของข้อมูลพยากรณ์ และ t คือช่วงระยะเวลาที่ t; t = 1, 2, ...,T

$$F_t = \frac{\sum_{t=1}^{n} A_{t-1}}{n} = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + \ldots + A_{t-n}}{n} \tag{1}$$

3.2 วิธีการวิเคราะห์การถดถอย มีสมมติฐานให้แนวโน้มของข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์เป็นตัวแปรตาม และข้อมูลในการพยากรณ์เป็นตัวแปรอิสระ ค่าพยากรณ์คำนวณได้ตามสมการที่ (2) เมื่อจุดตัดแกนตั้ง (a) และความชันของเส้นตรง (b) ประมาณได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด สามารถศึกษารายละเอียดการคำนวณค่า a และ b ได้จากงานวิจัยของ Jeong et al. (2021) โดยที่ $F_t$ คือค่าพยากรณ์ช่วงระยะเวลาที่ t

$$F_t = a + b(t) \tag{2}$$

3.3 วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล เป็นวิธีการพยากรณ์ที่สามารถปรับข้อมูลค่าพยากรณ์ให้เรียบ ต้องการข้อมูลล่าสุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น โดยกำหนดค่าคงที่ในการปรับเรียบข้อมูล () มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 (Kahraman & Akay, 2023) โดยการวิจัยนี้กำหนด = 0.10 วิธีนี้สามารถพยากรณ์ความต้องการของสินค้า โดยนำค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาที่ผ่านมาบวกกับอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ แสดงดังสมการที่ (3) โดยที่ $F_t$ คือค่าพยากรณ์ช่วงระยะเวลาที่ t และ $A_t$ คือข้อมูลของช่วงระยะเวลาที่ t

$$F_t = F_{t-1} + (A_{t-1} - F_{t-1}) \tag{3}$$

3.4 วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น วิธีนี้เหมาะกับข้อมูลปริมาณการจำหน่ายสินค้าที่มีแนวโน้ม ต้องมีการกำหนดค่าคงที่การปรับเรียบข้อมูล () และค่าปรับเรียบแนวโน้ม () โดยการวิจัยนี้กำหนดค่าคงที่การปรับเรียบข้อมูล เท่ากับ 0.10 และค่าปรับเรียบแนวโน้มเท่ากับ 0.10 ค่าพยากรณ์คำนวณได้ตามสมการที่ (4) สามารถศึกษารายละเอียดการคำนวณค่าความต้องการสินค้าเอ็กซ์โพเนนเชียลปรับเรียบ ณ ช่วงเวลา t ($F_{it}$) และค่าแนวโน้มเอ็กซ์โพเนนเชียลปรับเรียบ ณ ช่วงเวลา t ($T_t$) ได้จากงานวิจัยของ Cetin & Yavuz (2020)

$$F_t = F_{it} + T_t \tag{4}$$

3.5 วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์-วินเทอร์ รูปแบบการบวกเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มอิทธิพลของฤดูกาล โดยตัวแบบการพยากรณ์จะพิจารณาค่าเฉลี่ย ระดับแนวโน้ม และฤดูกาลของข้อมูล แสดงดังสมการที่ (5) โดยที่ p คือจำนวนฤดูกาลใน $E_t$ คือระดับของข้อมูล ณ ช่วงเวลา t และ $S_t$ ค่าฤดูกาล ณ ช่วงเวลา t สามารถศึกษารายละเอียดการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์-วินเทอร์ได้จากงานวิจัยของ Holt (2004)

$$F_{t+n} = E_t + nT_t + S_{t+1-p} \tag{5}$$

4. การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ เป้าหมายหลักคือการพยากรณ์ที่แม่นยำ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยวิธีการประมาณความคลาดเคลื่อนที่นิยมใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) โดยค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เป็นการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับข้อมูลจริงในลักษณะร้อยละ ทำให้สามารถแปลผลลัพธ์ได้ชัดเจนมากกว่าวิธีอื่น โดยค่าพยากรณ์ที่แม่นยำควรมีความคลาดเคลื่อนต่ำซึ่งแสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริงในระดับต่ำ การคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ แสดงดังสมการที่ (6) ดังนั้นเมื่อได้ค่าการพยากรณ์แล้วจึงคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน โดยที่ $e_t$ คือค่าความคลาดเคลื่อนของช่วงระยะเวลาที่ t $X_t$ คือข้อมูลจริงของช่วงระยะเวลาที่ t N คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด t คือช่วงระยะเวลาที่ t

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^{N} 100 \frac{|e_t|}{X_t}}{N} \tag{6}$$

5. การวางแผนความต้องการวัสดุเป็นวิธีการจัดการวัสดุสินค้าคงคลังที่ใช้เมื่อความต้องการวัสดุเป็นแบบไม่อิสระหมายความว่าปริมาณความต้องการของวัสดุประเภทหนึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการของวัสดุอื่นหรือปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต ซึ่งเป็นปริมาณที่ได้จากการพยากรณ์ (Khantiprasert & Ruangchoengchum, 2019) การวิจัยนี้สินค้าแต่ละชนิดผลิตจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน โดยปริมาณความต้องการของวัตถุดิบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการสินค้า การวางแผนความต้องการวัสดุเริ่มต้นด้วยการแสดงรายการวัสดุที่จำเป็น ได้แก่ ปริมาณการใช้วัสดุกำหนดการรับวัสดุ รหัสสินค้า ปริมาณที่มีอยู่ เวลานำ วัสดุสำรองเผื่อ ความต้องการเริ่มต้น (Ke et al., 2022) ทั้งนี้กำหนดการรับการแสดงรายการวัสดุเหล่านี้ช่วยให้สั่งซื้อวัสดุได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ลดปริมาณการขาดแคลนวัสดุและความเสี่ยงจากการส่งมอบสินค้า

6. เปรียบเทียบค่าเสียโอกาสในการจำหน่ายสินค้าจากการเก็บข้อมูลการจำหน่ายสินค้าที่สูญเสียไปในกรณีที่ไม่มีการวางแผนความต้องการวัสดุและกรณีที่มีการใช้การพยากรณ์ร่วมกับการวางแผนความต้องการวัสดุ จากนั้นคำนวณมูลค่าสินค้าที่หายไปในแต่ละสถานการณ์ โดยการนำจำนวนสินค้าคูณกับราคาสินค้าต่อหน่วย แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาว่าการพยากรณ์ และการวางแผนความต้องการวัสดุช่วยลดการสูญเสียโอกาสในการจำหน่ายสินค้าได้มากเท่าใด หรือทำให้ค่าใช้จ่ายใดบ้างที่เพิ่มขึ้น

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการพยากรณ์ปริมาณความต้องการอะคริลิกเรซินเหลวโดยใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้ารายสัปดาห์ในอดีตตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 รวมทั้งสิ้น 183 ข้อมูล ใช้วิธีการพยากรณ์ ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์-วินเทอร์ จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 1 (* คือวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำที่สุด) โดยพบว่าสินค้า (D)-362 และ (D)-836 ใช้การพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์-วินเทอร์ (D)-500 ต้องใช้การพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยสินค้า (D)-376 และ (D)-814 ใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (D)-509 ใช้วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล

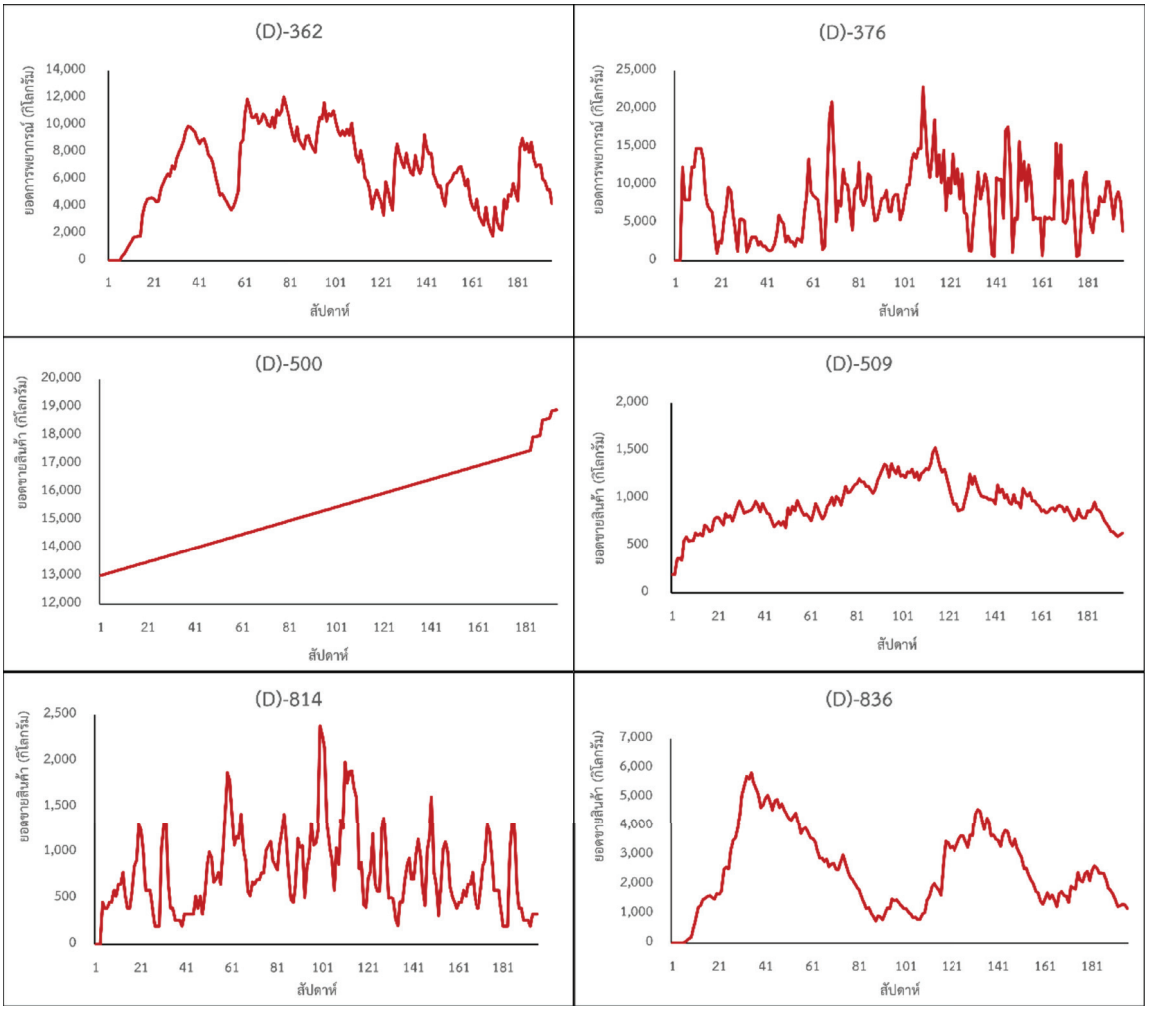
**ตารางที่ 1** ค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

| สินค้า | วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ | วิธีการวิเคราะห์การถดถอย | วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล | วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลสองชั้น | วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลต์-วินเทอร์ |
|---|---|---|---|---|---|
| (D)-362 | 277 | 342 | 267 | 317 | 259* |
| (D)-376 | 426* | 551 | 460 | 487 | 446 |
| (D)-500 | 206 | 174* | 191 | 261 | 192 |
| (D)-509 | 133 | 124 | 112* | 160 | 117 |
| (D)-814 | 100* | 106 | 111 | 132 | 113 |
| (D)-836 | 140 | 159 | 132 | 183 | 119* |

เมื่อได้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ความต้องการแล้ว จึงทำการพยากรณ์ความต้องการอะคริลิกเรซินเหลวถึงเดือนกันยายน 2567 คือสัปดาห์ที่ 195 แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 4 โดยพบว่าค่าพยากรณ์ของสินค้าแต่ละชนิดจะเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละวิธีการพยากรณ์ จากการวิเคราะห์พบว่าค่าพยากรณ์ของแต่ละสินค้าจะแตกต่างกันไปตามวิธีการพยากรณ์ที่เลือกใช้ อย่างไรก็ตามในกรณีของการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความต้องการสินค้าและเวลา กล่าวคือข้อมูลในอดีต (183 สัปดาห์แรก) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่อเนื่องไปจนถึงช่วงที่มีการเพิ่มข้อมูลใหม่ และมีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ a และ b ในทุกเดือน ซึ่งทำให้ค่าพยากรณ์มีความเหมาะสมมากขึ้น (Koohathongsumrit, 2024)

**ตารางที่ 2** ความต้องการอะคริลิกเรซินเหลวจากวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม (หน่วย: กิโลกรัม)

| สัปดาห์ | (D)-362 | (D)-376 | (D)-500 | (D)-509 | (D)-814 | (D)-836 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | - | - | 13,021 | 195 | - | - |
| 2 | - | - | 13,046 | 195 | - | - |
| 3 | - | - | 13,070 | 361 | - | - |
| 4 | - | 12,333 | 13,095 | 363 | 455 | - |
| 5 | - | 8,017 | 13,119 | 347 | 390 | - |
| 6 | 49 | 8,017 | 13,144 | 1,052 | 390 | 20 |
| 7 | 339 | 8,017 | 13,168 | 1,044 | 455 | 66 |
| : | : | : | : | : | : | : |
| 192 | 5,981 | 5,525 | 18,868 | 647 | 260 | 1,239 |
| 193 | 5,856 | 8,125 | 18,891 | 622 | 195 | 1,272 |
| 194 | 5,249 | 9,100 | 18,913 | 598 | 325 | 1,326 |
| 195 | 5,252 | 7,800 | 18,936 | 617 | 325 | 1,301 |



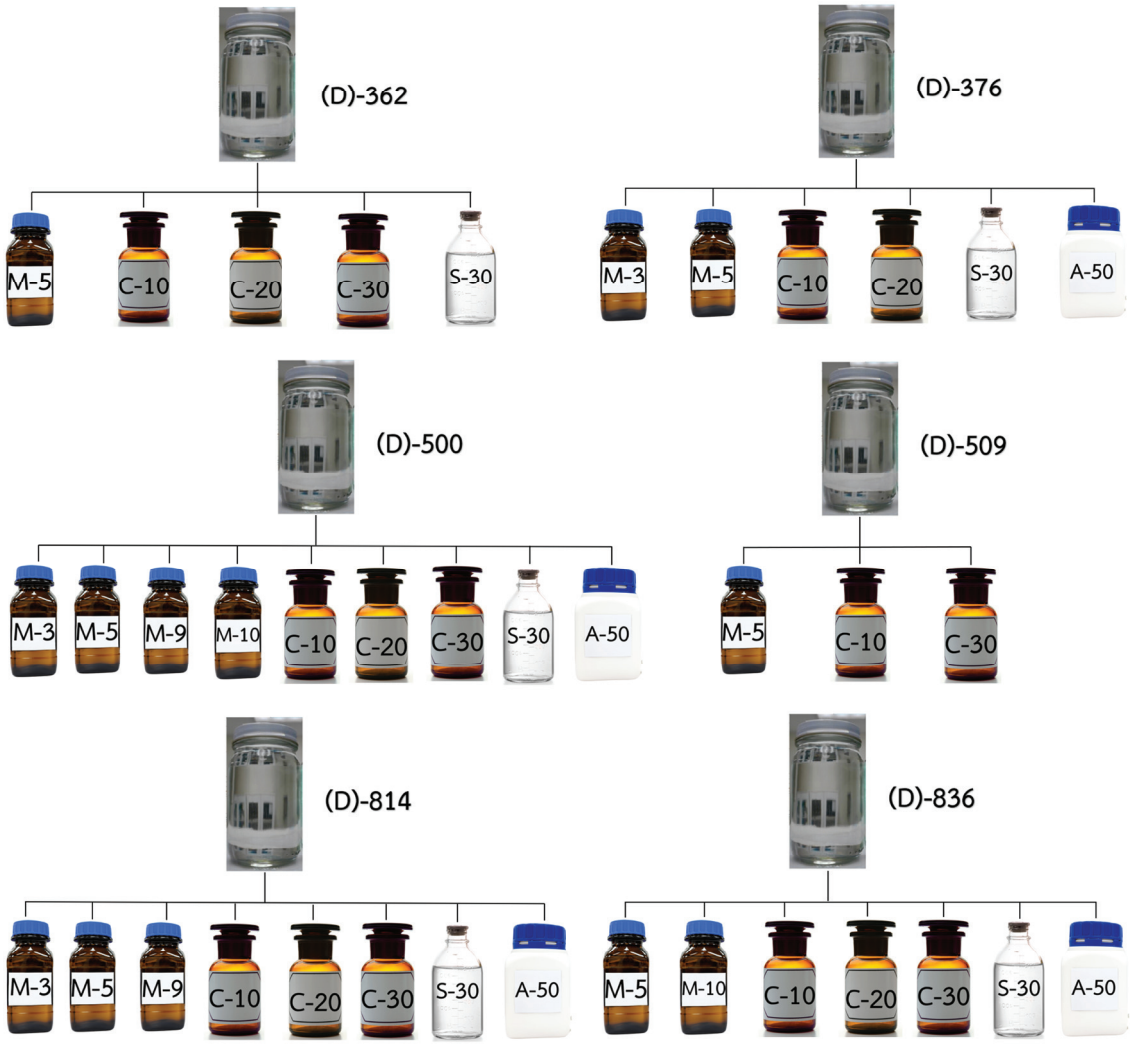

**ภาพที่ 4** ค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้าเดือนมกราคม 2564 ถึงเดือนกันยายน 2567

เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งานจริงสำหรับพยากรณ์ความต้องการสินค้าทั้ง 6 ชนิด พร้อมทั้งเปรียบเทียบความต้องการสินค้าพยากรณ์กับความต้องการสินค้าจริงที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน พ.ศ.2567 พบว่าข้อมูลค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนมีความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นจริง แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อ F คือค่าพยากรณ์ และ A คือข้อมูลความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นจริง

**ตารางที่ 3** เปรียบเทียบความต้องการสินค้าพยากรณ์และความต้องการสินค้าจริง (หน่วย: กิโลกรัม)

| เดือน | สัปดาห์ | (D)-362 | | (D)-376 | | (D)-500 | | (D)-509 | | (D)-814 | | (D)-836 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | A | F | A | F | A | F | A | F | A | F | A |
| กรกรฎาคม | 184 | 8,176 | 9,715 | 6,630 | 7,800 | 17,942 | 12,375 | 958 | 195 | 1,040 | 390 | 2,380 | 1,560 |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | 187 | 8,734 | 1,295 | 7,800 | 7,800 | 17,991 | 12,675 | 834 | 250 | 650 | 585 | 2,159 | 444 |
| สิงหาคม | 188 | 7,552 | 1,295 | 7,800 | 15,600 | 18,544 | 18,117 | 776 | 390 | 390 | 390 | 1,867 | 740 |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | 191 | 7,062 | 2,208 | 8,125 | 7,800 | 18,612 | 6,859 | 653 | 600 | 260 | 780 | 1,464 | 780 |
| กันยายน | 192 | 5,981 | 5,250 | 5,525 | 15,600 | 18,868 | 30,000 | 647 | 390 | 260 | 390 | 1,239 | 1,560 |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | 195 | 5,252 | 2,000 | 7,800 | 3,900 | 18,936 | 5,967 | 617 | 780 | 325 | 780 | 1,301 | 1,365 |
| MAPE | | 634 | | 126 | | 252 | | 92 | | 71 | | 126 | |

นอกจากนี้พบว่าความต้องการสินค้าพยากรณ์และความต้องการสินค้าจริงไม่แตกต่างกันมาก สังเกตได้จากค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของการพยากรณ์สำหรับสินค้าแต่ละชนิดมีค่าต่ำ แสดงถึงการพยากรณ์ที่สอดคล้องกับสถานการณ์จริง ต่อมาทำการวางแผนความต้องการวัสดุ โดยสินค้าหลักที่ต้องการวางแผนความต้องการวัสดุ คือ (D)-362 (D)-376 (D)-500 (D)-509 (D)-814 และ (D)-836 ใช้วัตถุดิบในการผลิต 9 ชนิด ได้แก่ M-3 M-5 M-10 M-9 C-10 C-20 C-30 S30 และ A-50 โดยวัตถุดิบทั้งหมดอยู่ในระดับความสำคัญเดียวกันคือระดับ 1 มีหน่วยในการสั่งและระยะเวลานำเท่ากัน แต่แตกต่างกันในจำนวนที่ต้องการและขนาดของการสั่ง ซึ่งจะมีผลในการสั่งสินค้าแต่ละครั้ง แผนภาพโครงสร้างผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ชนิด แสดงดังภาพที่ 5




**ภาพที่ 5** โครงสร้างผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ชนิด

จากนั้นทำการวางแผนการผลิตสินค้าและแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลจากการพยากรณ์และรายละเอียดของวัตถุดิบที่ต้องใช้ตามโครงสร้างผลิตภัณฑ์ การวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบของสินค้าทั้ง 6 ชนิด เพื่อทราบถึงรายละเอียดของจำนวนที่ต้องการ ปริมาณที่มีอยู่ วัสดุสำรองเผื่อ จำนวนต้องการสุทธิ และแผนการซื้อแต่ละสัปดาห์ (Pooya et al., 2021) แสดงดังตารางที่ 4 ยกตัวอย่างสินค้า (D)-500 ในสัปดาห์ที่ 6 มีความต้องการใช้งานจำนวน 109 กิโลกรัม ปริมาณที่มีอยู่ คือ 9,891 กิโลกรัม ไม่มีการแบ่งวัตถุดิบไว้ (ค่าเป็น 0) ไม่มีวัสดุสำรอง (ค่าเป็น 0) มีความต้องการสุทธิจำนวน 109 กิโลกรัม เนื่องจากปริมาณที่นำไปใช้ได้ มีแผนการรับ (D)-500 จำนวน 10,000 กิโลกรัม มีแผนการสั่งซื้อจำนวน 10,000 กิโลกรัมในสัปดาห์ที่ 5 เพื่อให้ได้สินค้าภายในสัปดาห์ที่ 6

**ตารางที่ 4** การวางแผนความต้องการวัสดุ (หน่วย: กิโลกรัม)

| สินค้า/วัตถุดิบ | รายการ | สัปดาห์ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | ... | 195 |
| (D)-500 | จำนวนที่ต้องการ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 109 | 137 | ... | 16,298 |
| | ปริมาณที่มีอยู่ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,891 | 9,753 | ... | 3,847 |
| | วัสดุสำรองเผื่อ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 |
| | จำนวนต้องการสุทธิ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 109 | 0 | ... | 16,153 |
| | แผนการรับ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,000 | 0 | ... | 20,000 |
| | แผนการสั่ง | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,000 | 0 | 0 | ... | 20,000 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ... | ⋮ |
| วัตถุดิบ A-50 | จำนวนที่ต้องการ | 0 | 3.2 | 5.7 | 10.7 | 12.6 | 13.4 | 17 | ... | 44.3 |
| | ปริมาณที่มีอยู่ | 0 | 21.8 | 16.1 | 5.4 | 17.8 | 4.4 | 12.4 | ... | 17.1 |
| | วัสดุสำรองเผื่อ | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 |
| | จำนวนต้องการสุทธิ | 25 | 3.2 | 0 | 0 | 7.2 | 0 | 12.6 | ... | 32.9 |
| | แผนการรับ | 25 | 25 | 0 | 0 | 25 | 0 | 25 | ... | 50 |
| | แผนการสั่ง | 25 | 0 | 0 | 25 | 0 | 25 | 25 | ... | 0 |

จากข้อมูลการวางแผนความต้องการวัสดุทำให้ทราบปริมาณวัตถุดิบที่คาดว่าจะใช้งานในแต่ละช่วงเวลาและกำหนดการสั่งซื้อวัตถุดิบที่แม่นยำ ส่งผลให้สามารถรักษาระดับปริมาณวัตถุดิบให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมและหลีกเลี่ยงปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบ จำนวนวัตถุดิบที่ต้องการในแต่ละสัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** จำนวนวัตถุดิบที่ต้องการ (หน่วย: กิโลกรัม)

| วัตถุดิบ | สัปดาห์ | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | ... | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 |
| M-3 | 10,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,000 | ... | 0 | 0 | 0 | 10,000 | 0 |
| M-5 | 10,000 | 0 | 0 | 0 | 10,000 | 0 | 10,000 | 0 | ... | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |
| M-10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 195 | 0 | 0 | 195 | ... | 3,705 | 3,705 | 3,705 | 3,705 | 3,900 |
| M-9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 195 | 0 | 0 | - | ... | 0 | 195 | 195 | 195 | 0 |
| C-10 | 25 | 0 | 0 | 25 | 0 | 25 | 25 | 25 | ... | 75 | 100 | 100 | 75 | 25 |
| C-20 | 25 | 25 | 25 | 25 | 50 | 50 | 75 | 50 | ... | 75 | 100 | 75 | 75 | 75 |
| C-30 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | ... | 150 | 75 | 0 | 125 | 0 |
| S-30 | 0 | 0 | 10,000 | 0 | 10,000 | 0 | 10,000 | 10,000 | ... | 10,000 | 20,000 | 20,000 | 10,000 | 10,000 |
| A-50 | 25 | 0 | 0 | 25 | 0 | 25 | 25 | 25 | ... | 0 | 25 | 75 | 100 | 0 |

เมื่อนำวิธีการที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2567 (สัปดาห์ที่ 184 ถึงสัปดาห์ที่ 195) พบว่าบริษัทกรณีศึกษาไม่มีค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าเกิดขึ้น แต่ควรมีการเก็บวัตถุดิบในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ วัตถุดิบ M-3 จำนวน 20,000 กิโลกรัม วัตถุดิบ M-5 จำนวน 110,000 กิโลกรัม วัตถุดิบ M-10 จำนวน 41,730 กิโลกรัม วัตถุดิบ M-9 จำนวน 9,555 กิโลกรัม วัตถุดิบ C-10 จำนวน 1,050 กิโลกรัม วัตถุดิบ C-20 จำนวน 900 กิโลกรัม วัตถุดิบ C-30 จำนวน 1,700 กิโลกรัม วัตถุดิบ S-30 จำนวน 200,000 กิโลกรัม และวัตถุดิบ A-50 จำนวน 950 กิโลกรัม รวมปริมาณวัตถุดิบที่จัดเก็บทั้งหมดเท่ากับ 385,885 กิโลกรัม เมื่อค่าใช้จ่ายในการเก็บวัตถุดิบเท่ากับ 0.38 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเก็บวัตถุดิบจึงเท่ากับ 751,770 บาท คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบก่อนนำวิธีการที่เสนอมาใช้ การวิเคราะห์ค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบ แสดงดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** การวิเคราะห์ค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบ

| ผลการวิเคราะห์ | ก่อนการพยากรณ์ (ระยะเวลา 3 เดือน) | หลังการพยากรณ์ (ระยะเวลา 3 เดือน) | ร้อยละความแตกต่าง |
|---|---|---|---|
| ค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้า | 1,028,800 บาท | 0 | ลดลงร้อยละ 100 |
| ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบ | 714,890 บาท | 751,770 บาท | เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 |

ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้ช่วยให้บริษัทกรณีศึกษาวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตอะคริลิกเรซินเหลวได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากขึ้น โดยสามารถเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ความต้องการสินค้าที่สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูลทำให้ทราบปริมาณความต้องการสินค้าที่แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้บริษัทกรณีศึกษายังสามารถวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตสินค้าได้อย่างแน่นอน ทราบถึงช่วงระยะเวลาที่ต้องสั่งซื้อวัตถุดิบ และปริมาณความต้องการวัตถุดิบ โดยบริษัทกรณีศึกษายอมให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องมีการสั่งซื้อวัตถุดิบมาเตรียมพร้อมไว้สำหรับการผลิต ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการเก็บเก็บวัสดุที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าที่ลดลงอย่างมาก

**สรุป**

การศึกษาวิจัยนี้ต้องวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตอะคริลิกเรซินเหลวด้วยการใช้วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาและการวางแผนความต้องการวัสดุ โดยการพยากรณ์ความต้องการสินค้าพิจารณาจากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตเพื่อค้นหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมซึ่งมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำสุด โดยวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่เหมาะสมช่วยให้ทราบปริมาณความต้องการสินค้าได้อย่างแม่นยำ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์จากการพยากรณ์ไปใช้ในการวางแผนการจัดซื้อวัตถุดิบรายสัปดาห์ด้วยวิธีการวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP) เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้าของงานวิจัยนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของสินค้าสำเร็จรูป จากการประยุกต์ใช้วิธีการที่นำเสนอกับการวางแผนการผลิตสินค้าและสั่งซื้อวัตถุดิบของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าการขาดแคลนสินค้าและค่าเสียโอกาสจากการขาดส่งสินค้าหมดไป โดยบริษัทมีค่าใช้จ่ายในการเก็บวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเพียงเท่านั้น ประโยชน์จากการศึกษาวิจัยนี้เป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบธุรกิจในการคาดการณ์ความต้องการสินค้าและวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบได้แม่นยำ อีกทั้งสามารถคำนวณความต้องการสินค้าและวัตถุดิบที่ควรจัดเก็บได้อย่างเหมาะสม ผู้ประกอบธุรกิจสามารถปรับแผนการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการสินค้าที่มีรูปแบบและความผันแปรแตกต่างกันได้ สำหรับงานวิจัยในอนาคต การรวมวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาเข้ากับการวางแผนความต้องการวัสดุสมัยใหม่ เช่น การใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือการวิเคราะห์เชิงทำนาย (Predictive Analytics) เพื่อสร้างแผนการผลิตอัตโนมัติ แผนการสั่งซื้อวัตถุดิบแบบทันเวลา และแผนการจัดตารางการผลิตที่สามารถประมวลผลได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้สามารถศึกษาการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์และการสั่งซื้อวัตถุดิบที่มีความแม่นยำมากขึ้นได้เช่นกัน

**เอกสารอ้างอิง**

Bank of Ayudhya Public Company Limited. (2023). Industry Outlook 2023-2025: Petrochemicals. Retrieved from https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/ petrochemicals /petrochemicals/io/io-petrochemicals-2023-2025 [2024, 17 Aug.]

Cetin, B. & Yavuz, I. (2020). Comparison of forecast accuracy of Ata and exponential smoothing. **Journal of Applied Statistics, 48**(13-15), 2580-2590.

Chuleekorn, C. (2020). The forecasting and economic ordering quantity for package demand: case study of agricultural products processing company in Phatthalung. **Humanities and Social Science Research Promotion Network Journal**, **3**(3), 92-108. (In Thai)

Holt, C. C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. **International Journal of Forecasting, 20**(1), 5-10.

Jeong, J. I., Park, R. J., Yeh, S. -W., & Roh, J.-W. (2021). Statistical predictability of wintertime PM2.5 concentrations over East Asia using simple linear regression. **Science of The Total Environment, 776**, 146059.

Kahraman, E., & Akay, O. (2023). Comparison of exponential smoothing methods in forecasting global prices of main metals. **Mineral Economics, 36**, 427-435.

Ke, G., Chen, R.-S., Chen, Y.-C., Wang, S., & Zhang, X. (2022). Using ant colony optimization for improving the execution of material requirements planning for smart manufacturing. **Enterprise Information Systems**, **16**(2), 379-401.

Khantiprasert, S., & Ruangchoengchum, P. (2019). Material requirements planning for Chiangda vegetable tea production: Case study in the Plant Genetic Conservation Center of Khlongpai, Nakhon Ratchasima Province. **NEU Academic and Research Journal, 9**(3), 54-64. (In Thai)

Koohathongsumrit, N. (2024). **Production planning and control.** Bangkok, Thailand: Ramkhamhaeng University Press. (In Thai)

Miclo, R., Lauras, M., Fontanili, F., Lamothe, J., & Melnyk S. A. (2019). Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. **International Journal of Production Research, 57**(1), 166-181.

Pooya, A., Fakhlaei, N., & Alizadeh-Zoeram, A. (2021). Designing a dynamic model to evaluate lot-sizing policies in different scenarios of demand and lead times in order to reduce the nervousness of the MRP system. **Journal of Industrial and Production Engineering, 38**(2), 122-136.

Sawatgamon, S., Pruttipong, A., & Chairat, M. (2024). Inventory management by moving average forecasting and EOQ: AAA Co., Ltd. **Journal of Administrative and Management Innovation, 12**(2), 127-141. (In Thai)

Suphawadee, S., & Chalieo, B. (2023). Reducing the inventory cost of full-service chain store coffee shops. **Journal of Management Science, 25**(1), 106-119. (In Thai)

Thanchanok, J., & Amarin, T. (2022). Time series forecasting for determining economic order quantity of silicon rubber manufacturer. **Journal of Logistics and Supply Chain College, 8**(2), 28-49. (In Thai)

# การศึกษาผลของวิธีการทำดอกอัญชันแห้งต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำดอกอัญชัน

# STUDY ON THE EFFECT OF DRYING METHODS ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF BUTTERFLY PEA FLOWERS

อัยย์ญดา สิรินจุลพงศ์[1] วรวดี สุชัยยะ[2] สุธาทิพย์ ทองเล่ม[2] ฝนทิพย์ หอมรื่น[1] และ เจริญพร โชคบริบาล[2*]
[1] สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220
[2] สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Aiyada Sirinjullapong[1] Vorawadee Suchaiya[2] Sutatip Thonglem[2] Fonthip Homruen[1] and Jaroenporn Chokboribal[2*]
[1]Home economic program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
[2]Material Sciences program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

*E-mail: Chokboribal.J@gmail.com

*Received: 2024-08-15*
*Revised: 2024-12-09*
*Accepted: 2024-12-12*

**บทคัดย่อ**

ดอกอัญชันเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสมบัติเป็นสารโภชนเภสัชและมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของแอนโทไซยานิน แต่ในระหว่างการทำแห้งและแปรรูปดอกอัญชันสำหรับนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารจะพบปัญหา ได้แก่ การสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระจากความร้อนและน้ำตาล ทั้งนี้การศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทำดอกอัญชันแห้ง จะสามารถรักษาและป้องกันการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระและสารในกลุ่มของแอนโทไซยานินได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการทำแห้ง 3 แบบ ได้แก่ การตากแดด การอบแห้ง และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของดอกอัญชัน พบว่า ดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ดอกอัญชันคงรูปและมีสีของน้ำต้มดอกอัญชันใกล้เคียงกับน้ำอัญชันจากดอกสด และยังช่วยรักษาสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด นอกจากนี้การทำน้ำหวานจะลดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยน้ำต้มดอกอัญชันแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 41.41±1.13 mg GAE/g และมีการต้านอนุมูลอิสระเป็นร้อยละ 39.76±0.55 ในขณะที่น้ำหวานดอกอัญชันแช่เยือกแข็งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่า คือ เท่ากับ 37.74±1.56 mg GAE/g และร้อยละการต้านอนุมูลอิสระเป็น 37.01±1.08 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ดอกอัญชัน น้ำดอกอัญชัน การทำแห้ง แอนโทไซยานิน

**ABSTRACT**

Butterfly pea is a plant with high nutritional value and contains biologically active compounds. This active compound possesses nutraceutical and antioxidant properties, which belong to the anthocyanin group. The drying and processing stages of using butterfly pea as a food ingredient cause antioxidant degradation due to heat and sugar. Studying and identifying appropriate methods for producing dried butterfly pea flowers using suitable techniques can serve as a preliminary approach to preserving the degradation of antioxidant and anthocyanin compounds. This research studied total phenolic content and antioxidant activities of 3 types of dried butterfly pea flowers: sun drying, hot air drying, and freeze-drying. The results found that freeze-dried butterfly pea flowers retained their shape and juice color similar to fresh butterfly pea flower juice. Additionally, this method effectively preserved the highest level of antioxidants. Moreover, making syrup reduces the amount of phenolic compounds and antioxidant activity. The butterfly pea flower juice had a total phenolic content of 41.41±1.13 mg GAE/g and antioxidant activity of 39.76±0.55% DPPH scavenging, whereas butterfly pea flower syrup had a lower, total phenolic content and antioxidant activity of 37.74±1.56 mg. GAE/g and 37.01±1.08 % DPPH scavenging, respectively.

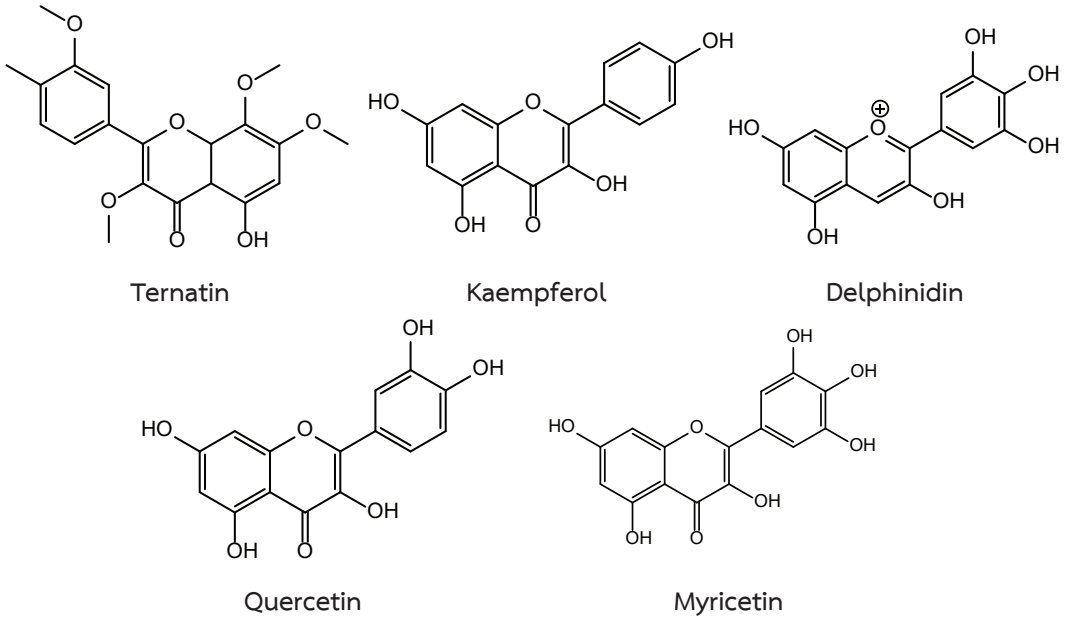
**Keywords:** Butterfly pea flowers, Butterfly pea flower juice, Drying, Anthocyanin

**บทนำ**

อัญชัน (Butterfly pea) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Clitoria tematea* Linn. อยู่ในวงศ์ Leguminosae เป็นไม้ล้มลุกในกลุ่มฝักเมล็ดกลมที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย ออกดอกตลอดทั้งปี ดอกมีหลายสี ได้แก่ น้ำเงิน ม่วง ฟ้า และขาว ดอกอัญชันสีน้ำเงินนิยมนำไปประกอบอาหารคาวหวาน และใช้ตกแต่งอาหารให้น่ารับประทาน เช่น ขนมชั้น วุ้น บัวลอย บุหลันดั้นเมฆ ลอดช่อง ครองแครง ขนมเรไร ข้าวเกรียบปากหม้อ ข้าวเหนียวมูล ถั่วแปบ ลืมกลืน น้ำเชื่อม เค้ก ไอศกรีม มัฟฟิน และโยเกิร์ต (Sarma et al., 2023; Gupta et al., 2010)

ดอกอัญชันประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ที่ใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ รูมาตอยด์ โรคข้ออักเสบ โรคหู โรคผิวหนัง เนื้องอก ต้อกระจก หอบหืด และการติดเชื้อโรคต่าง ๆ (Ma'ruf et al., 2022; Aziza et al., 2021; Nugraha et al., 2021; Adhikary et al., 2018; ALshamrani et al., 2018; Pakpahan et al., 2023; Kusuma, 2019; Anand et al., 2011) ผลทางเภสัชวิทยาพบว่าอัญชันช่วยต้านเชื้อแบคทีเรียและปรสิต ต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ ลดการต้านการอักเสบ เสริมภูมิคุ้มกัน แก้ปวด ลดไข้ แก้ซึมเศร้า ต้านเบาหวาน (Oguis et al., 2019) และต้านสารฮิสตามีน (Sarma et al., 2023; Verma et al., 2013; Gupta et al., 2010)

ดอกอัญชันมีสารสีน้ำเงินแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Flavonol glycosides สามารถละลายน้ำได้ดี แต่ไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรด โดยจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน แอนโทไซยานินชนิดที่พบในดอกอัญชัน ได้แก่ Ternatin Kaempferol Quercetin และ Myricetin (Singh et al., 2022; Kazuma et al., 2003) (ภาพที่ 1)




**ภาพที่ 1** โครงสร้าง Ternatin และอนุพันธ์

สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระระดับปานกลางถึงสูง (Rice-Evans et al., 1997) มีฤทธิ์ในการเกิด Lipid peroxidation ช่วยชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว และต้านการอักเสบ ช่วยลดปริมาณ Malondialdehyde (MDA) และเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) และ Catalase (CAT) (Patil & Patil, 2011) ดอกอัญชันยังประกอบด้วยสารในกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด (Phenolic compounds) ที่ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ สามารถลดเลือนริ้วรอยและชะลอการเสื่อมสภาพของผิวหนัง จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอางสำหรับการชะลอวัย นอกจากนี้สารสกัดจากดอกอัญชันมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลชีพ ต้านเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และยับยั้งพิษจากแมลงต่าง ๆ (Saetang, 2016; Cheewabanthoeng et al., 2021)

จากคุณประโยชน์ของดอกอัญชันที่กล่าวมานี้ทำให้ดอกอัญชันเป็นที่ต้องการของตลาด ทั้งการใช้ประโยชน์ในด้านอาหารและยา ในด้านอาหารนั้นมักใช้ดอกอัญชันแห้ง เนื่องจากหาได้ง่าย สามารถควบคุมความเข้มของสี เหมาะแก่การนำประกอบเป็นอาหารได้ทุกประเภท การทำแห้งเป็นกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาดอกอัญชันให้นานขึ้นและเพิ่มมูลค่าให้กับดอกอัญชัน ซึ่งวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพของสมุนไพรที่แตกต่างกัน (Piskov et al., 2020) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การอบลมร้อน การอบด้วยไมโครเวฟ และการตากแดด ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของพืช (Rittilert, 2022)

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งแบบต่าง ๆ ได้แก่ การตากแดด การอบลมร้อน และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ต่อคุณภาพทางกายภาพ และศึกษาคุณภาพทางเคมีของน้ำต้มและน้ำเชื่อมดอกอัญชัน ที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 ชนิดเปรียบเทียบกับดอกสด โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการแปรรูปดอกอัญชันแห้งให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง

**วิธีการ**

**1. สารเคมี**

สารเคมีที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้ 2,2-diphenyl-l-1-picrylhydrazil (DPPH) (Fluka, Germany), Ethanol (Merck, Germany), Potassium chloride (KCl) (บริษัทเอกตรงเคมีภัณฑ์, ประเทศไทย), Folin Ciocalteu (MERCK, Geramany), Gallic acid (Aldrich, Germany), Ammonium thiocyanate (Aldrich, Germany), Ferrous chloride (Aldrich, Germany), Potassium ferricyanide (Aldrich, Germany), Trichloroacetic acid (Aldrich, Germany), Ferric chloride (Aldrich, Germany) และ Sodium carbonate(Merck, Germany)

**2. การเตรียมดอกอัญชันและการทำแห้งดอกอัญชัน**

ดอกอัญชันนำมาจากท้องถิ่น อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ที่เก็บในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน นำดอกอัญชันสด 300 กรัม มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา 1 ครั้ง จากนั้นนำดอกอัญชันไปทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การตากแดด (Sun drying)

นำดอกอัญชันใส่ถาดอะลูมิเนียมขนาด 33 cm x 4.5 cm x 2.5 cm จากนั้นนำไปตากแดดในเวลา 8.00-16.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิต่ำสุด 30 – 38 องศาเซลเซียส)

2.2 การอบลมร้อน (Hot air drying)

นำดอกอัญชันใส่ถาดอะลูมิเนียมขนาด 33 cm x 4.5 cm x 2.5 cm นำไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง (ความเร็วลมเฉลี่ย 4.2 เมตรต่อวินาที) โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer : Semon รุ่น MX-D011E ประเทศไทย)

2.3 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

นำดอกอัญชันไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส ความดัน 50 ปาสคาล เป็นเวลา 7 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Freeze dryer : GOLD-SIM รุ่น FD5-4 ประเทศสหรัฐอเมริกา

**3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ**

นำดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้ง ไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาผลผลิตโดยมวล (Yield) ภายหลังการอบแห้ง ดังสมการที่ 1 เมื่อกำหนดให้ $m_0$ คือ มวลทำแห้ง (กรัม) และ $m_1$ คือมวลที่เหลืออยู่หลังทำแห้ง (กรัม) และวัดสีของดอกอัญชันด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ CIE L*a*b* Color scale (Color meter : FRU รุ่น WR 10 ประเทศจีน)

$$\text{Yield (\%)} \ \frac{m_1}{m_0} \times 100 \qquad (1)$$

**4. การเตรียมน้ำต้มดอกอัญชันและการเตรียมน้ำหวานดอกอัญชัน**

4.1 น้ำต้มดอกอัญชัน

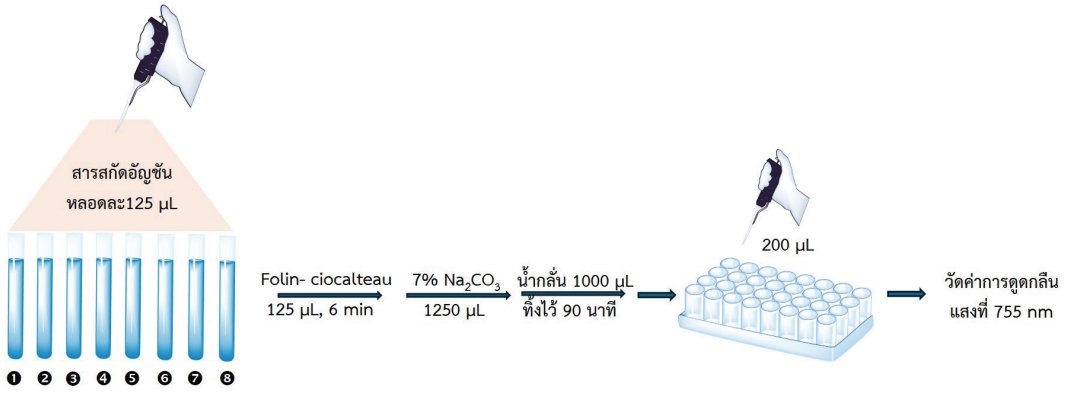
ต้มดอกอัญชันสดหนัก 150 กรัม ในน้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนเดือดประมาณ 10-15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นกรองดอกอัญชันออก แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้น้ำต้มดอกอัญชันสดสำหรับน้ำต้มดอกอัญชันแห้งทำโดยชั่งดอกอัญชันแห้ง (การตากแดด) หนัก 42 กรัม ดอกอัญชันแห้ง (การอบแห้ง) หนัก 27 กรัม และดอกอัญชันแห้ง (การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) หนัก 12 กรัม ในน้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนเดือดประมาณ 10-15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นกรองดอกอัญชันออกแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้น้ำต้มดอกอัญชันแห้ง

4.2 น้ำหวานดอกอัญชัน

การทำน้ำหวานดอกอัญชันสดและดอกอัญชันแห้งทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1 เติมน้ำตาลทรายขาวยี่ห้อมิตรผล (บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด ประเทศไทย) หนัก 100 กรัม ต้มทิ้งไว้จนเดือดประมาณ 10 ถึง 15 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นกรองดอกอัญชันออกแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้น้ำหวานดอกอัญชันสดและน้ำหวานดอกอัญชันแห้ง

**5. การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด**

นำน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชัน ตัวอย่างละ 125 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร จากนั้นเติม Folin- ciocalteau reagent ร้อยละ 10 ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้นาน 6 นาที แล้วเติม $Na_2CO_3$ ร้อยละ 7 ปริมาตร 1,250 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 1,000 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 90 นาที จากนั้นปิเปตสารที่ได้ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 755 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครแพลทรีดเดอร์ (Perkin Elmer รุ่น L160000A ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ เปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid (Chen et al., 2015; Miliauskas et al., 2004) ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแสดงในภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** ขั้นตอนการวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

**6. การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ**

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เข้มข้น $3.9 \times 10^{-2}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล (ร้อยละ 99.99) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นเตรียมสารสกัดจากดอกอัญชันแต่ละตัวอย่าง โดยละลายดอกอัญชัน 10 กรัม และน้ำตาลทรายขาว 50 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน 50 ไมโครลิตร กับ DPPH 50 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader (Perkin Elmer รุ่น L160000A ประเทศสหรัฐอเมริกา) คำนวณหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH scavenging activity (%) (Blois, 1958) ดังสมการที่ 2

$$\text{DPPH scavenging activity (\%)} \ \frac{(A_0 - A_s)}{A_0} \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่ $A_0$ คือค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลาย DPPH (ชุดควบคุม)

$A_s$ คือค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

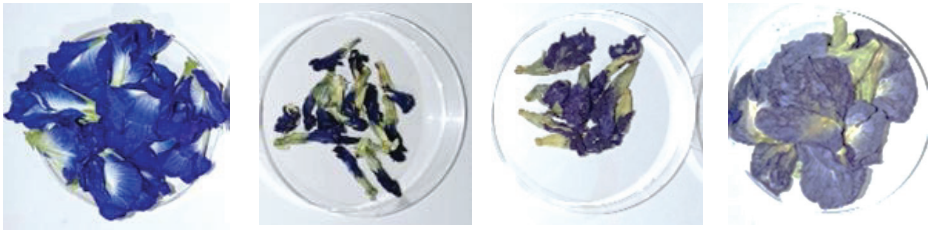
**7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ค่าการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณฟีนอลลิก ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) และความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

**1. ลักษณะทางกายภาพของดอกอัญชันแห้ง**

ดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งโดยการตากแดดมีสีเข้มขึ้นและมีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับดอกสด เช่นเดียวกับดอกอัญชันที่ผ่านการอบลมร้อนมีสีเข้มขึ้นและมีขนาดเล็กลงเล็กน้อย ในขณะที่ดอกอัญชันที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสีจางลงแต่มีขนาดของดอกเท่าเดิม (ภาพที่ 3)



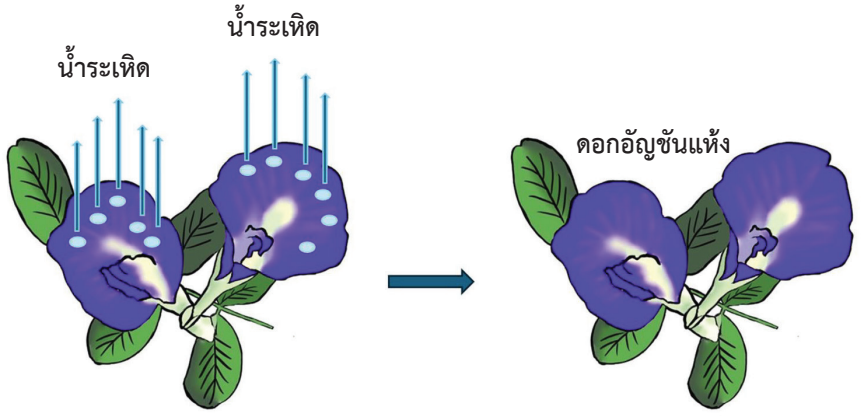
**ดอกสด** **การตากแดด** **การอบลมร้อน** **การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง**

**ภาพที่ 3** ลักษณะของดอกอัญชันก่อนและหลังการทำแห้ง

**ตารางที่ 1** การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของดอกอัญชันหลังการทำแห้ง

| วิธีการทำแห้ง | น้ำหนักดอกสด (กรัม) | น้ำหนักดอกแห้ง (กรัม) | น้ำหนักแห้ง (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|
| ดอกสด | 300 | - | - |
| การตากแดด | 300 | 84±0.81 | 27.67±0.27 |
| การอบลมร้อน | 300 | 54±1.08 | 17.62±0.20 |
| การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง | 300 | 54±1.22 | 8.62±0.99 |

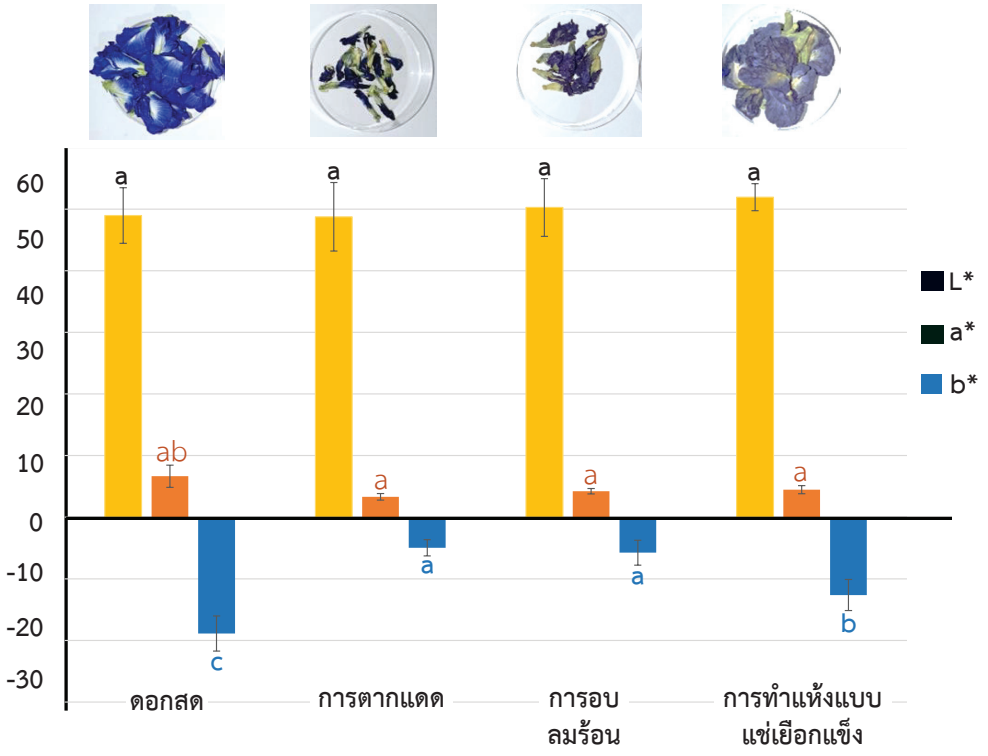
การทำแห้งดอกอัญชัน ส่งผลให้น้ำหนักของดอกอัญชันลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียความชื้นในดอกอัญชัน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีน้ำหนักดอกอัญชันแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดการระเหิดของน้ำออกจากโครงสร้างของดอกอัญชัน (ภาพที่ 4) โดยโมเลกุลของน้ำที่ระเหิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดอกอัญชัน (Merivaara et al., 2021) ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่นี้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ออกจากดอกอัญชันโดยไม่ทำลายเซลล์ จึงช่วยรักษาสภาพของเซลล์ได้มากที่สุด จึงได้ดอกอัญชันที่แห้งและคงรูปได้ดี (ภาพที่ 4) ซึ่งสามารถนำดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไปประดับตกแต่งอาหารได้




**ภาพที่ 4** การระเหิดของน้ำออกจากดอกอัญชัน

**ตารางที่ 2** ค่าสี L*, a*, b* ของดอกอัญชัน

| วิธีการทำแห้ง | ค่าความสว่าง (L*) | ค่าสีแดง (a*) | ค่าสีน้ำเงิน (b*) |
|---|---|---|---|
| ดอกสด | 48.96±4.52 | 6.64±1.80 | -18.88±2.85 |
| การตากแดด | 48.75±5.56 | 3.31±0.53 | -4.97±1.31 |
| การอบลมร้อน | 50.26±4.68 | 4.21±0.43 | -5.77±2.03 |
| การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง | 51.93±2.20 | 4.46±0.67 | -12.64±2.52 |




[abc]Mean±SD ในแต่ละค่าแกนสี โดยที่ตัวอักษรที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

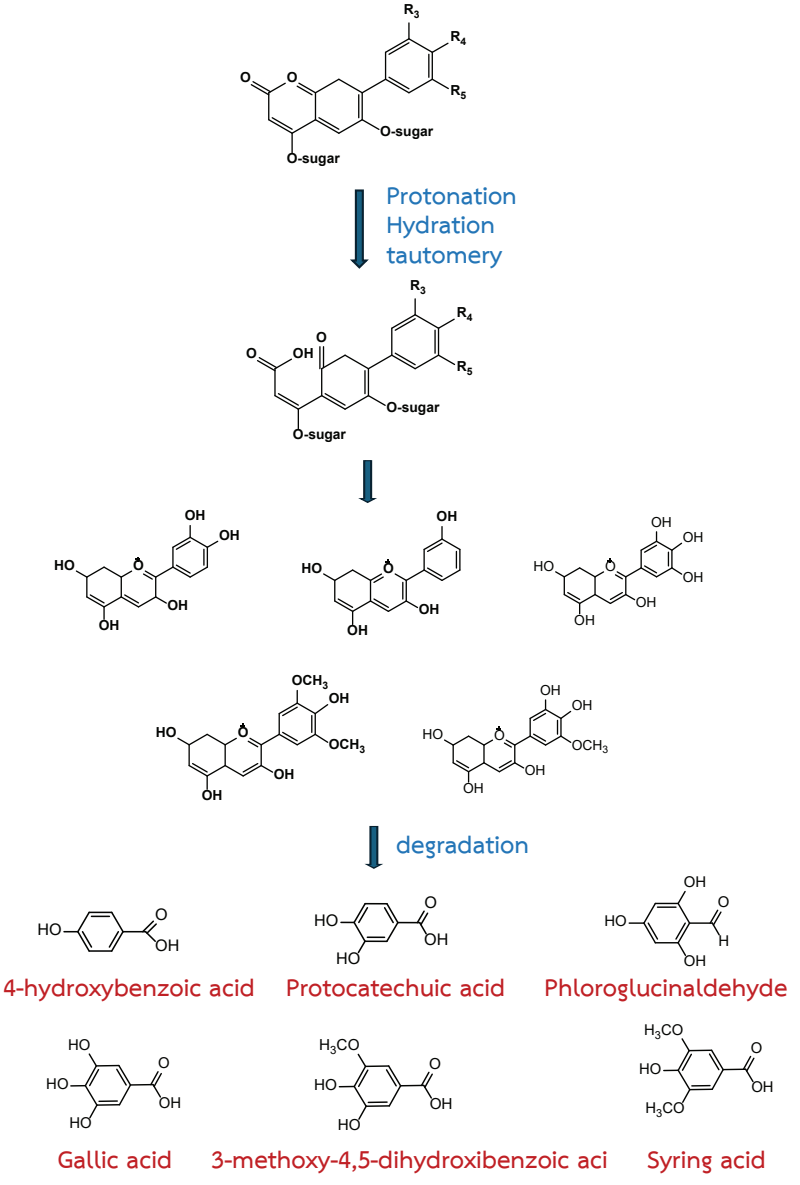
**ภาพที่ 5** ค่า L*, a*, b* ของดอกอัญชัน

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 5 พบว่าดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งมีค่าความสว่าง (L*) ใกล้เคียงกัน โดยการอบลมร้อนและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น (a*) และค่าสีน้ำเงินลดลง (b*) ซึ่งส่งผลค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของดอกอัญชันในภาพที่ 3 และ 5

เมื่อพิจารณาค่าสี b* (ภาพที่ 5) พบว่าการแห้งโดยการตากแดดและอบลมร้อนมีผลทำให้ค่าสีน้ำเงินลดลง อาจเนื่องมาจากรังสี UV จากแสงแดด (Purbaningtias et al., 2017) และความร้อนจากลมร้อน (Sipahli et al., 2017; Oancea, 2021) ที่มีผลต่อการสลายตัวของแอนโทไซยานิน จากปฏิกิริยา Protonation ตามด้วย Hydration และ Tautomery ตามลำดับ ทำให้เกิด $O^+$ ในโครงสร้างของแอนโทไซยานิน ส่งผลให้เกิดการสลายตัวเป็น 4-Hydroxy benzoic acid, Protocatechuic acid, Phloroglucinaldehyde, Gallic acid, Syring acid, 3-methoxy-4,5-dihydroxibenzoic acid (ภาพที่ 6) ที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าแอนโทไซยานิน

**2. ลักษณะของน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชัน**

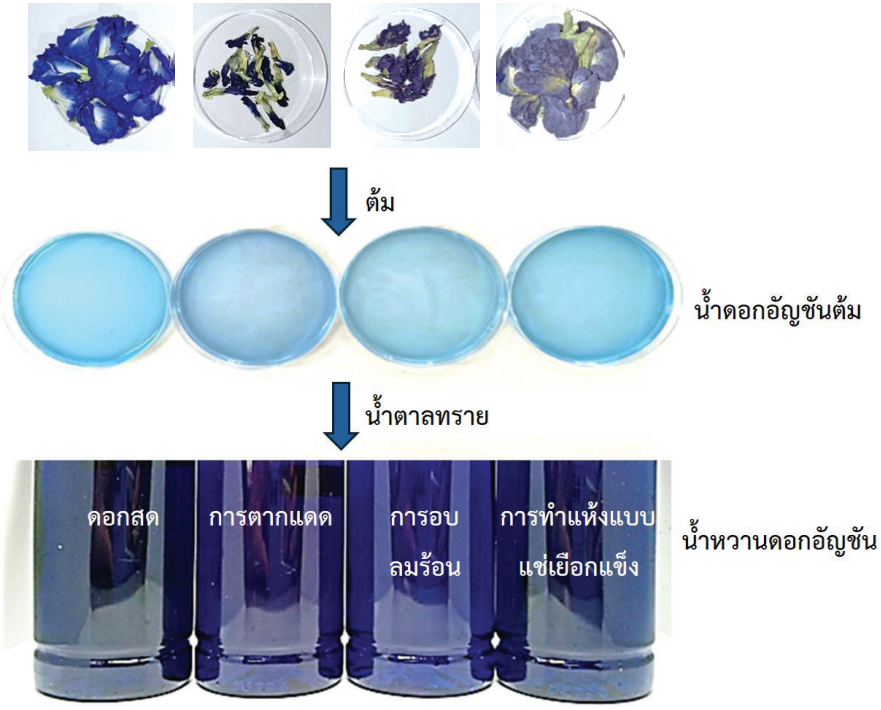
สีของน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชันผ่านการทำแห้งแบบแช่แห้งเยือกแข็งมีสีใกล้เคียงกับสีน้ำดอกอัญชันสด (ภาพที่ 7) อาจเป็นเพราะมีปริมาณแอนโทไซยานินใกล้เคียงกัน ส่วนสีน้ำต้มดอกอัญชันที่ผ่านจากการตากแดดและการอบลมร้อน มีสีน้ำเงินที่สว่างกว่าสีจากน้ำต้มดอกอัญชันสดและดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอาจเป็นเพราะมีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวจากรังสี UV และความร้อน (Purbaningtias et at., 2017; Oancea, 2021)



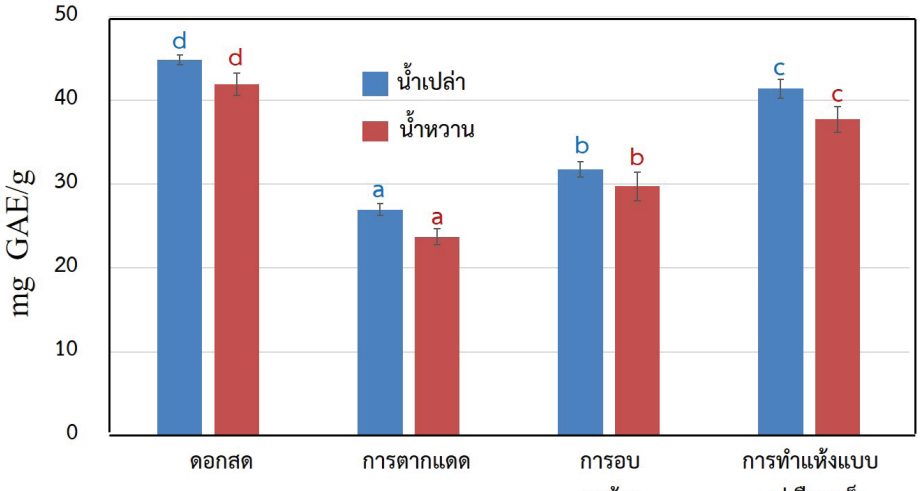

**ภาพที่ 6** กลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินจากความร้อน

### 3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ดอกอัญชันสดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดคือ 44.84±0.58 mg GAE/g รองลงมาคือ ดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (41.41±1.13 mg GAE/g) ส่วนน้ำดอกอัญชันแห้งตากแดด และดอกอัญชันที่ผ่านการตากแดดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุดคือ 26.97±0.72 mg GAE/g (ภาพที่ 8) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rittilert (2022) ที่พบว่าปริมาณฟีนอลลิกจากการทำแห้งด้วยลมร้อน และการตากแดดในผงชา แก่นตะวันลดลงอันเนื่องมาจากรังสี UV และความร้อน




**ภาพที่ 7** ลักษณะของน้ำต้มดอกอัญชันและน้ำหวานดอกอัญชัน



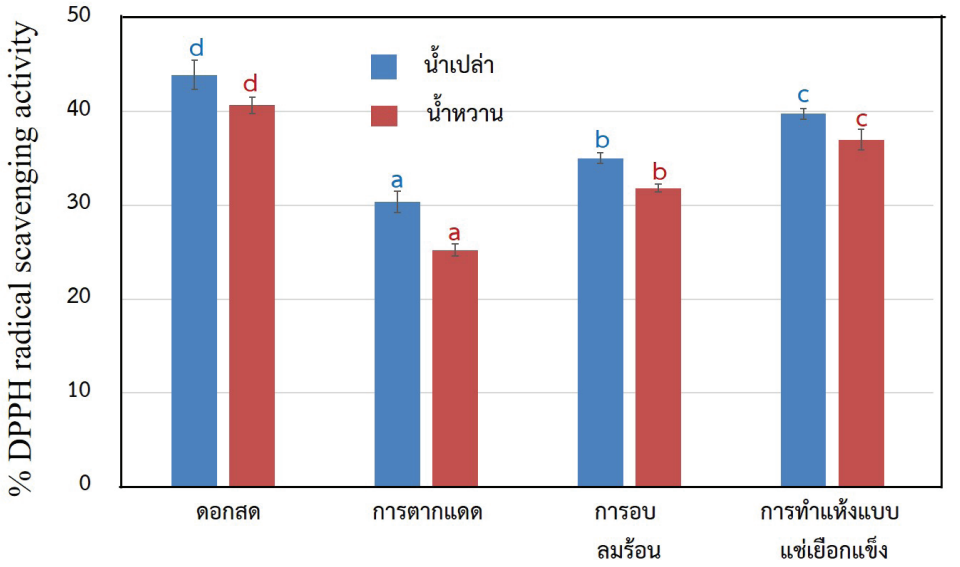

| | ดอกสด | การตากแดด | การอบลมร้อน | การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง |
|---|---|---|---|---|
| น้ำเปล่า | 44.84±0.57 | 26.97±0.72 | 31.77±0.95 | 41.41±1.13 |
| น้ำหวาน | 41.92±1.32 | 23.72±0.96 | 29.76±1.69 | 37.74±1.56 |

[abc]Mean±SD %DPPH โดยที่ตัวอักษรที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**ภาพที่ 8** ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำอัญชัน

**4. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ**

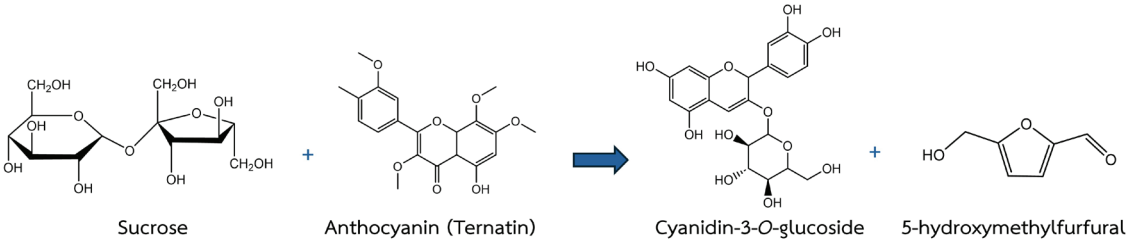
น้ำดอกอัญชันที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (ร้อยละ 39.76±0.55 DPPH scavenging) ซึ่งสูงกว่าน้ำดอกอัญชันที่ผ่านการอบลมร้อน (ร้อยละ 35.02±0.58 DPPH scavenging) และน้ำดอกอัญชันที่ผ่านการตากแดด (ร้อยละ 30.38±1.16 DPPH scavenging) ส่วนน้ำหวานดอกอัญชันให้ค่า Total phenolic และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ดอกอัญชันที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ค่า Total phenolic เท่ากับ 37.74±1.56 mg GAE/g และร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ 37.01±1.08 DPPH scavenging ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการทำแห้งเช่นเดียวกับการเปลี่ยนปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมน้ำตาลมีผลทำให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งน้ำตาลมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน โดยน้ำตาลไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินไปเป็น Antocyanidin-3-*O*-glucoside (C3G) และเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็น 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) (Song et al., 2023) (ภาพที่ 10) จากนั้น 5-HMF จะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้สารเป็นสารประกอบที่ไม่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant inactive) (Song et al., 2023) (ภาพที่ 11)




| | ดอกสด | การตากแดด | การอบลมร้อน | การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง |
|---|---|---|---|---|
| น้ำเปล่า | 43.93±1.54 | 30.38±1.16 | 35.02±0.58 | 39.76±0.55 |
| น้ำหวาน | 40.68±0.89 | 25.25±0.64 | 31.84±0.41 | 37.01±1.08 |

[abc]Mean±SD ในแต่ละค่าแกนสี โดยที่ตัวอักษรที่ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**ภาพที่ 9** ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำดอกอัญชัน



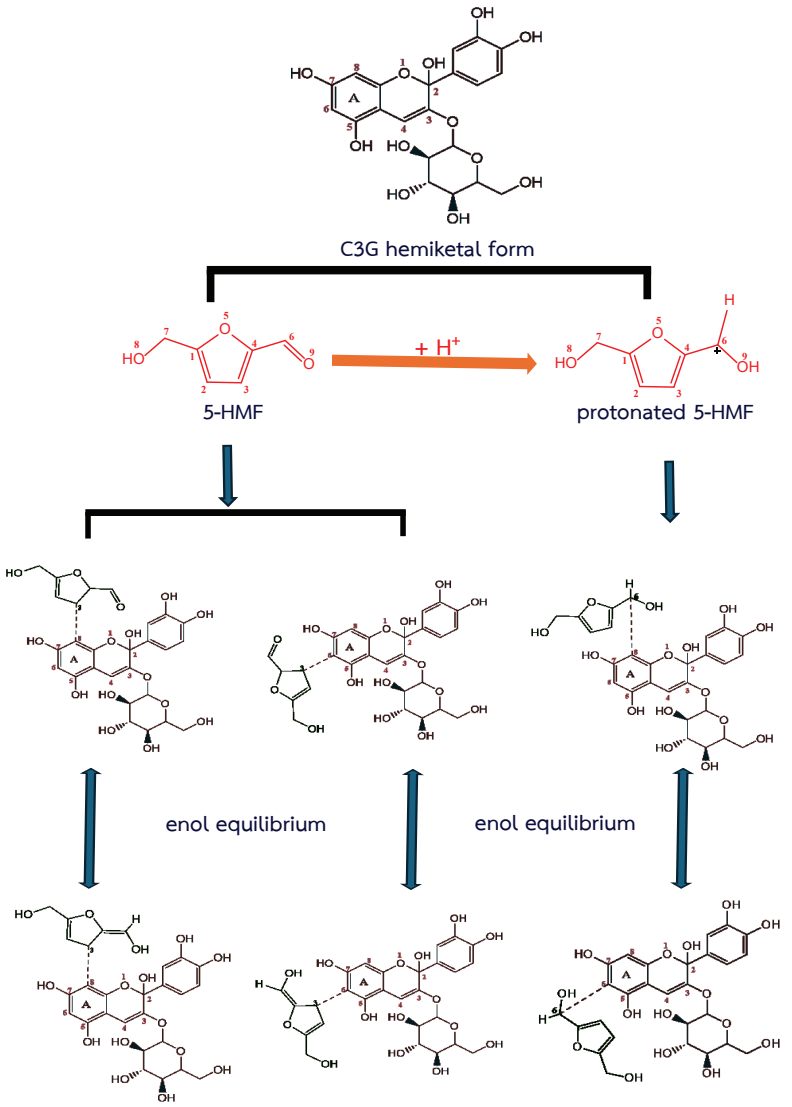

**ภาพที่ 10** การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินและการเกิด 5-hydroxymethylfurfural

จากกลไกการจับของน้ำตาล (Sucrose) กับแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ คือ Cyanidin-3-O-glucoside (C3G) และ 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) (ภาพที่ 10) จากนั้น 5-HMF หรือ protonated 5-HMF จะไปจับกับ C3G ที่ตำแหน่งจับอนุมูลอิสระ (Active site) (Song et al., 2023) ทำให้ประสิทธิภาพการจับอนุมูลอิสระของแอนโทไซนยานินลดลง (ภาพที่ 11)

ปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (ภาพที่ 8) ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง (ภาพที่ 9) เหตุผลที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งช่วยรักษาปริมาณแอนโทไซยานินได้มากกว่าวิธีการทำแห้งแบบอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างมากกว่าวิธีอื่น ๆ จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำส่งผลให้โมเลกุลของน้ำตาลละลายได้มากขึ้น นอกจากนี้ความร้อนจากการตากแดดและการอบลมร้อนอาจทำให้สารสำคัญเกิดการย่อยสลายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอัญชันมีปริมาณแอนโทไซยานินและสารต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง ซึ่งเหมาะสำหรับนำมารับประทานเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ แต่ดอกอัญชันสดมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ใกล้เคียงกับดอกสดแต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้เวลาในการผลิตนาน และกรรมวิธีในการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นวิธีนี้อาจไม่เหมาะสำหรับการนำใช้โดยทั่วไป ส่วนการทำแห้งโดยการตากแดดนั้นถึงแม้ว่าจะมีต้นทุนในการผลิตต่ำ และทำได้ง่าย แต่อาจมีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงอย่างชัดเจน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล และภูมิอากาศ การทำแห้งโดยการอบลมร้อนมีวิธีการไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังช่วยรักษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการตากแดด

อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีผลต่อการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นในการผลิตน้ำอัญชันหรืออาหารที่มีอัญชันเป็นส่วนประกอบอาจต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำตาลที่ใช้เป็นส่วนผสมเพื่อคงคุณค่า




**ภาพที่ 11** การทำปฏิกิริยาของ 5-HMF และ C3G hemiketal form

## สรุป

ดอกอัญชันมีสารประกอบฟีนอลที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งแอนโทไซยานินในดอกอัญชันสามารถสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนและรังสี UV การทำแห้งดอกอัญชันแบบแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้ดีที่สุด และน้ำตาลจะให้ประสิทธิภาพการต่อต้านอนุมูลอิสระลดลง

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

**เอกสารอ้างอิง**

Adhikary, R., Sultana, S., & Bishayi, B. (2018). *Clitoria ternatea* flower petals: Effect on TNFR1 neutralization via downregulation of synovial matrix metalloproteases. **Journal of Ethnopharmacology, 210**, 209-222.

ALshamrani, S. M., Safhi, F. A., Mobasher, M. A., Saleem, R. M., Alharthi, A., Alshaya, D. S., & Awad, N. S. (2022). Antiproliferative effect of *Clitoria ternatea* ethanolic extract against colorectal, breast, and medullary thyroid cancer cell lines. **Separations**, **9**(11), 331.

Anand, S. P., Doss, A., & Nandagopalan, V. (2011). Antibacterial studies on leaves of *Clitoria ternatea* Linn. A high potential medicinal plant. **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, **2**(3), 453–456.

Aziza, V., Ulimaz, T. A., Ustari, D., Suganda, T., Concibido, V., Irawan, B., & Karuniawan, A. (2021). Keragaman Fenotipik Bunga Telang Double Petal Asal Indonesia dan Thailand Berdasarkan Morfologi Bunga. **Al-KAUNIYAH Jurnal Biologi, 14**(1), 78-89.

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. **Nature, 181**(4617), 1199-1200.

Cheewabanthoeng, C., Sornchaithawatwong, C., & Tadtong, S. (2021). Anti-aging activity of mauve *Clitoria Ternatea* L. petal extract. **Thai Pharmaceutical and Health Science Journal. 16**(3), 228-233.

Chen, L. Y., Cheng, C. W., & Liang, J. Y. (2015). Effect of esterification condensation onthe Folin–Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. **Food Chemistry, 170**, 10-15.

Gupta, G., Chahal, J., & Bhatia, M. (2010). *Clitoria ternatea* (*L.*): old and new aspects. **Journal of Pharmacy Research, 3**(11), 2610-2614.

Kazuma, K., Noda, N., & Suzuki, M. (2003). Flavonoid composition related to a different line of *Clitoria ternatea*. **Phytochemistry**, **64**(6), 1133-1139.

Kusuma, A. D. (2019). Potensi Teh Bunga Telang *(Clitoria Ternatea)* Sebagai Obat Pengencer Dahak Herbal Melalui Uji Mukositas. **Risenologi**, **4**(2), 65-73.

Ma'ruf N. Q., Hotmian, E., Tania, A. D., Antasionasti, I., Fatimawali, & Tallei, T. E. (2022). **In silico analysis of the Interactions of *Clitoria Ternatea* (L.) bioactive compounds against multiple immunomodulatory receptors**. In R. Lalu Rudyat Telly Savalas (Ed.), Vol. 2638 AIP Conference Proceedings (070006). Indonesia: AIP Publishing.

Merivaara, A., Zini, J., Koivunotko, E., Valkonen, S., Korhonen, O., Fernandes, F. M., Yliperttula, M. (2021). Preservation of biomaterials and cells by freeze-drying: Change of paradigm. **Journal of Controlled Release, 336**, 480-498.

Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., & Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. **Food Chemistry**, **85**(2), 231-237.

Nugraha, A. P., Rahmadhani, D., Puspitaningrum, M. S., Rizqianti, Y., Kharisma, V. D., & Ernawati, D. S. (2021). Molecular docking of anthocyanins and ternatin in *Clitoria ternatea* as coronavirus disease oral manifestation therapy. **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research**, **12**(4), 362-367.

Piskov, S., Timchenko, L., Grimm, W., Rzhepakovsky, I., Avanesyan, S., Sizonenko, M., & Kurchenko, V. (2020). Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms *(Pleurotus Ostreatus).* **Foods Journal**, **9**(2), 160, 1-26.

Purbaningtias, T. E., Aprilia, A. C., & Fauzi'ah, L. (2017). **The study of temperature and UV light effect in anthocyanin extract from dragon fruit *(Hylocereus costaricensis)* rind using UV-Visible spectrophotometer**. In R. Riyanto (Ed.) Vol.1911(1) AIP Conference Proceedings (020014), Indonesia: AIP Publishing.

Oancea, S. (2021). A review of the current knowledge of thermal stability of anthocyanins and approaches to their stabilization to heat. **Antioxidants, 10**(9), 1-23.

Oguis, G. K., Gilding, E. K., Jackson, M. A., & Craik, D. J. (2019). Butterfly pea *(Clitoria ternatea)*, a cyclotidebearing plant with applications in agriculture and medicine. **Frontiers in Plant Science**, **10**(645), 1-23.

Pakpahan, F. D., Rahmiyani, I., & Sukmawan, Y. P. (2023). Wound healing activity of the *Clitoria ternatea* L. flower ethanolic extract gel preparation in diabetic animal model. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, **16**(1), 140-144.

Patil, A. P., & Patil, V. R. (2011). Evaluation of invitro antioxidant activity of seeds of blue and white flowered varieties of *Clitoria Ternatea* Linn. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, **3**(4), 330-336.

Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science, 2**(4), 152-159.

Rittilert, P. (2022). Effect of drying methods on physical and chemical quality of Jerusalem artichoke tea powders during storage. **Agriculture and Technology Journal, 3**(2), 110-120.

Saetang, D. (2016). **Development of beverage from extracts of butterfly pea and roselle**. (Master Thesis). Rajamangala University of Technology Phranakhon, Bangkok. (In Thai**)**.

Sarma, S. K., Kumar, D., Yamini, C., Santhalahari, C., Lahari, C., Kumar C. G., & Lahitha, M. (2023). Review On *Clitoria Ternata*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine, 8**(9), 43-58.

Singh, R., Yu, C. C., Chen, G. W., Chen, C. H., Ys, N., Lin, J., & Koksel, F. (2022). Butterfly pea flower as a novel ingredient to produce antioxidant-enriched yellow pea-based breakfast cereals. **Foods, 11**(21), 3447.

Sipahli, S., Mohanlall, V., & Mellem, J. J. (2017). Stability and degradation kinetics of crude anthocyanin extracts from *H. sabdariffa.* **Food Science and Technology**, **37**(2), 209-215.

Song, B., Li, H., Tian, J., Zhang, Y., Li, Z., Wang, J., Wang, Y., Xi, X., & Li, B. (2023). Mechanism of sugar degradation product 5-hydroxymethylfurfural reducing the stability of anthocyanins. **Food Chemistry, 419,** 136067.

Verma, P. R., Itankar, P. R., & Arora, S. K. (2013). Evaluation of antidiabetic antihyperlipidemic and pancreatic regeneration, potential of aerial parts of *Clitoria ternatea*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, **23**(5), 819-825.

# รูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ ในพื้นที่อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

# HABITAT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT MODEL FOR THE WELL-BEING OF THE ELDERLY IN BANG KHLA DISTRICT CHACHOENGSAO PROVINCE

วรพจน์ ทำเนียบ[1] ณัฐพร สนเผือก[2]* และ นันท์นภัส ธนฐากร[1]
[1]สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000

Woraphot Thamniab[1], Nattaporn Sonphueak[2]*, Nunnaphat Tanathakorn[1]
[1]Department of Public Health, Faculty of Science, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao , 24000
[2]Department of Environmental Science, Faculty of Science, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao, 24000

*E-mail: nattaporn.ns4@gmail.com

*Received: 2024-10-05*
*Revised: 2024-12-04*
*Accepted: 2024-12-12*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ใช้รูปแบบงานวิจัยแบบผสานวิธี (Mixed Method Research) มี 2 ระยะ ได้แก่ (1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ และ (2) เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยต่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ ประชากรคือผู้สูงอายุซึ่งมีอายุตั้งแต่ 60 ปี สำหรับกลุ่มตัวอย่างในระยะที่ 1 มีจำนวน 175 คน เลือกด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย กลุ่มตัวอย่างในระยะที่ 2 มีจำนวน 35 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยระยะที่ 1 ประกอบด้วยแบบวัดความรู้ แบบวัดการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพ และแบบวัดพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยระยะที่ 2 คือ แบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้าง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า ระดับการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 รูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ 1) โครงสร้างพื้นฐานของที่พักอาศัยที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ และ 2) สิ่งอำนวยความสะดวกภายในที่พักอาศัย

**คำสำคัญ:** การจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อม สุขภาวะ ผู้สูงอายุ

**ABSTRACT**

This research aimed to develop a habitat and environmental management model for the wellbeing of the elderly in Bang Khla district, Chachoengsao province. There were two phases of research; Phase 1 explored factors related to behaviour regarding management. Phase 2 developed a habitat and environmental management model for the wellbeing of the elderly. The studied population were elderly people aged 60 and above. The phase one sample was 175 people selected via a simple random sampling method. The phase 2 sample was 35 people selected via purposive sampling. The Phase 1 research instrument was a questionnaire which studied knowledge of risk perception and behaviour regarding habitat and management of the environment. Data was collated and displayed by percentages, mean, standard deviation and Pearson's Correlation Coefficient evaluated for statistical analysis. The phase 2 research instrument was a semi-structured interview, along with a focus group. Evaluation was via content analysis. Results showed that risk perception regarding habitat and environmental management was related to behaviour. This was statistically significant at 0.05. The habitat and environmental management model for the elderly consists of 2 main parts; 1) appropriate housing infrastructure for the elderly and 2) facilities within the habitat.

**Keywords:** Habitat and Environmental management, Well-being, Elderly

**บทนำ**

ปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยการคาดการณ์ในปี 2578 ประเทศไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุในระดับสุดยอด คือมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปซึ่งมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 28 ของประชากรทั้งหมด โดยจะส่งผลให้สังคมไทยจะกลายเป็นสังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ (Thai Health Promotion Foundation, 2018) ทั้งนี้ผู้สูงอายุเป็นวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของร่างกายที่เสื่อมถอยลง นอกเหนือจากความเสี่ยงที่จะเกิดโรคเรื้อรังแล้ว ปัญหาด้านสุขภาพของผู้สูงอายุที่เกิดจากการผลัดตกหกล้มก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ โดยสถิติผู้สูงอายุที่มีประวัติพลัดตกหกล้ม ในประเทศไทยปี 2566 มีประวัติการหกล้มทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 12.60 จากจำนวนผู้สูงอายุที่เก็บข้อมูลได้ และได้รับบาดเจ็บจากการหกล้มคิดเป็นร้อยละ 60.18 โดยต้องทำการรักษาตัวที่โรงพยาบาลร้อยละ 20.10 และบาดเจ็บจนทำให้กระดูกหักคิดเป็นร้อยละ 9.80 (Division of Injury Prevention, 2023)

จากการศึกษาวิจัยพบว่าผู้สูงอายุเพศหญิงมีสถิติพลัดตกหกล้มมากกว่าเพศชายและหกล้มภายในบ้านมากกว่าหกล้มภายนอกบ้าน ส่วนปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุได้แก่ ผู้สูงอายุที่มีการใช้ยานอนหลับ ยากล่อมประสาท ยาลดความดันโลหิตสูง เป็นประจำมีโอกาสเสี่ยงหกล้มมากกว่าผู้สูงอายุที่ไม่ได้ใช้ยา 1.6 เท่า ผู้สูงอายุที่มีปัญหาการได้ยิน มีโอกาสเสี่ยงหกล้มมากกว่าผู้สูงอายุที่ไม่มีปัญหา 1.7 เท่า ผู้สูงอายุที่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) เกินเกณฑ์, อ้วน, อ้วนมาก มีโอกาสเสี่ยงหกล้มมากกว่าผู้สูงอายุที่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ปกติ 1.8 เท่า ผู้สูงอายุที่มีสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบบ้านมีทางลาดชัน มีโอกาสเสี่ยงหกล้มมากกว่าสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบบ้านไม่มีทางลาดชันสูงถึง 2.8 เท่า และผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านการทรงตัว การเคลื่อนไหว การเดิน มีโอกาสเสี่ยงหกล้มมากกว่าผู้สูงอายุที่ไม่มีปัญหาสูงเป็นอันดับที่ 1 คือ 2.9 เท่า (Rachamee et al., 2022) ซึ่งมีรายงานการศึกษาความเสี่ยงต่อการหกล้มของผู้สูงอายุพบว่า ปัญหาด้านกายภาพคือ การทรงตัว การเคลื่อนไหว การเดิน และสิ่งแวดล้อมรอบบ้านไม่มีทางลาดชัน จะทำให้

ผู้สูงอายุมีโอกาสเสี่ยงที่จะหกล้มสูงมากกว่าปัจจัยด้านอื่น นอกจากอันตรายที่จะทำให้เกิดผลเสียทางด้านร่างกายแล้ว หากผู้สูงอายุเกิดการหกล้มก็อาจจะส่งผลต่อสภาพจิตใจโดยเฉพาะผู้ที่เคยมีประสบการณ์ของการหกล้มจะเกิดความกลัว วิตกกังวล ตลอดจนสูญเสียความมั่นใจในการใช้ชีวิตประจำวัน บางรายรู้สึกอับอาย เสียใจ และรู้สึกว่าตนเองเป็นภาระให้กับครอบครัว และทำให้ต้องพึ่งพาผู้อื่น เกิดความทุกข์ทรมานทางด้านจิตใจ เกิดภาวะความเครียด ผลจากการที่ผู้สูงอายุสูญเสียความมั่นใจทำให้ผู้สูงอายุไม่อยากออกไปทำกิจกรรมนอกบ้านเนื่องจากกังวลและกลัวเกิดการหกล้มซ้ำ ส่งผลต่อเนื่องทำให้ผู้สูงอายุเกิดความโดดเดี่ยวจากการขาดการติดต่อกับบุคคลและสังคมภายนอกซึ่งอาจจะส่งผลให้ผู้สูงอายุเกิดภาวะซึมเศร้าในที่สุด (Biderman, 2002)

ด้วยธรรมชาติของผู้สูงอายุส่วนใหญ่มักมีความรักความผูกพัน มีความคุ้นเคยในที่พักอาศัยเดิมไม่นิยมย้ายถิ่นฐาน ดังนั้น การออกแบบที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับความสะดวกสบายในการใช้สอย ความเข้าใจง่ายในการ ใช้งาน การลงทุน และความปลอดภัย ในสภาพแวดล้อมที่คุ้นเคย (Yimratthanaborwon, 2018) จากปัญหาดังกล่าวหากมีการเตรียมความพร้อมในการรับมือกับความต้องการพื้นฐานในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม สภาพที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมตามบริบทพื้นที่สำหรับผู้สูงอายุเพื่อลดอันตรายและอุบัติเหตุต่าง ๆ มีการออกแบบภายในที่พักอาศัยให้ปลอดภัย ดูแลรักษาง่าย สะอาด ถูกสุขลักษณะของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งสำคัญ และมีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพทำให้ผู้สูงอายุมีสุขภาวะที่ดี และมีความสุขในการดำรงชีวิตส่งผลให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ชมรมผู้สูงอายุตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นชมรมผู้สูงอายุที่มีความเข้มแข็ง มีการขับเคลื่อนกิจกรรมของชมรมอย่างต่อเนื่องและได้รับความร่วมมือจากภาคีเครือข่ายในทุกภาคส่วน ผู้วิจัยจึงสนใจดำเนินการวิจัยเพื่อสร้างรูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราขึ้นผ่านการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมของคนในชุมชน เพื่อให้ได้เกิดการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยเพื่อให้ผู้สูงอายุมีสุขภาวะที่เหมาะสม รู้จักคุณค่าในตนเอง และเพิ่มศักยภาพของผู้สูงอายุตามบริบทของพื้นที่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา

**วิธีการ**

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ สมาชิกชมรมผู้สูงอายุติดสังคมตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 314 คน (Department of Health Service Support, 2024)

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้แบ่งตามระยะการวิจัยได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยระยะที่ 1 ได้แก่ กลุ่มผู้สูงอายุที่เป็นสมาชิกชมรมผู้สูงอายุ ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปในเขตพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นผู้สูงอายุติดสังคมที่มีความสามารถในการช่วยเหลือพึ่งพาตนเองได้ มีความสมัครใจในการเข้าร่วมโครงการวิจัย และมีระยะเวลาการพักอาศัยในจังหวัดฉะเชิงเทราอย่างน้อย 1 ปี โดยใช้สูตรของเครซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 175 คน การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling)

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยระยะที่ 2 คือ ผู้ดูแลผู้สูงอายุ/อสม.ประจำหมู่บ้าน/เจ้าหน้าที่สาธารณสุข จำนวน 20 คน โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง และผู้สูงอายุจากกลุ่มตัวอย่างในระยะที่ 1 จำนวน 15 คน ประกอบไปด้วย ประธานชมรมผู้สูงอายุ คณะกรรมการชมรมผู้สูงอายุ และสมาชิกที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย รวมทั้งสิ้น 35 คน โดยมีส่วนร่วมดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการประชุมย่อย การสัมภาษณ์ให้ข้อมูล เพื่อร่วมพัฒนารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

เกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ

1. ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปและเป็นสมาชิกชมรมผู้สูงอายุในเขตพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
2. อาศัยอยู่ในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา อย่างน้อย 1 ปี ขึ้นไป (เดือนตุลาคม 2564 ถึง เดือนตุลาคม 2565)
3. ผู้สูงอายุติดสังคมที่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ มีทักษะการสื่อสารการพูด การฟังและการเขียนได้
4. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมโครงการวิจัย

เกณฑ์การแยกอาสาสมัครออกจากโครงการ (Exclusion Criteria)

อาสาสมัครไม่สามารถร่วมกิจกรรมที่สำคัญทำให้ผลการวิจัยเกิดอคติ

เกณฑ์การให้เลิกจากการศึกษา (Discontinuation Criteria)

1. เกณฑ์ให้อาสาสมัครเลิกจากการศึกษา (Discontinuation Criteria for participant)
   1.1 อาสาสมัครปฏิเสธการเข้าร่วมกิจกรรม
   1.2 อาสาสมัครย้ายที่อยู่
   1.3 อาสาสมัครเสียชีวิต
2. เกณฑ์การพิจารณาเลิกหรือยุติการศึกษาทั้งโครงการ (Discontinuation Criteria for the Study)
   2.1 เกิดภัยพิบัติ
   2.2 อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการน้อยกว่าร้อยละ 50 เมื่อดำเนินการวิจัยไปแล้วระยะเวลาหนึ่ง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม ซึ่งผ่านการประเมินจริยธรรมการวิจัยในคนจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา เลขที่ PH_CCO_REC 001/2567

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยระยะที่ 1 ของการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์จากแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ ศาสนา สถานภาพสมรส การศึกษา อาชีพ และภาวะเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง

ส่วนที่ 2 แบบวัดความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ตามทฤษฎีแบบจำลอง KAP model มีจำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วย ความรู้ด้านกายภาพของที่พักอาศัย, ความรู้ด้านการจัดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต, การตกแต่งที่พักอาศัยให้สะอาด และการจัดสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยให้เชื่อมต่อกับสังคมชุมชน มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ ตอบถูกได้ 1 คะแนน ตอบบผิดหรือไม่แน่ใจ ได้ 0 คะแนน คะแนนรวมอยู่ระหว่าง 0 – 20 คะแนน เกณฑ์การแปลผลคะแนนใช้เกณฑ์การประเมินแบบอิงเกณฑ์ของ Bloom (1971) โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ คะแนนมากกว่าร้อยละ 80 อยู่ในระดับสูง ได้ 16 คะแนนขึ้นไป คะแนนระหว่างร้อยละ 60 - 79 อยู่ในระดับปานกลาง ได้คะแนน 12 - 15 คะแนน คะแนนน้อยกว่าร้อยละ 60 อยู่ในระดับต่ำ ได้น้อยกว่า 11 คะแนน

ส่วนที่ 3 แบบวัดการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ตามทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ (Health Belief Model) มีจำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วย การรับรู้ความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุหกล้มในด้านการจัดการด้านกายภาพของที่พักอาศัย, ด้านการจัดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต, การตกแต่งที่พักอาศัยให้สะอาด และการจัดสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยให้เชื่อมต่อกับสังคมชุมชน เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 4 ระดับ โดยมีคะแนนรวมอยู่ระหว่าง 20 – 80 คะแนน ค่าคะแนนสูงแสดงว่ามีการรับรู้

ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยในระดับสูง เกณฑ์การแปลผลคะแนนใช้เกณฑ์การประเมินแบบอิงเกณฑ์ของ Bloom (1971) โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ คะแนนมากกว่าร้อยละ 80 อยู่ในระดับสูง ได้ 64 คะแนนขึ้นไป คะแนนระหว่างร้อยละ 60 - 79 อยู่ในระดับปานกลาง ได้คะแนน 48 - 63 คะแนน คะแนนน้อยกว่าร้อยละ 60 อยู่ในระดับต่ำ ได้น้อยกว่า 47 คะแนน

ส่วนที่ 4 แบบวัดพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ตามทฤษฎีแบบจำลอง KAP model อาศัย มีจำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วย พฤติกรรมด้านการจัดการด้านกายภาพของที่พักอาศัย, พฤติกรรมด้านการจัดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต, พฤติกรรมการตกแต่งที่พักอาศัยให้สะอาด และพฤติกรรมการจัดสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยให้เชื่อมต่อกับสังคมชุมชน เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 4 ระดับ มีคะแนนรวมอยู่ระหว่าง 20 – 80 คะแนน ค่าคะแนนสูงแสดงว่ามีพฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยในระดับสูง เกณฑ์การแปลผลคะแนนใช้เกณฑ์การประเมินแบบอิงเกณฑ์ของ Bloom (1971) โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ คะแนนมากกว่าร้อยละ 80 อยู่ในระดับสูง ได้ 64 คะแนนขึ้นไป คะแนนระหว่างร้อยละ 60 - 79 อยู่ในระดับปานกลาง ได้คะแนน 48 - 63 คะแนน คะแนนน้อยกว่าร้อยละ 60 อยู่ในระดับต่ำ ได้น้อยกว่า 47 คะแนน

โดยเครื่องมือวิจัยต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความสอดคล้องเชิงวัตถุประสงค์ (Item Objective Congruency: IOC) โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการวิจัยทางสุขภาพจำนวน 3 คน ได้ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.72 – 0.79 และนำไปทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ของเครื่องมือ โดยนำไปทดสอบกับประชาชนในเขตพื้นที่ตำบลหมอนทอง อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 30 คน พบว่า แบบวัดความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย มีค่าความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.77 - 0.89 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.71 - 0.82 แบบวัดการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยมีค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เท่ากับ 0.82 และแบบวัดพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยมีค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เท่ากับ 0.84

ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยระยะที่ 2 เป็นแบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้างเรื่องการจัดทำรูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ ประเด็นในการสัมภาษณ์ประกอบด้วย การจัดการด้านกายภาพของที่พักอาศัย, การจัดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต, ตกแต่งที่พักอาศัยให้สะอาด และการจัดสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยให้เชื่อมต่อกับสังคมชุมชน

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยแบบผสมวิธี (Mixed Method Research) เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

การวิจัยในระยะที่ 1 เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการใช้แบบสอบถาม 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้สูงอายุกลุ่มตัวอย่าง 2) ความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย 3) การรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย และ 4) พฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย

การวิจัยในระยะที่ 2 เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental research) เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ โดยใช้กระบวนการการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research :PAR) ด้วยการประชุมกลุ่มย่อย และการสนทนากลุ่ม เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้างเรื่องการจัดทำรูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ

ในประเด็นด้านการจัดการด้านกายภาพของที่พักอาศัย, การจัดสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต, ตกแต่งที่พักอาศัยให้สะอาด และการจัดสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยให้เชื่อมต่อกับสังคมชุมชน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยในระยะที่ 1 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson’s Correlation Coefficient)

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยในระยะที่ 2 ทำการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่ได้จากผลการวิจัยในระยะที่ 1 มาวิเคราะห์เนื้อหา ตามประเด็นพร้อมทั้งตรวจสอบความตรงต่อ เนื้อหาและทฤษฎี และตรวจสอบความถูกต้องกับบันทึกการสนทนากลุ่ม และจัดกระทำข้อมูลของการสนทนากลุ่มผู้ร่วมวิจัย

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

ผลการวิจัยในระยะที่ 1

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 56.67 โดยมีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 64 ปี อายุต่ำสุด 60 ปี และอายุสูงสุด 82 ปี มีสถานภาพสมรส คิดเป็นร้อยละ 68.41 ส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับประถมศึกษาตอนต้น คิดเป็นร้อยละ 52 รองลงมา คือ จบการศึกษาในระดับประถมศึกษาตอนปลาย คิดเป็นร้อยละ 18.67 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 43.37 รองลงมา คือ รับจ้างทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 24.86 ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง 3 อันดับแรก ได้แก่ ภาวะความดันโลหิตสูง คิดเป็นร้อยละ 79.62 ภาวะอ้วนลงพุง คิดเป็นร้อยละ 73.94 และภาวะไขมันในเลือดสูง คิดเป็นร้อยละ 62.37

2. ข้อมูลด้านการวัดความรู้ การรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพ และพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลแบบสอบถามเกี่ยวกับการวัดความรู้ การรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพ และพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 175 คน ผลการวิจัยมีดังนี้

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ระดับความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของกลุ่มตัวอย่าง

(n = 175)

| ระดับความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย | **จำนวน (คน)** | **ร้อยละ** |
|---|---|---|
| ระดับสูง | 46 | 26.28 |
| ระดับปานกลาง | 76 | 43.43 |
| ระดับต่ำ | 53 | 30.29 |

= 15.22 SD = 1.84 คะแนนสูงสุด = 18 คะแนน คะแนนต่ำสุด = 7 คะแนน

2.2 ผลการวิเคราะห์การรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ระดับการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของกลุ่มตัวอย่าง

(n = 175)

| ระดับการรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย | **จำนวน (คน)** | **ร้อยละ** |
|---|---|---|
| ระดับสูง | 41 | 23.43 |
| ระดับปานกลาง | 81 | 46.28 |
| ระดับต่ำ | 53 | 30.29 |

= 62.57 SD = 4.27 คะแนนสูงสุด = 76 คะแนน คะแนนต่ำสุด = 35 คะแนน

2.3 ผลการวิเคราะห์ระดับพฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ระดับพฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของกลุ่มตัวอย่าง

(n = 175)

| พฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย | **จำนวน (คน)** | **ร้อยละ** |
|---|---|---|
| ระดับสูง | 29 | 16.57 |
| ระดับปานกลาง | 99 | 56.57 |
| ระดับต่ำ | 47 | 26.86 |

= 62.04 SD = 3.08 คะแนนสูงสุด = 77 คะแนน คะแนนต่ำสุด = 38 คะแนน

3. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ได้แก่ ความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย และระดับการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย กับพฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ของกลุ่มตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย และระดับการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย กับพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของกลุ่มตัวอย่าง

| **ตัวแปรที่ศึกษา** | **ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)** | |
|---|---|---|
| | **พฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และที่พักอาศัย** | **P-Value** |
| ความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย | 0.14 | 0.058 |
| ระดับการรับรู้ความเสี่ยงเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย | 0.42* | 0.023 |

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ได้แก่ ระดับการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กล่าวคือ หากผู้สูงอายุมีการรับรู้ความเสี่ยงต่อการหกล้มหรือเกิดอุบัติเหตุและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของตนเองแล้ว จะมีพฤติกรรมการป้องกันตนเองไม่ให้เกิดการหกล้มหรือเกิดอุบัติเหตุโดยดำเนินการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยให้ปลอดภัย ซึ่งความสอดคล้องการวิจัยของ Khuankwai (2007) ที่พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่ที่กลัวการหกล้มมีโอกาสเสี่ยงต่อการหกล้มสูงเป็น 3.73 เท่าของผู้สูงอายุที่ไม่กลัวหกล้ม และพฤติกรรมการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีขนาดเหมาะสมกับร่างกายของผู้สูงอายุก็เป็นปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้สูงอายุอีกด้วย (Muangsiri et al., 2017) นอกจากนั้นในส่วนของผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัวที่ส่งผลต่อความเสี่ยงในการหกล้ม คือ โรคกระดูกพรุนนั้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันการหกล้มของตัวผู้สูงอายุเอง (Wongcharoen et al., 2022)

ผลการวิจัยในระยะที่ 2

การพัฒนารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยใช้กระบวนการการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) การประชุมกลุ่มย่อยและการสนทนากลุ่ม โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้างเรื่องการจัดทำรูปแบบการจัดการที่พักอาศัยและสิ่งแวดล้อมเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ

จากการประชุมกลุ่มย่อยและการสนทนากลุ่มร่วมกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อร่วมกันกำหนดแนวทางและพัฒนารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุ โดยการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน เพื่อเสนอข้อคิดเห็นข้อเสนอแนะตามความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดรูปแบบแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยและการจัดการสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้สูงอายุ รวมทั้งแนวทางการออกแบบเพื่อมวลชนสำหรับที่อยู่อาศัยผู้สูงอายุเพื่อให้เอื้อต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุให้มีความปลอดภัย มีคุณภาพชีวิตและสุขภาวะที่ดีโดยเน้นระดับการรับรู้ความเสี่ยงเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย ซึ่งผลการดำเนินการร่างรูปแบบฯ ดังนี้

**1. การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย**

แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยที่เกิดจากการมีส่วนร่วมของกลุ่มตัวอย่างในการเสนอแนะเพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถจำแนกได้ตามประเด็น ดังนี้

1) การจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีความปลอดภัยทางกายภาพ

คุณลักษณะของบ้านที่ตอบสนองความต้องการทางด้านร่างกาย ได้แก่ การปกป้องผู้อยู่อาศัยจากธาตุหรือสารต่าง ๆ สิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับการป้องกันการสูญเสียความร้อน บรรยากาศที่ปราศจากสารเคมี แสงสว่างที่เพียงพอ การเข้าถึงแสงจากดวงอาทิตย์ หลีกเลี่ยงแสงสว่างที่ไม่ได้เกิดจากธรรมชาติ การปกป้องจากเสียงรบกวนและการมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการออกกำลังกาย (Wongsawang et al., 2021)

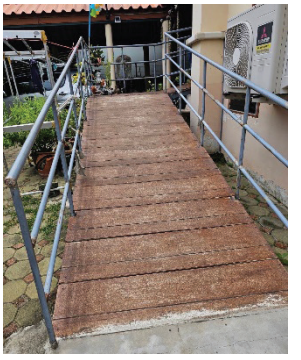
- โครงสร้างพื้นฐานของที่พักอาศัยที่เหมาะสม บ้านที่พักอาศัยของผู้สูงอายุควรมีโครงสร้างที่ทำจากวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน มีความปลอดภัย พื้นควรทำจากวัสดุที่ไม่ลื่น เดินด้วยเท้าเปล่าได้สะดวก

- ประตูทางเข้า-ออกมีขนาดกว้างขวางเพียงพอ ปิดได้มิดชิด สามารถเข้า-ออกได้สะดวก ทำจากวัสดุที่ปลอดภัย ประตูไม่ควรมีธรณีประตูที่อาจทำให้สะดุด ลื่น หกล้ม หลีกเลี่ยงการทำพื้นต่างระดับ หากมีความสูงของพื้นที่ควรจัดทำเป็นทางลาดเอียง

- การจัดวางสิ่งของภายในที่พักอาศัย ควรจัดวางสิ่งของให้เป็นระเบียบเรียบร้อย สะอาด ไม่ทำจากวัสดุที่เป็นอันตราย มีการจัดวางเครื่องเรือนและวัสดุภายในบ้านที่ปลอดภัยแยกเป็นสัดส่วน ไม่กีดขวางทางเดินภายในบ้าน
- ห้องน้ำ ไม่ควรห่างจากห้องนอนมากเกินไป ควรมีราวจับที่ทำจากวัสดุผิวเรียบ พื้นห้องน้ำเป็นวัสดุที่ขรุขระเล็กน้อย ไม่ลื่น มีเก้าอี้หรือพื้นที่ที่สามารถนั่งขณะอาบน้ำได้อย่างปลอดภัย
- มีระบบสาธารณูปโภคที่ดี มีการรักษาความสะอาดปราศจากเชื้อโรค สัตว์กัดแทะ และสัตว์มีพิษภายในที่พักอาศัย

2) การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยที่ออกแบบให้มีการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ

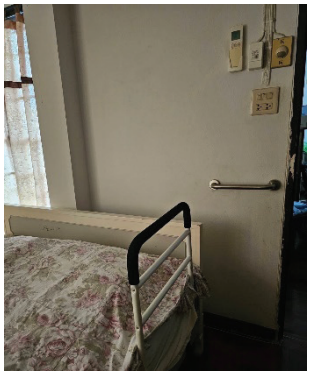
- การป้องกันปัจจัยรบกวนจากภายนอก เช่น การป้องกันแสง รังสี และเสียง
- การจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอในจุดที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตราย และต้องการความสว่างมากเป็นพิเศษ เช่น บริเวณราวบันได และทางเข้าห้องน้ำ หลอดไฟควรสว่างเพียงพอในทุกจุด สามารถใช้ไฟเปิด-ปิดอัตโนมัติ เมื่อเดินผ่านในพื้นที่ดังกล่าว
- การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ เช่น ราวจับในห้องน้ำที่ทำจากวัสดุผิวเรียบ ลักษณะของพื้นกระเบื้องที่ไม่ลื่น ราวจับบริเวณบันไดสำหรับขึ้น-ลงระหว่างชั้นภายในบ้าน ราวจับบริเวณทางเดินที่ต้องใช้ความระมัดระวัง
- การติดตั้งสัญญาณฉุกเฉินสำหรับขอความช่วยเหลือในบริเวณที่ต้องอาศัยอยู่เป็นประจำ เช่น ที่เตียงนอน ห้องน้ำ
- การติดตั้งกล้องวงจรปิดภายในที่พักอาศัย เพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ผู้สูงอายุอาศัยอยู่เพียงลำพัง
- การจัดวางความสูงของเครื่องเรือนที่ผู้สูงอายุสามารถหยิบจับของได้สะดวก เข้าถึงได้ง่ายและปลอดภัย
- ห้องน้ำ ควรใช้ที่เปิดประตูแบบด้ามจับแทนการใช้ลูกบิด เนื่องจากผู้สูงอายุไม่มีแรงในการหมุนลูกบิดประตู โถสุขภัณฑ์ เลี่ยงการใช้โถแบบยอง ควรใช้โถแบบนั่ง เพื่อให้ลุกนั่งสบาย และควรมีราวจับด้านข้าง ป้องกันการลื่น และช่วยพยุงตอนลุกขึ้น มีบริเวณที่นั่งสำหรับอาบน้ำที่แข็งแรง และมั่นคง



**ภาพที่ 1** ราวบันไดบริเวณทางเข้าหน้าบ้าน

(ก) (ข)

**ภาพที่ 2** ราวบันไดที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ
(ก) ราวจับบันไดภายในบ้าน (ข) ราวจับบันไดภายนอกบ้าน



**ภาพที่ 3** ราวจับในห้องนอน

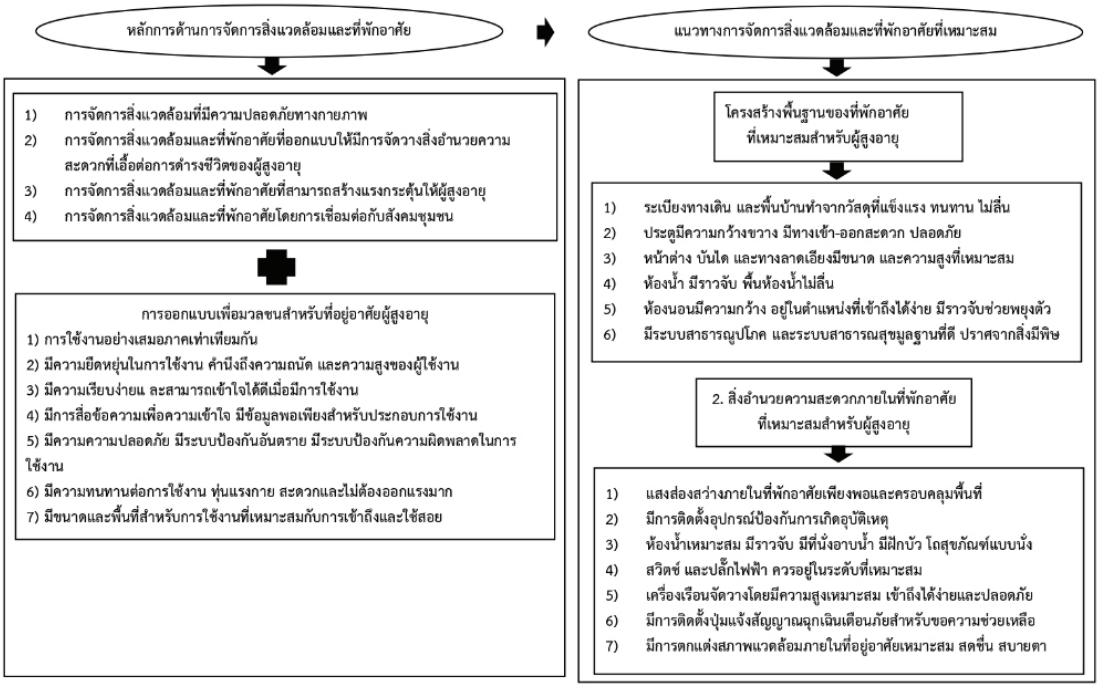
(ก) (ข)

**ภาพที่ 4** สิ่งอำนวยความสะดวกในห้องน้ำ
(ก) ราวจับบริเวณสุขภัณฑ์ (ข) ที่นั่งสำหรับอาบน้ำ

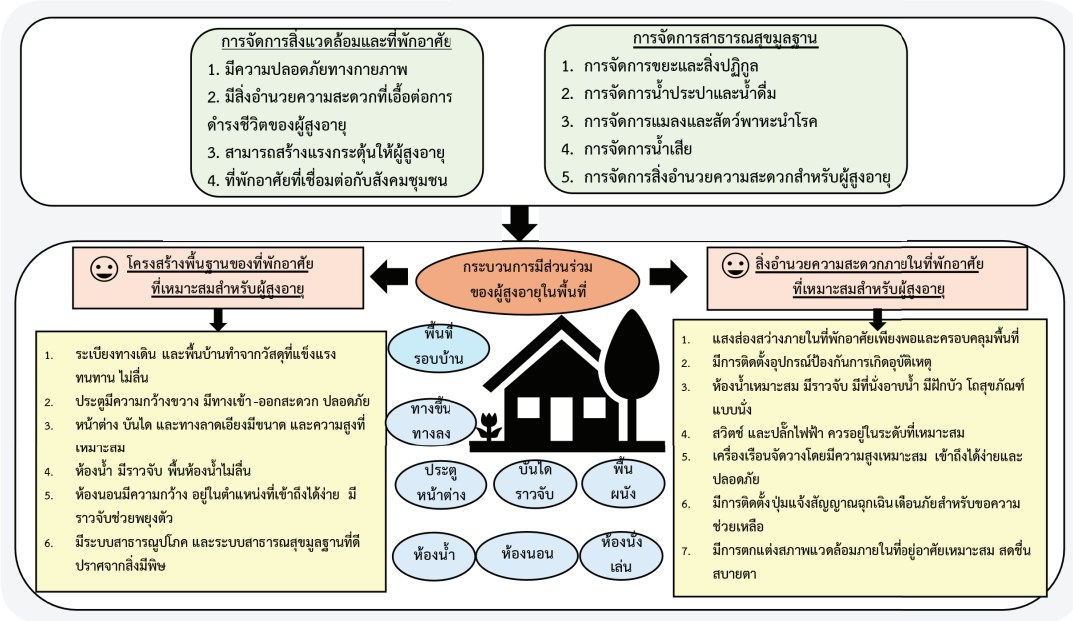
3) การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยที่สามารถสร้างแรงกระตุ้นให้ผู้สูงอายุเกิดความกระชุ่มกระชวย การตกแต่งสภาพแวดล้อมภายในที่อยู่อาศัยให้มีความน่าสนใจ สะอาด ปลอดโปร่ง สดใสสดชื่น มีชีวิตชีวา อากาศถ่ายเทได้สะดวก การเลือกใช้โทนสีห้องที่เหมาะสม เน้นสีสว่าง สบายตา และสามารถมองเห็นได้ชัดเจน เช่น สีขาว สีครีม สีเขียว สีฟ้า หรือสีจากเนื้อวัสดุธรรมชาติ มีสิ่งของตกแต่งภายในบ้านให้มีความสดใส เกิดความกระชุ่มกระชวย ไม่อ้างว้าง หดหู่ หรือซึมเศร้า

4) การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย โดยการเชื่อมต่อกับสังคมชุมชนที่พักอาศัยควรเดินทางเข้าถึงได้ง่าย อยู่ในพื้นที่ชุมชน ผู้สูงอายุสามารถเดินทางสะดวก เพื่อทำกิจวัตรประจำวันที่สำคัญได้ด้วยตนเอง สามารถดำรงชีวิตได้โดยไม่ต้องพึ่งพาผู้อื่น ผู้สูงอายุควรมีกลุ่มเครือข่ายชมรมในพื้นที่ เพื่อเข้าร่วมกิจกรรมกลุ่ม ป้องกันความรู้สึกโดดเดี่ยว การเกิดภาวะซึมเศร้า ซึ่งการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยที่อยู่ใกล้ชุมชนนี้จะมีส่วนในการฟื้นฟูสมรรถนะของผู้สูงอายุให้มีสุขภาวะที่ดี ลดจำนวนผู้สูงอายุป่วยติดเตียง ติดบ้าน และนำไปสู่ผู้สูงอายุติดสังคมมากขึ้น

ผลการวิจัยสามารถสรุปเป็นแผนภาพความคิดได้ ดังภาพที่ 5 และรูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา แสดงดังภาพที่ 6




**ภาพที่ 5** แผนภาพความคิดแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา




**ภาพที่ 6** รูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ ในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

รูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ มีการประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบมวลชน (Universal Design) ทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ ทฤษฎีเกี่ยวกับอนามัยสิ่งแวดล้อมในชุมชน และทฤษฎีกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (PAR) มาช่วยในการออกแบบรูปแบบที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชน อีกทั้งเปิดโอกาสให้ผู้สูงอายุมีส่วนร่วมในการเสนอแนะแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยผ่านการจัดโครงการ/กิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นไปตามความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุที่ได้เสนอแนะความคิดเห็นร่วมกัน รวมทั้งมีการกำหนดนโยบายที่จะส่งเสริมให้ผู้สูงอายุมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในที่พักอาศัยที่ปลอดภัยและจำเป็น รวมทั้งหลักการออกแบบเพื่อมวลชน เพื่อให้เอื้อต่อการใช้ชีวิตประจำวันภายในที่พักอาศัยได้อย่างเป็นสุข ปลอดภัย มีคุณภาพชีวิตที่ดี ซึ่งได้กำหนดแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย จำแนกเป็น 1) การจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีความปลอดภัยทางกายภาพ 2) การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยที่ออกแบบให้มีการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ 3) การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยที่สามารถสร้างแรงกระตุ้นให้ผู้สูงอายุ และ 4) การจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย โดยการเชื่อมต่อกับสังคมชุมชน สำหรับรูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรานั้น ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) โครงสร้างพื้นฐานของที่พักอาศัยที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ ระเบียงทางเดิน และพื้นบ้านทำจากวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน ไม่ลื่น ประตูมีความกว้างขวาง มีทางเข้า-ออกสะดวก ปลอดภัย หน้าต่าง บันได และทางลาดเอียงมีขนาด และความสูงที่เหมาะสม ห้องน้ำ มีราวจับ พื้นห้องน้ำไม่ลื่น ห้องนอนมีความกว้าง อยู่ในตำแหน่งที่เข้าถึงได้ง่าย มีราวจับช่วยพยุงตัว มีระบบสาธารณูปโภค และระบบสาธารณสุขมูลฐานที่ดี ปราศจากสิ่งมีพิษ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปัจจัยเสี่ยงภายนอกที่ผู้สูงอายุรับรู้ความเสี่ยงที่จะเกิดการหกล้มคือลักษณะทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พื้นบ้านที่ไม่เรียบ ขรุขระ พื้นต่างระดับ พื้นเปียกลื่นหรือเป็นมัน และ ช่วงขั้นบันไดที่แคบหรือกว้างเกินไปและไม่มีราวยึด (Vannajak & Vannajak, 2018) และ 2) สิ่งอำนวยความสะดวกภายในที่พักอาศัย ได้แก่ แสงส่องสว่างภายในที่พัก

อาศัยเพียงพอและครอบคลุมพื้นที่ มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ ห้องน้ำเหมาะสม มีราวจับ มีที่นั่งอาบน้ำ มีฝักบัว โถสุขภัณฑ์แบบนั่ง สวิตช์ และปลั๊กไฟฟ้า ควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม เครื่องเรือนจัดวางโดยมีความสูงเหมาะสม เข้าถึงได้ง่ายและปลอดภัย มีการติดตั้งปุ่มแจ้งสัญญาณฉุกเฉินเตือนภัยสำหรับขอความช่วยเหลือ และมีการตกแต่งสภาพแวดล้อมภายในที่อยู่อาศัยเหมาะสม สดชื่น สบายตา ซึ่งสอดคล้องกับ Arphacharus el at. (2022) ที่พบว่า แนวทางการจัดสภาพแวดล้อมหรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุ ต้องปรับได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่หรือความพร้อมของทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่น และจำเป็นต้องส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในทุกระดับ ตลอดจนส่งเสริมให้ภาคเอกชนร่วมสนับสนุนและลงทุนเพื่อการสร้างสภาพแวดล้อมของสถานที่ให้เอื้อต่อการใช้ชีวิตของผู้สูงอายุด้วย รวมไปถึงการสร้างกรอบแนวคิดในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมตามบริบทของพื้นที่ เพื่อลดอันตรายและอุบัติเหตุต่าง ๆ การออกแบบเพื่อมวลชน (Universal Design) การพัฒนาความสามารถของผู้ดูแลผู้สูงอายุ (Care Manager) โดยเฉพาะญาติสายตรงหรือญาติ ใกล้ชิดให้ตระหนักในด้านความปลอดภัยในการจัดสิ่งแวดล้อมในบ้านที่เอื้อต่อสุขภาพผู้สูงอายุ เพื่อลดความเสี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้สูงอายุมีความจำเป็นอย่างมาก (Kongmaneekarn, 2020) อย่างไรก็ตามมีผลการศึกษาบางรายงานพบว่า ผู้สูงอายุบางรายทราบถึงข้อควรระวังที่บุคลากรทางสาธารณสุขแนะนำแต่ไม่ได้ปฏิบัติตาม เนื่องจากผู้สูงอายุมักใช้ความคิดในการตัดสินใจเอง ซึ่งเกิดจากความเชื่อส่วนบุคคลและพฤติกรรมที่ปฏิบัติจนเคยชิน (Moura et al., 2016) แต่ถ้าหากมีการสร้างภาคีเครือข่ายโดยการให้ความรู้โดยการเสริมพลัง มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และการดำเนินงานส่งเสริมสุขภาพให้ครอบคลุม กาย จิตใจ และสังคมอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งหน่วยงานด้านสาธารณสุข และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุในชุมชนจึงจะเกิดความต่อเนื่องและยั่งยืนได้ (Tangtong, 2023)

## สรุป

จากผลการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ ระดับการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ

ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัย โดยการพัฒนารูปแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุ และจะนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ต่อไปเพื่อให้มีประสิทธิผล จำเป็นจะต้องเน้นกระบวนการมีส่วนร่วม โดยมุ่งเสริมสร้างปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงต่อสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยของผู้สูงอายุเข้าไปด้วย ทั้งนี้ หน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราจะนำรูปแบบการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการสิ่งแวดล้อมและที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุนี้ ไปพิจารณาออกแบบเพื่อพัฒนาเป็นที่พักอาศัยต้นแบบที่มีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมตามหลักการออกแบบเพื่อมวลชนในพื้นที่ต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณแหล่งทุนอุดหนุนทุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ กลุ่มตัวอย่างและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราที่ให้ความร่วมมือ และสนับสนุนข้อมูลจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

**เอกสารอ้างอิง**

Arphacharus, N., Thinsatit, U., Jamnongkarn, P., Wangkum, P., Tubtimsai, K., Suphaudomphon, T., & Nak-ai, W. (2022). The development of an-age friendly environment standard of practice. **Journal of Health Science Research, 16**(1), 1-12. (In Thai)

Biderman, A., Cwikel, J., Fried, A. V., & Galinsky, D. (2002). Depression and falls among community dwelling elderly people: A search for common risk factors. **Journal of Epidemiology and Community Health, 56**, 631–636.

Bloom, B.S. (1971). **Taxonomy of Educational Objective Handbook 1**. Summative Evaluation of student Learning. NewYork, U.S.A.: McGraw-Hill.

Department of Health Service Support. (2024). **Bang Kla District Elderly Information Report**. Retrieved from https://3doctor.hss.moph.go.th/main/rp_tambon?region=6&prov=MjQ=&provn=4LiJ4Liw4LmA4LiK4Li04LiH4LmA4LiX4Lij4Liy&ampid=2402&ampn=4Lia4Liy4LiH4LiE4Lil4LmJ4Liy/ [2024, 28 Jan.] (In Thai)

Division of Injury Prevention. (2023). **Summary Report Assessment of Elderly Fall Knowledge Prevention 2023.** Retrieved from https://ddc.moph.go.th/uploads/files/3714020230919075839.pdf [2023, 18 Dec.] (In Thai)

Khuankwai, K. (2007). **Factors Related to Falls Among Community-Dwelling Elderly People**. (Master of Public Health (Public Health)). Khon Kaen University, Khon Kaen. (In Thai)

Kongmaneekarn, J., Siriluck, P. & Nusorn, N. (2020). Provided environmental healthy aging.**Journal of Nursing and Health Science Research, 12**(1), 28-38. (In Thai)

Krejcie, R.V., & Morgan, D.W. (1970). Determining sample size for research activities. **Educational and Psychological Measurement, 30**(3), 607 – 610.

Muangsiri, K., Maharachpong, N. & Rodjarkpai, Y. (2017). Factors relating the behavior of fall prevention among elderly in Chonburi Province. **Naresuan University Journal: Science and Technology, 25**(4), 23-33. (In Thai)

Moura, L.A., Araújo, J.N.M., Fernandes, A.P.N.L., Araújo, M.G., Silva, A.B., Olímpio, J.A., Souza, A.M.L. & Vitor, A.F. (2016). Fall prevention behavior among hospitalized elderly patients. **International Archives of Medicine section: Global Health & Health Policy, 57**(9), 1-9.

Rachamee, W., Jumpang, T. & Suksangpunya, L. (2022). **Factors Affecting Falling and Falling in Elderly Health region 6**. Chonburi, Regional Health Promotion Center 6. (In Thai)

Thai Health Promotion Foundation. (2018). **Cope with Aging Society**. Retrieved from https://www.thaihealth.or.th/?p=251176 [2023, 15 Jul.] (In Thai)

Tangtong, S. (2023). A development of health promotion model for aging in Chachoengsao Province. **Department of health Service Support Journal**, **19**(2), 25-34. (In Thai)

Vannajak, K. & Vannajak, P.T. (2018). Falling in osteoporosis elderly:Cause and exercise for prevention. **The Public Health Journal of Burapha University, 13**(2), 141-150. (In Thai)

Wongcharoen, W., Inta, N. & Kongdang, K. (2022). Perceived risk of falling and fall prevention behaviors in older persons with osteoporosis. **Journal of Nursing and Health Research (JNHR)**, **23**(1), 96-109. (In Thai)

Wongsawang, N., Kitreerawutiwong, K. & Ruamsook, T. (2021). Home environmental management for health among older adults: Role of community health nursing. **Journal of Research for Health Improvement and Quality of Life, 1**(1), 68-77. (In Thai)

Yimratthanaborwon, S. (2018). The design development of elderly homes by universal design guidelines. **Journal of the faculty of architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 26**(1), 173-188. (In Thai)

# การพัฒนารูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

# DEVELOPMENT OF BEHAVIOR MODIFICATION MODEL FOR PREVENTION COVID 19 AMONG THE ELDERLY BY COMMUNITY PARTICIPATION IN BANG NAM PRIAO DISTRICT CHACHOENGSAO PROVINCE.

นันท์นภัส ธนฐากร* วรพจน์ ทำเนียบ และ อมรรัตน์ ดอกไม้ขาว
สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000

Nunnaphat Tanathakorn *, Woraphot Thamniab and Amornrat Dokmaikaw
Department of Public Health, Faculty of Science, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao 24000

*E-mail: nunnaphat.eve@gmail.com

*Received: 2024-09-10*
*Revised: 2024-12-06*
*Accepted: 2024-12-12*

**บทคัดย่อ**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสานวิธี มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ และ 2) พัฒนารูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ วิจัยเชิงปริมาณ กลุ่มตัวอย่าง ผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป ในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 400 คน สุ่มแบบหลายขั้นตอน ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือ 1) ข้อมูลทั่วไป 2) ความรู้การป้องกันโควิด 19 3) ทัศนคติการป้องกันโควิด 19 4) ความเชื่อด้านสุขภาพ 5) พฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ใช้สถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน พบ 9 ปัจจัยมีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ได้แก่ การรับรู้ประโยชน์ มัธยมตอนต้น การรับรู้ความรุนแรง เกษตรกรรม คู่สมรสและบุตรหลาน ไม่ได้รับการศึกษา ศาสนาอิสลาม มัธยมตอนปลาย ปวส. / อนุปริญญา วิจัยเชิงคุณภาพ สัมภาษณ์ 3 กลุ่ม ๆ ละ 6-10 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างกรณีหลากหลาย 1) ผู้สูงอายุ 2) ผู้ดูแลของผู้สูงอายุ 3) เจ้าหน้าที่สาธารณสุข พยาบาล อสม. และผู้นำชุมชน พบว่า ผู้สูงอายุไม่กลัวการติดโควิด 19 ขาดความตระหนัก จึงไม่ล้างมือ ไม่ใช้ช้อนกลางในการรับประทานอาหารร่วมกัน ไม่ใส่หน้ากากอนามัย ขาดความรู้ และมีความเชื่อที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ ได้ 4 กิจกรรมหลัก 1) ประชาสัมพันธ์ 2) ให้ความรู้ 3) ปรับเปลี่ยนทัศนคติ ความเชื่อด้านสุขภาพ และ 4) การกระตุ้นเตือน

**คำสำคัญ:** พฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ผู้สูงอายุ การมีส่วนร่วมของชุมชน

**ABSTRACT**

The purpose of this mixed-method study is to investigate the factors influencing elderly people' COVID-19 preventative behavior and to create a model for altering conduct to shield elderly people from COVID-19. The quantitative study made up the sample group of 400 senior citizens (60 years of age and over) who reside in Bang Nam Priao District, Chachoengsao Province, which used multi-stage random sampling. Tools used; General details, awareness of how to prevent COVID-19, perceptions of preventing COVID-19, attitudes towards health, and the act of self-defense against COVID-19. The nine factors were identified as influencing COVID-19 preventive behavior such as lower secondary level, perceived benefits, perceived aggression, farming, spouse and kids, lack of education, Islam, higher secondary level, and associate's degree or vocational certificate.The qualitative research: three groups of six to ten interview subjects by using content analysis on a range of randomly chosen cases such as elderly people, carers for the elders, community leaders, professional nurses, village health volunteers, and public health officers. It was discovered that elderly people lacked knowledge and lacked awareness such as they did not share meals with serving spoons, did not wear masks, did not wash their hands, had different beliefs, and were not afraid of contracting COVID-19. To avoid COVID-19 in the elderly, the researchers used the factors they had collected to create four primary activities; 1. public relations; 2. knowledge sharing; 3. altering attitudes and health beliefs; and 4. encouragement.

**Keywords:** Behavior to preventing COVID 19, Elderly, Community participation

**บทนำ**

การระบาดของโควิด 19 ได้เริ่มต้นเมื่อปลายปี พ.ศ. 2562 และลุกลามไปทั่วโลกสร้างความหวาดกลัวและส่งผลกระทบต่อสุขภาพ สังคมและเศรษฐกิจของประชากร และเมื่อต้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 มีการระบาดใหญ่ (Pandemic) ซึ่งเป็นการติดเชื้อทั่วโลกอย่างรวดเร็วและมีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก (Department of disease control, 2020) จากการรายงานของ World Health Organization (2023) พบว่า ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2562 มีรายงานผู้ป่วยที่ติดเชื้อโควิด 19 เป็นจำนวน 760 ล้านรายและมีผู้เสียชีวิต มีจำนวน 6.9 ล้านรายทั่วโลก ขณะเดียวกันจากการรายงานรายสัปดาห์ของกระทรวงสาธารณสุขระบุว่าสถานการณ์โควิด 19 ในประเทศไทย ตั้งแต่ เดือนมีนาคม 2024 พบว่ามีจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโควิด 19 เพิ่มขึ้น โดยข้อมูลล่าสุดระบุว่ามีผู้ป่วยเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้น 1,672 ราย และเสียชีวิต 9 ราย โดยมีผู้ป่วยอาการหนักจำนวน 390 ราย และต้องใช้เครื่องช่วยหายใจในโรงพยาบาล จำนวน 148 ราย (World Health Organization, 2024) ในปัจจุบันถึงแม้จะมีความก้าวหน้าในด้านวัคซีน ยาต้านไวรัส และมาตรการป้องกันการติดเชื้อโควิด 19 รายใหม่ แต่การระบาดของโรคก็ยังมีการดำเนินต่อไป (Clifford & Rosen, 2024)

ขณะเดียวกันกลุ่มผู้สูงอายุและคนที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจและสมอง โรคระบบทางเดินหายใจ โรคภูมิแพ้ มีโอกาสเสียชีวิตมากกว่าคนทั่วไปหากมีการติดเชื้อโควิด 19 (Department of Disease Control, 2021) ซึ่งผู้สูงอายุจะมีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยและเสียชีวิตจากโควิด 19 มากกว่าและผู้สูงอายุยังมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด 19 ในระยะยาวมากกว่าผู้ป่วยที่อายุน้อยกว่า จากอาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแล้ว โควิด 19 ยังอาจกระตุ้นหรือทำให้เกิดโรคเรื้อรังที่มีอยู่แล้ว เช่น โรคเบาหวานและโรคหัวใจและหลอดเลือด (Victoria

et al., 2022) นอกจากนี้กลุ่มผู้สูงอายุยังมีปัจจัยที่เสี่ยงต่อการเกิดลองโควิดมากกว่ากลุ่มวัยอื่น ซึ่งอาการที่สามารถพบได้ คือ อ่อนเพลีย หายใจไม่อิ่ม เกิดภาวะสมองล้า (World Health Organization Thailand, 2024) สอดคล้องกับผลการวิจัยอัตราการติดเชื้อและความรุนแรงของโควิด 19 ขององค์การอนามัยโลก ประเทศจีน และอิตาลี พบข้อมูลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ผู้สูงอายุเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงที่สุดที่จะติดเชื้อรุนแรงและเสียชีวิต โดยความเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นเมื่อผู้สูงอายุมีอายุมากขึ้นและมีโรคไม่ติดต่อโรคเรื้อรังร่วมด้วย เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคทางเดินหายใจเรื้อรัง มีอัตราการเสียชีวิต ร้อยละ 7.6-13.2 ผู้ที่มีอายุ 70 ปีขึ้นไป มีอัตราการเสียชีวิต ร้อยละ 8.0-9.6 และอายุ 80 ปีขึ้นไป มีอัตราการเสียชีวิตสูงถึง ร้อยละ 14.8-19.0 (Corporate Communications, General Administration Division, Office of the President, Mahidol University, 2022) และจากการรายงานโควิด 19 ระลอก 4 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 จนถึงปัจจุบัน แยกตามรายจังหวัด โดยจังหวัดฉะเชิงเทรา ยังพบผู้ป่วยด้วยโรคโควิด 19 จำนวน 38,539 คน และชีวิตจำนวน 311 คน (Digital Division for Disease Control, Department of Disease Control, 2024) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานประจำปีงบประมาณ 2564 สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา จากผลการสำรวจปัญหาสุขภาพ 10 อันดับแรก พบว่า โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด 19) เป็นปัญหาสุขภาพอันดับที่ 1 (Chachoengsao Provincial Public Health Office, 2021)

ในปัจจุบันแม้ว่าสถานการณ์โควิด 19 จะมีแนวโน้มที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการผ่อนคลายมาตรการต่าง ๆ เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถกลับมาใช้ชีวิตอย่างปกติได้ โดยกระทรวงสาธารณสุขได้มีการปรับแผนการดำเนินงานเข้าสู่ระยะหลังการระบาดครั้งใหญ่ (Post pandemic) ให้เกิดความปลอดภัยในการดำเนินชีวิต (Ministry of Public Health, 2022) ดังนั้น เพื่อความสอดคล้องกับมาตรการดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของผู้สูงอายุในการป้องกันโควิด 19 โดยอาศัยความร่วมมือของชุมชนเข้ามามีส่วนร่วม ซึ่งสอดคล้องกับศึกษาของ Esmat et al. (2021) ศึกษาบทบาทของการมีส่วนร่วมของชุมชนและกลุ่มอาสาสมัครในการป้องกันและควบคุมโควิด 19 ในอิหร่าน ผลการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดและความสำเร็จในการควบคุมการแพร่ระบาดของโควิด 19 จำเป็นต้องมีการมีส่วนร่วมของประชาชนโดยการมีส่วนร่วมด้วยความสมัครใจในการทำกิจกรรมของอาสาสมัครเพื่อควบคุมและป้องกันโควิด 19 นอกจากสถานการณ์การระบาดของโควิด 19 ในปัจจุบันทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด 19 ของผู้สูงอายุ ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 โดยมีการประยุกต์ใช้แนวคิดเกี่ยวกับความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ในผู้สูงอายุ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Daranchanok & Pongsit (2021) ศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของประชาชน ในตำบลปรุใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ความรู้และทัศนคติมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ข้อมูลนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและควบคุมการแพร่ระบาดของ โควิด 19 ในชุมชนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพ (Health belief model) ของเบคเกอร์ ประกอบด้วย การรับรู้โอกาสเสี่ยงของโควิด 19 การรับรู้ความรุนแรงของโควิด 19 การรับรู้ประโยชน์ของโควิด 19 การรับรู้อุปสรรคของโควิด 19 โดยนำแบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพ (Health belief model) มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางกำหนดตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรม เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ซึ่งจะนำไปใช้เป็นแนวทางวางแผนดำเนินงานปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 และเพื่อเป็นการเสริมสร้างสุขภาวะที่ดีของผู้สูงอายุ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุในชุมชนเขตอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา เพื่อนำผลที่ได้มาพัฒนารูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ซึ่งจะสามารถนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ นอกจากนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ที่ได้จากการศึกษาไปกำหนดนโยบายและได้รูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

**วิธีการ**

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบ (Mixed methods research) ผู้วิจัยใช้ Convergent designs แบบแผนคู่ขนาน เก็บข้อมูลด้วยวิธีการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) คู่ขนาน การวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ซึ่งเป็นการรวมข้อมูลเพื่อมาอธิบายทั้ง 2 วิธี โดยเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลออกจากกันโดยจะรวมข้อมูลทั้งสองชุดเข้าด้วยกัน (Samrit et al., 2022) แล้วนำผลของข้อมูลที่ได้มาสร้างรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ มีวิธีการดำเนินการ ดังนี้

การศึกษาวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) ประชากร คือ ผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป ที่อาศัยและมีภูมิลำเนาในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 15,991 คน (Provincial Public Health Office, 2021) กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป ทั้งเพศชายและเพศหญิง อาศัยในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 400 คน ใช้สูตรของเครซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ที่ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ดังนั้น ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 375 คน และสำรองไว้เพื่อป้องกันการสูญหาย ปัดให้เป็นจำนวนเต็ม 15 คน จึงเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็น 400 คน การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage sampling) ดังนี้ 1) สุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) ในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว ให้ได้ตัวแทนของตำบล รวม 10 ตำบล 2) สุ่มอย่างง่ายด้วยวิธีการจับฉลาก ให้ได้ตัวแทนของตำบล ๆ ละ 1 หมู่บ้าน รวม 10 หมู่บ้าน 3) กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนของครัวเรือน 4) เลือกตัวอย่างครัวเรือนแบบบังเอิญ (Accidental sampling) ครัวเรือนละ 1 คน โดยตัวแทนครัวเรือนที่ให้ข้อมูล มีเกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria) ได้แก่ผู้สูงอายุที่มีการรับรู้ มีสติสัมปชัญญะดี สามารถสื่อสารภาษาไทยเข้าใจ มีความยินดีที่จะเข้าร่วมโครงการวิจัย เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria) ได้แก่ ผู้สูงอายุที่มีความเจ็บป่วยที่ไม่สามารถให้สัมภาษณ์ได้

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยเชิงปริมาณทำการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบ จำนวน 5 ท่าน จะต้องมีประสบการณ์ ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันการติดเชื้อโควิด 19 โดยพบว่าทุกข้อคำถาม มีค่า IOC มากกว่า 0.50 ขึ้นไป (Sirichai, 2010) จากนั้นนำแบบสอบถามไปทดลองใช้ (Try out) กับผู้สูงอายุในตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีความคล้ายคลึงกับตัวอย่าง จำนวน 30 คน ทดสอบค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย เพศ อายุ ศาสนา สถานภาพ ผู้ดูแล อาชีพ รายได้ และจบการศึกษา ลักษณะแบบสอบถามเป็นแบบแบบตรวจสอบรายการ (Check list) และเติมข้อความ จำนวน 8 ข้อ

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโควิด 19 จำนวน 10 ข้อ ประกอบด้วยข้อคำถามปลายปิด ให้เลือกตอบในช่องที่กำหนด คำตอบเป็นแบบเลือกตอบ ถูก และ ผิด คำตอบที่ถูกต้องให้ 1 คะแนน คำตอบที่ผิดให้ 0 คะแนน เกณฑ์การแปลผลคะแนนความรู้โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบอิงเกณฑ์ของ (Bloom, 1971) โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ เกณฑ์การแปลผลคะแนน ได้แก่ คะแนน 1.00-0.68 ระดับสูง มากกว่า 7 คะแนน คะแนน 0.67-0.34 ระดับปานกลาง 4-6 คะแนน คะแนน 0.00-0.33 ระดับต่ำ น้อยกว่า 3 คะแนน ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (KR-20) เท่ากับ 0.81

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามทัศนคติเกี่ยวกับการป้องกันโควิด 19 จำนวน 10 ข้อ เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) มี 5 ระดับ จากคะแนน 1-5 คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง เกณฑ์การแปลผลคะแนน ได้แก่ 4.51-5.00 ระดับมากที่สุด 3.51-4.50 ระดับมาก 2.51-3.50 ระดับปานกลาง 1.51-2.50 ระดับน้อย 1.00-1.50 ระดับน้อยที่สุด มีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ 0.84

ส่วนที่ 4 แบบสอบถามความเชื่อด้านสุขภาพเกี่ยวกับการป้องกันโควิด 19 ได้แก่ การรับรู้โอกาสเสี่ยงของการเกิดโควิด 19 การรับรู้ความรุนแรงของโควิด 19 การรับรู้ประโยชน์ของการป้องกันโควิด 19 การรับรู้อุปสรรคในการ

ป้องกันโควิด 19 ซึ่งนำมาจากแนวคิดทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ (Health Belief Model) จำนวน 16 ข้อ เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ จากคะแนน 1-5 คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง เกณฑ์การแปลผลคะแนน ได้แก่ 4.51-5.00 ระดับมากที่สุด 3.51-4.50 ระดับมาก 2.51-3.50 ระดับปานกลาง 1.51-2.50 ระดับน้อย 1.00-1.50 ระดับน้อยที่สุด มีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ 0.85

ส่วนที่ 5 แบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการติดเชื้อโควิด 19 จำนวน 13 ข้อ เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ จากคะแนน 1-5 คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง เกณฑ์การแปลผลคะแนนแบ่งออกเป็น ได้แก่ 4.51-5.00

ปฏิบัติระดับมากที่สุด 3.51-4.50 ปฏิบัติระดับมาก 2.51-3.50 ปฏิบัติระดับปานกลาง 1.51-2.50 ปฏิบัติระดับน้อย 1.00-1.50 ปฏิบัติระดับน้อยที่สุด มีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ 0.92

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป และปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน (Multiple regression analysis) โดยใช้การคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าโมเดลด้วยวิธี Stepwise และกำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ทำการบันทึกเก็บข้อมูล โดยการบันทึกพรรณนาอย่างละเอียดทุกครั้ง ทำการนำเสนอให้เห็นภาพ หลังจากเสร็จสิ้นการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้ง ให้ผู้ช่วยนักวิจัยที่อยู่ในขณะทำการสัมภาษณ์ได้มีการอ่านข้อมูลเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง มีการทบทวน วิเคราะห์ ตีความข้อมูล ว่าตรงกับสถานการณ์ที่เป็นจริงมากน้อยเพียงใด และใช้การตรวจสอบแบบสามเส้า (Triangulation) เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีการค้นพบจากแหล่งข้อมูลแตกต่างกัน และเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือในข้อมูลที่มีการค้นพบ โดยให้ประชากร คือ ผู้สูงอายุ ผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุ เจ้าหน้าสาธารณสุข พยาบาล ผู้นำชุมชน อสม. อาศัยอยู่อำเภอบางน้ำเปรี้ยว ในจังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 20 คน ประกอบด้วยผู้ให้ข้อมูลหลัก 3 กลุ่ม ดังนี้ 1) ผู้สูงอายุ 6 คน 2) ผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุ 6 คน 3) เจ้าหน้าที่สาธารณสุข 4 คน พยาบาล 1 คน อสม. 2 คน และผู้นำชุมชน 1 คน (จนข้อมูลอิ่มตัว) โดยใช้วิธีการสุ่มคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลแบบตัวอย่างกรณีหลากหลาย (Maximum variation sampling) เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria) ได้แก่ 1) ผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป ที่อาศัยอยู่ในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา 2) เป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบการดูแลของผู้สูงอายุซึ่งจะต้องมีอายุตั้งแต่ 20 ปี ขึ้นไป อาศัยอยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุ 3) เจ้าหน้าที่สาธารณสุข พยาบาล ผู้นำชุมชน อสม. ที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ไม่น้อยกว่า 1 ปี ในจังหวัดฉะเชิงเทรา และ 4) มีการรับรู้ มีสติสัมปชัญญะดี สามารถสื่อสารภาษาไทยเข้าใจ มีความยินดีที่จะเข้าร่วมโครงการวิจัย เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria) ได้แก่ มีความเจ็บป่วยที่ไม่สามารถให้สัมภาษณ์ได้

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยเชิงคุณภาพ ได้แก่ การสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง (Non-structured interview) ซึ่งผู้วิจัยมีการตั้งคำถามหลักเอาไว้ จำนวน 3 ข้อ ได้แก่ 1) ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ 2) ความต้องการในการจัดการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ 3) แนวทางการพัฒนาการมีส่วนร่วมของชุมชนในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบสัมภาษณ์ จำนวน 5 ท่าน จากนั้นนำผลที่ได้มาปรับปรุง แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิและนำแบบสัมภาษณ์ไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน เพื่อทดสอบความชัดเจนและความครอบคลุมในข้อคำถาม จากนั้นนำเครื่องมือไปปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะนำแบบสัมภาษณ์ไปใช้จริง โดยมีการเก็บข้อมูล ดังนี้ 1) ผู้วิจัยและผู้ช่วยผู้วิจัยได้ฝึกการสัมภาษณ์ และอบรมก่อนทำการเก็บข้อมูลการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง 2) ผู้ที่ถูกสัมภาษณ์สามารถแสดงความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะได้อย่างเสรี และผู้สัมภาษณ์สามารถ

ถามนอกเหนือจากคำถามที่ได้ตั้งไว้ 3) ขออนุญาตบันทึกเสียงและจดประเด็นสำคัญ โดยใช้เวลาสัมภาษณ์คนละไม่เกิน 30-60 นาที หรือจนกว่าข้อมูลมีความอิ่มตัว (Data saturation) 4) จากนั้นทำการถอดข้อความเสียง และตรวจสอบความถูกต้องความสมบูรณ์ของข้อมูล และเปรียบเทียบข้อค้นพบโดยการตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (Triangulation) ได้แก่ การตรวจสอบความถูกต้องด้านข้อมูล โดยเลือกผู้ให้ข้อมูลที่มีความแตกต่าง (Data triangulation) ได้แก่ ประสบการณ์ อาชีพ ฐานะทางเศรษฐกิจ ความคิดและความเชื่อ จากนั้นนำเอาข้อมูลที่มีประเด็นเดียวกันมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก และทำการสังเกต เพื่อดูลักษณะและความสอดคล้องของข้อมูล เข้ามาร่วมอธิบายข้อค้นพบและนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

**การพิจารณาด้านจริยธรรมในการวิจัยในมนุษย์**

การดำเนินการพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจะทำการเสนอโครงร่างเพื่อขอรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร IRB No.0072/2566

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

การวิจัยเชิงปริมาณ ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 60 ปีขึ้นไป อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ที่ตอบแบบสอบถามเป็น เพศหญิง ร้อยละ 67.00 อายุ 60-69 ปี มากที่สุด ร้อยละ 65.75 นับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 49.75 สถานภาพ คู่/สมรส ร้อยละ 62.00 ปัจจุบันกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ได้รับการดูแลจาก คู่สมรส/บุตรหลาน มากที่สุด ร้อยละ 40.30 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มากที่สุด ร้อยละ 29.50 รายได้เฉลี่ยต่อเดือนมากที่สุด ได้รับเบี้ยยังชีพผู้สูงอายุ ร้อยละ 33.75 จบการศึกษาประถมศึกษาตอนต้น ร้อยละ 47.25

ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า การรับรู้ประโยชน์ในการป้องกันโควิด 19 มีอำนาจการพยากรณ์สูงที่สุด (Beta=0.397, p-value<0.001) อธิบายได้ว่า การรับรู้ประโยชน์ในการป้องกันโควิด 19 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า หากผู้สูงอายุมีการรับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับประโยชน์ในการป้องกันโควิด 19 จากหน่วยงานของภาครัฐและภาคเอกชนเพิ่มมากขึ้น หรือบริเวณในพื้นที่ที่ผู้สูงอายุอาศัยได้รับการกระตุ้นเตือนและประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ผู้สูงอายุสามารถหลีกเลี่ยงการติดโควิด 19 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Veeranuch et al. (2021) ที่พบว่า สถานการณ์การระบาดของโรคทำให้ผู้สูงอายุจำต้องมีการปฏิบัติพฤติกรรมการป้องกันที่ดีเพราะเป็นทางออกที่ให้ประโยชน์กับตนเองมากที่สุดและมีการรับรู้ว่าการปฏิบัติพฤติกรรมอย่างถูกต้องจะสามารถลดการเจ็บป่วยที่คุกคามจากการระบาดของโรคได้ และการรับรู้ความรุนแรงในการป้องกันโควิด 19 (Beta=0.127, p-value0.004) อธิบายได้ว่า การรับรู้ความรุนแรงในการป้องกันโควิด 19 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ผู้สูงอายุที่มีการเจ็บป่วยหรือการติดโควิด 19 จะมีความรุนแรงต่อสุขภาพและมีความรุนแรงต่อกลุ่มผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัว หากผู้สูงอายุไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการป้องกันโควิด 19 นอกจากนี้ผู้สูงอายุจะมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด 19 ได้ง่ายและมีอาการอย่างรุนแรงมากกว่ากลุ่มวัยอื่น ซึ่งสอดคล้องกับ Dedonno et al. (2022) ที่พบว่า การรับรู้ถึงความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นนั้นสามารถคาดการณ์ความแปรปรวนในแนวทางการป้องกันได้มากกว่าความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด 19 และหากได้ศึกษาตามทฤษฎีแบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพจะพบว่าทฤษฎีแบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพสามารถทำนายพฤติกรรรมที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันโควิด 19 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Zewdie et al. (2022) ที่พบว่า แบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพมีความสามารถ

ในการทำนายพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับ COVID-19 ได้ดี และที่สำคัญที่สุดสามารถใช้แบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพในการวางแผนและออกแบบเพื่อป้องกันและควบคุมการระบาดใหญ่ และสอดคล้องกับ Alyafei & Easton (2024) ที่พบว่า การแก้ไขปัญหาสุขภาพที่เฉพาะเจาะจงและกระตุ้นให้บุคคลต่าง ๆ ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อสุขภาพที่ดีขึ้น ผ่านการใช้กลยุทธ์ที่มุ่งเป้าไปที่การเพิ่มการรับรู้ถึงความเสี่ยง ความรุนแรง ประโยชน์ และอุปสรรคควบคู่ไปกับการเสริมสร้างสัญญาณบ่งชี้การกระทำ HBM จะช่วยให้บุคคลต่าง ๆ สามารถดำเนินขั้นตอนเชิงรุกเพื่อปกป้องสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของตนเองได้ จบการศึกษา ระดับมัธยมตอนต้น (Beta=0.175, p-value<0.001) จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (Beta=0.087, p-value0.042) จบการศึกษาระดับ (ปวส.)/อนุปริญญา (Beta=0.084, p-value0.048) อธิบายได้ว่า หากจบการศึกษาเพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่า การได้รับการศึกษาหรือได้รับความรู้จะทำให้ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมการป้องกันโรคที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Ratkhet & Wanida (2022) ที่พบว่า แนวทางในการเพิ่มประสิทธิผลนโยบายการป้องกันโรคควรมีการส่งเสริมและให้ความรู้ด้านการส่งเสริมสุขภาพการรักษาพยาบาล การฟื้นฟูสุขภาพ และการป้องกันโรคแก่ผู้สูงอายุ จะสามารถทำให้ผู้สูงอายุสามารถใช้ชีวิตในสังคมได้อย่างปกติสุข การประกอบอาชีพเกษตรกรรม (Beta=-0.149, p-value<0.001) อธิบายได้ว่า หากประกอบอาชีพเกษตรกรรมลดลงจะทำให้พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุลดลง จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่า บริเวณที่ผู้สูงอายุอาศัยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมขณะเดียวกันไม่ต้องมีการเดินทางไปประกอบอาชีพในระยะที่ไกล พบปะกับผู้คนค่อนข้างน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ Marian et al. (2022) ที่พบว่า สถานะของบุคคลในตลาดแรงงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานส่งผลต่อการแพร่ระบาดของ COVID-19 ในชุมชน การนับศาสนาอิสลาม (Beta=-0.093, p-value=0.031) อธิบายได้ว่า หากจำนวนประชากรที่นับถือศาสนาอิสลามลดลงจะทำให้พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุลดลง จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่า ศาสนา คือสิ่งที่ยึดเหนี่ยวจิตใจของผู้คน ปัจจุบันมีหลากหลายศาสนา ซึ่งรูปแบบแต่ละศาสนามีการดำเนินการในสังคมที่แตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับการการศึกษาเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์ในพื้นที่อำเภอบางน้ำเปรี้ยวเป็นบริเวณที่มีผู้สูงอายุที่นับถือศาสนาอิสลามเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ผู้สูงอายุมีระบบความเชื่อในการดูแลพฤติกรรมที่แตกต่างกัน ดังนั้น ศาสนาจึงมีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโรคในผู้สูงอายุ คู่สมรสและบุตรหลานเป็นผู้ดูแล (Beta=-0.089, p-value =0.037) อธิบายได้ว่า หากคู่สมรสและบุตรหลานเป็นผู้ดูแลลดลงจะทำให้พฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุลดลง จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่า ผู้สูงอายุเป็นวัยที่มีระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมถอยลง ทำให้ผู้สูงอายุเสี่ยงติดเชื้อโควิด 19 ได้ง่าย และอาจมีอาการรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดังนั้น การดูแลจากญาติในครอบครัวหรือผู้ดูแลอย่างใกล้ชิดอย่างถูกวิธีจะช่วยลดผลกระทบและความเสี่ยงที่จะเกิดกับต่อผู้สูงอายุในครอบครัว ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับ Huichao et al. (2022) ที่พบว่า ประสบการณ์และการรับรู้ของผู้ดูแลเกี่ยวกับการดูแลผู้สูงอายุในช่วงการระบาดของ COVID-19 ผลการทบทวนอย่างเป็นระบบเชิงคุณภาพแสดงให้เห็นว่าอารมณ์ ความรู้ และความรู้ของผู้ดูแลส่งผลต่อคุณภาพการดูแลผู้สูงอายุและของผู้ดูแลในช่วงการระบาด ผลการวิเคราะห์ ดังตาราง ที่ 1

**ตารางที่ 1** สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple regression analysis) ด้วยวิธี Stepwise เกี่ยวกับพฤติกรรมในการป้องกันโควิด 19 (n=400)

| ตัวแปร | | B | 95% CI Lower | Upper | Beta | t | P-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| การรับรู้ประโยชน์ของการป้องกันโควิด 19 | ($X_1$) | 0.402 | 0.314 | 0.491 | 0.397 | 8.942 | <0.001 |
| จบการศึกษาระดับมัธยมตอนต้น | ($X_2$) | 0.375 | 0.193 | 0.557 | 0.175 | 4.042 | <0.001 |
| การรับรู้ความรุนแรงของการป้องกันโควิด 19 | ($X_3$) | 0.069 | 0.022 | 0.116 | 0.127 | 2.877 | 0.004 |
| ประกอบอาชีพเกษตรกรรม | ($X_4$) | -0.185 | -0.291 | -0.078 | -0.149 | -3.409 | <0.001 |
| ผู้ดูแล คู่สมรสและบุตรหลาน | ($X_5$) | 0.102 | 0.006 | 0.199 | 0.089 | 2.096 | 0.037 |
| ไม่ได้รับการศึกษา | ($X_6$) | -0.182 | -0.351 | -0.013 | -0.090 | -2.114 | 0.035 |
| การนับศาสนาอิสลาม | ($X_7$) | -0.105 | -0.201 | -0.010 | -0.093 | -2.167 | 0.031 |
| จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลาย | ($X_8$) | 0.163 | 0.006 | 0.321 | 0.087 | 2.039 | 0.042 |
| จบการศึกษาระดับ (ปวส.)/อนุปริญญา | ($X_9$) | 0.946 | 0.009 | 1.883 | 0.084 | 1.985 | 0.048 |

Constants=2.036, Adj $R^2$ = 0.297

จากตารางนำข้อมูลมาเขียนสมการทำนาย ได้ดังนี้

$$\hat{Y} = b0+b1x1+b2x2+b3x3+b4x4+b5x5+b6x6+b7x7+b8x8+b9x9$$

$$\hat{Y} = 2.036+0.402+0.375+0.069+-0.185+0.102+-0.182+-0.105+0.163+0.946$$

ผลการวิจัยเชิงคุณภาพ การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาโดยการจัดหมวดหมู่ของข้อมูลจากการสนทนาและการสัมภาษณ์ ดังนี้

1) สาเหตุปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ

ข้อค้นพบจากการสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก พบว่า ผู้สูงอายุไม่กลัวการติดโควิด 19 จึงไม่มีการล้างมือก่อนรับประทานอาหารหรือกลับมาจากนอกบ้าน ผู้สูงอายุไม่ใส่หน้ากากอนามัย ใส่หน้ากากอนามัยผิดวิธี สมาชิกในบ้านไม่มีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันตนเองและเมื่อคนในบ้านป่วยก็รับประทานอาหารร่วมกัน สมาชิกในบ้านไม่แยกกันรับประทานอาหารมีการใช้ห้องน้ำเดียวกันขณะที่ป่วยด้วยโควิด 19 ซึ่งบริบทในครอบครัวมีผลต่อการป้องกันโควิด 19 ในผู้สูงอายุ ซึ่งบางบ้านอาจจะต้องใช้กฎระเบียบเข้ามาบังคับในการดูแลผู้สูงอายุเวลาที่จะออกไปข้างนอก จากการสัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูลสอดคล้องกับวิธีการ/กิจกรรมของ ดังนี้

“อะไรที่มีผลอะหรอต่อการป้องกันอะหรอ คงเป็นความกลัวหละมั้ง เวลาเห็นข่าว แต่เดี๋ยวนี้ ไม่ค่อยมีข่าวยายแกเลยไม่ค่อยกลัวนะ ทำบ้าง ไม่ทำบ้าง ใส่หน้ากกากอนามัยอะ รึ ล้างมือ ยิ่งมือนี่นะ ไม่ค่อยล้างหรอก ก็ล้างแต่น้ำเปล่า เตือนแล้วเตือนอีก” (ผู้ดูแลผู้สูงอายุ)

“ผู้สูงอายุคือดื้อมาก แล้วก็ไม่เข้าใจว่าจะต้องใส่แมสทำไม หายใจไม่ออก พฤติกรรมการกินการอยู่ยั้งงี้อะคะ เหมือนอยู่แบบนี้มานานหละ และผู้สูงอายุบางคนใส่แมสไว้ใต้คางงี้ อันนี้เท่าที่เจออะนะ คือฉันใส่หละแต่ไม่ได้ปิดปาก ปิดจมูกอะไร เวลาคุยก็เปิดแมส คือใช้ชีวิตเหมือนเดิม แต่ก็มีความกลัวนะ แต่พอแบบตัวเองเป็นก็มีความวิตกกังวล พอให้ไปนอน รพ. ก็ไม่อยากไปใช้ชีวิตปกติ ผู้สูงอายุจะดื้อมากให้ทำแบบนี้ ก็จะทำแบบนั้น ไม่ปฏิบัติตามกฎ หรือตามมาตราป้องกัน ตอนนี้มันเป็นโรคประจำถิ่นไปหละ ในพื้นที่ก็จะไม่มีมาตราอะไร ซึ่งแต่ก่อนก็จะมีเว้นระยะห่าง ล้างมือ ใส่หน้ากาก” (เจ้าหน้าที่สาธารณสุข)

"เวลาเค้ากินข้าวก็รวมกัน ไม่มีช้อนกลางไม่ได้แยก เค้าจะอยู่ด้วยกันจะอยู่เป็นครอบครัวใหญ่ อยู่รวมกันในชุมชนเค้าจะไม่ได้แยก" (เจ้าหน้าที่สาธารณสุข)

"ก็ต้องการอยากได้คำแนะนำบ้าง ตอนนี้มันเริ่มไม่ค่อยได้ยิน ไม่ค่อยมีใครมาให้ความรู้เลย ก็อยากจะได้ความรู้ว่ามันยังเป็นเหมือนเดิมอยู่รึเปล่า เราต้องทำตัวอย่างไร เวลาติด" (ผู้สูงอายุ)

"ส่วนใหญ่จะมีห้องน้ำห้องเดียว จะไม่ค่อยแยก ห้องนอนก็จะนอนรวมกันหลายคน หรือบางทีป่วยแล้วก็ยังกินข้าวด้วยกันไม่ได้แยก ทั้งหมดนี้ก็เลยเป็นสาเหตุที่จะต้องมาป้องกัน" (เจ้าหน้าที่สาธารณสุข)

2) ความต้องการในการจัดการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ

ข้อค้นพบจากการสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก พบว่า ขณะนี้โรคโควิดได้ประกาศให้เป็นโรคประจำถิ่น และยังพบว่าในพื้นที่มีการติดเชื้อโควิด 19 อยู่ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า ขาดหน่วยงานเข้ามาดูแล ไม่มีเจ้าหน้าที่แนะนำข้อมูลความรู้เกี่ยวกับโควิด 19 ขาดการกระตุ้นเตือนให้แก่สมาชิกในชุมชนและผู้สูงอายุ ตลอดจนผู้ดูแลผู้สูงอายุยังมีความต้องการให้ อสม. เข้ามาให้ข้อมูล ให้คำแนะนำในการรับประทานอาหารร่วมกัน รับประทานอาหารอย่างไรจึงจะถูกวิธีในขณะที่ป่วยด้วยโควิด 19 ผู้สูงอายุควรได้รับความรู้ที่ถูกต้องเพราะผู้สูงอายุบางคนยังมีความเชื่อในเรื่องของศาสนา ความรุนแรงอันตรายที่เกิดขึ้นไม่เหมือนกัน จากการสัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูลสอดคล้องกับวิธีการ/กิจกรรมของ ดังนี้

"แนวทางในการพัฒนาอะหรอ ก็อยากให้ อสม. มาให้ข้อมูล เพราะตอนนี้โควิดก็เริ่มหายไป ส่วนมากตอนนี้ผู้สูงอายุก็ต้องดูแลตัวเอง และคนดูแลตัวเองก็น้อยบางทีก็มีคนแนะนำอยู่นะ แต่คนเค้าก็ไม่ค่อยทำตามกันหรอก" (ผู้สูงอายุ)

"ควรที่จะให้ความรู้นะ ให้ความตระหนัก เพราะคนในพื้นที่เค้าจะไม่ค่อยตระหนัก" (เจ้าหน้าที่สาธารณสุข)

"สาเหตุในการป้องกันอะหรอ เราคิดว่าความเชื่อนะ เชื่อในเรื่องความรุนแรง เชื่อในสิ่งที่เห็น คือต้องเห็นก่อนอะถึงจะเชื่อว่ามันอันตราย ถึงแม้ว่ามันจะดูไม่อันตราย เดี๋ยวนี้คนไม่ค่อยกลัว นี่คนที่บ้านยังไม่เชื่อ ไม่กลัวเลยบางที" (ผู้ดูแลผู้สูงอายุ)

"แล้วก็ความเชื่อทางศาสนา ความเชื่อคือ อันนี้เราพูดเป็นกลางนะคะ บางทีเค้าคิดว่ามันเป็นสิ่งที่เค้ากำหนดมาแล้วว่าถ้าใครจะเป็นอะไรหรือเสียชีวิตเค้าก็กำหนดมาแล้วว่าจะต้องเสียชีวิต หรือความเชื่อว่าการไม่ฉีดวัคซีนก็คือไม่เป็นอะไร บางกลุ่มก็จะไม่เลย ไม่ปฏิบัติเลย บางกลุ่มก็ให้ความร่วมมือหรือเค้าคิดว่าในเรื่องของวิทยาศาสตร์การแพทย์การรักษาช่วยได้เค้าก็ให้ความร่วมมือ" (เจ้าหน้าที่สาธารณสุข)

3) แนวทางการพัฒนาการมีส่วนร่วมของชุมชนในการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ

ข้อค้นพบจากการสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก พบว่า การรวมตัวกันในชุมชนค่อนข้างยาก ฉะนั้นควรประชาสัมพันธ์ อาจใช้เสียงตามสาย ใช้ผู้นำทางศาสนาให้ข้อมูลความรู้ การป้องกันที่ถูกต้อง ให้ความรู้ในวันเบาหวานความดัน ซึ่งควรจัดกิจกรรมลงพื้นที่ โดยใช้พื้นที่ตามศาสนาที่อยู่จัดกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมอาจเป็นสิ่งที่ทำให้เห็นภาพมีตัวอย่างให้เห็นในการเสียชีวิตเพื่อสร้างความตระหนัก หรืออาจจัดโครงการให้ความรู้ จากการสัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูลสอดคล้องกับวิธีการ/กิจกรรมของ ดังนี้

"การที่จะให้ทุกคนเข้ามามีส่วนร่วมบางทีมันก็ยากนะคะ บางคนทำงานไม่ตรงกัน แต่ก็งั้นแหละบางทีเราก็อยากได้คำแนะนำบ้าง เพราะบ้านผู้สูงอายุบางหลัง บางทีก็ ยังตกหล่นอยู่ ในเรื่องของการดูแล" (ผู้ดูแลผู้สูงอายุ)

"ถ้าจะให้ผู้สูงอายุเข้ามามีส่วนร่วมมันก็ยาก พอโควิดมันจางหายไป ก็ตัวใครตัวมัน ดูกันเอง เมื่อก่อนมีการประชาสัมพันธ์ แต่เดี๋ยวนี้ไม่มี" (ผู้สูงอายุ)

"ก็ อยากให้ความรู้ รวบรวมผู้สูงอายุมาอยู่ที่เดียวกัน คือให้ความรู้ เรื่องการดูแลการป้องกันโควิด อาจจะมีการแจ้งบอกกันปากต่อปากให้รู้ว่า มีกิจกรรมนะ จะทำอะไรกันบ้าง" (ผู้ดูแลผู้สูงอายุ)

"ต้องลงพื้นที่ทุกหมู่เลยคะ ต้องลงพื้นที่ไปให้เห็น ไปทำให้เค้าเห็นภาพ เหมือนต้องมีตัวอย่างว่า มีเคสที่เสียชีวิตเพราะโควิด มันมีจริงนะ อันนี้มันต้องลงพื้นที่ไปทุกที่คะ เพราะบางพื้นที่ไม่ได้มีโซเชียล เค้าไม่ได้เล่นโทรศัพท์ แล้วเค้าเป็นผู้สูงอายุและเค้ายังเข้าไม่ถึงอินเตอร์เน็ต" (เจ้าหน้าที่สาธารณสุข)

จากการสัมภาษณ์นำข้อมูลดิบที่ได้มาจำแนก จัดระบบข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ ให้มีความเชื่อมโยง โดยนำข้อมูลมาอธิบายในแต่ละส่วนอย่างละเอียดโดยทำการวิเคราะห์เชิงประเด็น (Thematic analysis) ในข้อมูลเชิงคุณภาพและนำมาสร้างรูปแบบการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1) ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ในข้อมูลเชิงคุณภาพและสรุปผลปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุในข้อมูลเชิงปริมาณ

2) ผู้วิจัยยกร่างรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ จากข้อค้นพบในวิจัยเชิงปริมาณและวิจัยเชิงคุณภาพ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพ (Health belief model) และแนวคิดความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 เพื่อให้ได้รูปแบบ

3) นำรูปแบบที่ได้นำเสนอในชุมชน ซึ่งเป็นผู้มีส่วนได้ ส่วนเสีย วิพากษ์และพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสม

4) นำรูปแบบที่ได้ให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ วิพากษ์รูปแบบและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขให้มีความสมบูรณ์

5) ผู้วิจัยได้สรุปผลการศึกษาเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ประกอบด้วย 4 กิจกรรม ดังนี้

กิจกรรมที่ 1) ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับกิจกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย ดังนี้ : กลุ่มเจ้าหน้าที่สาธารณสุข ผู้นำชุมชน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ช่วยกันประชาสัมพันธ์กิจกรรมที่จัดขึ้นเกี่ยวกับเรื่องการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ จากนั้นประสาน กลุ่มผู้นำชุมชน กลุ่มผู้นำศาสนาในพื้นที่ ทำการประชาสัมพันธ์กิจกรรม ที่จัดขึ้นเกี่ยวกับเรื่องการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ และประสานกลุ่มผู้สูงอายุ ผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุประชาสัมพันธ์กิจกรรม ที่จัดขึ้นเกี่ยวกับเรื่องการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ

กิจกรรมที่ 2) ให้ความรู้ ให้คำแนะนำในผู้สูงอายุและผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุเกี่ยวกับการป้องกันตนเอง ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย ดังนี้ : สร้างสัมพันธภาพกับกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุก่อนการจัดกิจกรรม จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับโควิด 19 ในผู้สูงอายุ สาธิตวิธีการล้างมือที่ถูกต้อง สาธิตวิธีการใส่หน้ากากอนามัยที่ถูกต้อง หลักวิธีการปฏิบัติในการรับประทานอาหารร่วมกัน การดูแลตนเองเมื่อเจ็บป่วยด้วยโควิด 19 หลักวิธีการใช้ห้องน้ำร่วมกันกับสมาชิกภายในบ้านจะต้องปฏิบัติอย่างไร โดยการให้ความรู้เป็นรายกลุ่ม (ใช้เวลา ไม่เกิน 60 นาที)

กิจกรรมที่ 3) ปรับเปลี่ยนทัศนคติ สร้างความเชื่อด้านสุขภาพ ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย ดังนี้ : สร้างสัมพันธภาพกับกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุ ก่อนการจัดกิจกรรมปรับเปลี่ยนทัศนคติ สร้างความเชื่อด้านสุขภาพที่ถูกต้องเกี่ยวกับการรับรู้ประโยชน์ของการป้องกันโควิด 19 และการรับรู้ความความรุนแรงของโควิด 19 โดยให้ดูสื่อและอธิบายประโยชน์ของการป้องกันโควิด 19 ในผู้สูงอายุ และความรุนแรงของโควิด 19 ในผู้สูงอายุ ยกตัวอย่างกิจกรรม เช่น ดูวิดีโอเคสตัวอย่างของการติดเชื้อโควิด 19 และการเสียชีวิตในผู้สูงอายุด้วยโควิด 19 และแจกแผ่นพับให้ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโควิด 19 (ใช้เวลา ไม่เกิน 60 นาที)

กิจกรรมที่ 4) การกระตุ้นเตือน ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย ดังนี้ : ประสานกลุ่มผู้นำทางศาสนา หรือผู้นำชุมชน เจ้าหน้าที่สาธารณสุข อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ทำการชี้แจง ทำความเข้าใจ อธิบาย กิจกรรมที่ได้จัดขึ้นในกิจกรรมที่ 2-3 เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน และให้กลุ่มดังกล่าวกระตุ้นเตือน ทบทวน ความรู้ที่ได้รับ กระตุ้นเตือนความเชื่อทางด้านสุขภาพที่ถูกต้องในผู้สูงอายุ


**ภาพที่ 1** รูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ

**ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้**

1) สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดทิศทาง วางนโยบาย และหามาตราการต่าง ๆ ในการเตรียมรับมือกับสถานการณ์โควิด 19 หากเกิดการระบาดเป็นบริเวณกว้าง

2) ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลการวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยมีผลต่อการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายร่วมกับหลักการปฏิบัติในการทำงาน

3) จังหวัดที่ใกล้เคียง หรือพื้นที่ที่มีบริบทคล้ายคลึงกันสามารถนำผลรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุไปปรับใช้กับบริบทในพื้นที่ได้

**ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป**

1) ควรมีการศึกษาประสิทธิผลของรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ โดยให้มีการติดตามผลการป้องกันโควิด 19 ต่อเนื่อง ทุก 6 เดือน และ 1 ปี เพื่อเป็นการคงทนของพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ

2) ควรมีการเปรียบเทียบพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของจังหวัดฉะเชิงเทราในอำเภออื่น ๆ นอกเหนือจากอำเภอที่ศึกษา

3) ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุในกลุ่ม อื่น ๆ ทั้งผู้ที่มีความเสี่ยงและไม่มีความเสี่ยงของโควิด 1

**สรุป**

การศึกษาวิจัยรูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ พบว่า มี 9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ได้นำปัจจัยที่มีอำนาจการพยากรณ์สูงที่สุด คือ การรับรู้ประโยชน์ในการป้องกันโควิด 19 รองลงมา คือ การรับรู้ความรุนแรงในการป้องกันโควิด 19 ซึ่งเป็นแนวคิดทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ (Health Belief Model) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนารูปแบบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุร่วมกับขบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ได้รูปแบบที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ ประกอบไปด้วย 4 กิจกรรมหลัก ได้แก่ กิจกรรมที่ 1) ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับกิจกรรมการป้องกันโควิด 19 ของผู้สูงอายุ กิจกรรมที่ 2) ให้ความรู้ ให้คำแนะนำในผู้สูงอายุและผู้ดูแลที่อยู่ในครอบครัวของผู้สูงอายุเกี่ยวกับการป้องกันตนเอง กิจกรรมที่ 3) ปรับเปลี่ยนทัศนคติ สร้างความเชื่อด้านสุขภาพ และกิจกรรมที่ 4) การกระตุ้นเตือน

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิจัยขับเคลื่อนงานวิจัยเชิงพื้นที่ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 สัญญาเลขที่ 50/2566 ผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

**เอกสารอ้างอิง**

Alyafei, A., & Easton, C. R. (2024). **The Health Belief Model of Behavior Change.** Treasure Island (FL). Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK606120/ [2024, 24 Oct.]

Anees, A., & Raul, E. (2024). **The Health Belief Model of Behavior Change.** StatPearls: Treasure Island. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK606120/ [2024, 24 Oct.]

Bloom, B., Madaus, G., Hastings, T., & Baldwin, S. (1971). **Handbook on formative and summative evaluation of student learning.** New York: McGraw-Hill.

Clifford, J., & Rosen, D. (2024). Viral Variants, Vaccinations, and Long Covid-New Insights. **The new england journal of medicine, 391**(6), 561-562.

Corporate Communications, General Administration Division, Office of the President, Mahidol University. (2022). **Risks and impacts on the elderly during Covid-19.** Retrieved from https://op.mahidol.ac.th/ga/posttoday-13/ [2022, 7 Mar.] (In Thai)

Chachoengsao Provincial Public Health Office. (2021). **Annual report for fiscal year 2021.** Retrieved from https://cco.moph.go.th/cco24/status/annual2564.pdf. [2021, 10 Apr.] (In Thai)

Chachoengsao Provincial Public Health Office. (2021). **Percentage of Healthy Ageing in Health Region 6, Chachoengsao Province, Fiscal Year 2018.** Retrieved from https://cco.hdc.moph.go.th/hdc/reports/report.php?source=pformated/format1.php&cat_id=6966b0664b89805a484d7ac96c6edc48&id=bbcb40adb960e0564ef ba686c316c009. [2021, 7 Mar.] (In Thai)

Daranchanok, P. & Pongsit, B. (2021). Knowledge, Attitudes, and Preventive Behaviors of COVID-19 among Residents in Pru Yai Sub-district, Muang District, Nakhon Ratchasima Province. **Srinagarind Med J, 35**(5), 597-604.

Dedonno, M. A., Longo, J., Levy, X., & Morris, J. D. (2022). Perceived Susceptibility and Severity of COVID-19 on Prevention Practices, Early in the Pandemic in the State of Florida. **Journal of Community Health, 47**(4), 627-634.

Department of Disease Control. (2021). **Guidelines for the prevention of coronavirus disease 2019 (COVID-19) or COVID-19 for the general public and at-risk groups.** Retrieved from https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/file/int_protection/int_protection_030164.pdf. [2024, 23 Oct.] (In Thai)

Digital Division for Disease Control, Department of Disease Control. (2024). **COVID-19 infection situation updated weekly in API format (JSON/CSV Data Format).** Retrieved from https://covid19.ddc.moph.go.th/. [2024, 23 Oct.] (In Thai)

Esmat, R., Kiavash, H., Mehdi, R., & Salman, D. (2021). The Role of Community Participation and Volunteer Groups in the Prevention and Control of Covid-19 in Iran. **Journal of Military Health Promotion, 1**(3), 111-114.

Huichao, Z., Yuan, W., Nannan, W., Xuhan, S., Yuqing. W., & Yuxi, Z. (2022). Caregivers' experiences and perspectives on caring for the elderly during the COVID-19 pandemic: A qualitative systematic review. **J Nurs Manag, 30**(8), 3972-3995.

Krejcie, R. & Morgan, D. (1970). Determining sample sizes for research activities. **Educational and Psychological Measurement, 30**(3), 607-610.

Marian, H., Jurgen, L., Matjaz, P., Iulian, O., David, A., Adelina, S., & Maria, C. (2022). Occupations and their impact on the spreading of COVID-19 in urban communities. **Scientific reports, 12**(14115), 1-12.

Ministry of Public Health. (2022). **Recommendations for the public to prevent COVID 19 when entering the post-pandemic period.** Retrieved from https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/file/int_protection/int_protection_220665.pdf. [2022, 20 Aug.] (In Thai)

Ratkhet, T., & Wanida, S. (2022). Effectiveness of COVID-19 Infection Prevention Policy for Elderly in Bang Khen District, Bangkok. **Journal of Humanities and Social Sciences, 6**(1), 42-60. (In Thai)

Samrit, K., Chutipa, B., Somgiet, J., Pasit, A., & Apichat, N. (2022). Mixed Methods Research: Paradigms of Research for 21^st Century. **Journal of Intellect Education (JIE), 1**(3), 6685-. (In Thai)

Veeranuch, T., Patcharaporn, A., & Punyanut, P. (2021). The Benefits and Barriers, and Health Behaviors toward Preventing the Spread of Coronavirus in Elderly. **Journal of The Royal Thai Army Nurses, 22**(3), 105-112. (In Thai)

Victoria, M., Sally, D., Michael, K., & Felicity, S. (2022). Long COVID and older people. **The Lancet Healthy Longevity, 12**(3), 849854-.

World Health Organization. (2024). **COVID 19 WHO Thailand Situation Reports.** Retrieved from https://www.who.int/thailand/emergencies/novel-coronavirus-9102/situation-reports [2024, 23 Oct.] (In Thai)

Zewdie, A., Mose, A., Sahle, T., Bedewi, J., Gashu, M., Kebede, N., & Yimer, A. (2022). The health belief model's ability to predict COVID-19 preventive behavior: A systematic review. **SAGE Open Medicine, 22**(10), 1-10.

# อิทธิพลของปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอกมูลแพะและแหนแดงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ไข่มดริ้นที่ปลูกในสภาพกระถาง

# INFLUENCE OF CHEMICAL FERTILIZER, GOAT MANURE AND AZOLLA ON GROWTH AND YIELD OF KHAI MOD RIN RICE GROWN UNDER POT CONDITION

เยาวมาลย์ เขียวสอาด[1]* สุจารี แก้วคง[1] ฉัตรชัย สังข์ผุด[1] และ เกศศิรินทร์ แสงมณี[2]
[1]สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช 80280
[2]สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Yaowamarn Keawsaard[1]*, Sujaree Kaewkong[1], Chatchai Sangpud[1] and Katsirin Sangmanee[2]
[1]Department of Agricultural, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat, 80280
[2]Department of Modern Agricultural Technology Management, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

*E-mail: yaowamarn_kea@nstruru.ac.th

*Received: 2024-03-13*
*Revised: 2024-12-09*
*Accepted 2024-12-13*

**บทคัดย่อ**

ข้าวไข่มดริ้นเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สำคัญของนครศรีธรรมราช เกษตรกรเก็บพันธุ์ข้าวสำหรับปลูกในฤดูถัดไป ปัญหาหลักของการปลูกข้าว คือ ต้นทุนการผลิต และต้นทุนด้านการผลิตข้าวที่เพิ่มสูงขึ้น เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แหนแดง ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น ทำการศึกษา ณ แปลงทดลอง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตั้งแต่สิงหาคม 2564-มีนาคม 2565 วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 10 ซ้ำ ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง 1) ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (ชุดควบคุม) 2) ปุ๋ยคอก (มูลแพะ) 3) ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอก (มูลแพะ) อัตราส่วน 1:1 และ 4) แหนแดง ผลจากการศึกษาพบว่าจำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อกอ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ด้านผลผลิตพบว่าสิ่งทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเมล็ดต่อกอสูงสุดมีค่าเท่ากับ 18.59 กรัม และไม่พบความแตกต่างทางสถิติด้านความสูง การใช้แหนแดงทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากที่สุดเท่ากับ 130.77 เซนติเมตร ผลการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการใช้แหนแดงในการปลูกข้าวเพียงอย่างเดียวให้ปริมาณธาตุอาหารพืชไม่เพียงพอต่อผลผลิตของข้าว

**คำสำคัญ:** การเจริญเติบโตและผลผลิต ข้าวไข่มดริ้น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก แหนแดง

**ABSTRACT**

Khai Mod Rin rice is an important local rice variety of Nakhon Si Thammarat. The rice germplasm was maintained by farmers for planting in the succeeding season. The main problem of rice cultivation is the cost of production and increased rice production factors cost e.g. animal manure and chemical fertilizers. The objective of this study was to compare the growth and yield of Khai Mod Rin rice after being treated with different fertilizers. The plot experiment was conducted at the experimental fields of the Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University from August 2021 to March 2022. The experimental design was randomized complete block design with 10 replications and 4 treatments; (T1) chemical fertilizer (46-0-0) applied as control, (T2) goat manure, (T3) mixed chemical fertilizer and goat manure (ratio 1:1) and (T4) Azolla. The results showed that using different types of fertilizer had significantly affected the number of tillers per hill, the number of panicles per hill, the number of filled seeds per hill, 100 grains weight, and total grain weight per hill. With T2, the yield per hill was significantly ($P \leq 0.01$) higher than the other treatments, at 18.59 g. However, T4 showed the highest plant height at an average of 130.77 cm. It can be concluded that using Azolla alone in rice cultivation did not provide enough plant nutrients for satisfactory rice yield.

**Keywords:** Growth and Yield, Khai Mod Rin rice, Fertilizers, Manures, Azolla

**บทนำ**

พื้นที่ปลูกข้าวในภาคใต้โดยส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา โดยจังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุด คือ 619,704 ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2023) ข้าวที่นิยมปลูกมีทั้งข้าวพันธุ์ปรับปรุงขึ้นมาใหม่ (Improve rice) และข้าวพันธุ์พื้นเมือง (Landrace rice หรือ Native rice) หมายถึง ข้าวพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการปลูกอยู่ในท้องถิ่นตั้งแต่โบราณกาล แต่ไม่ทราบแน่ชัดว่าปลูกมาตั้งแต่เมื่อใด มีลักษณะเป็นพันธุ์แท้ (Pure line) มีความสามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูง แต่ละสายพันธุ์มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น ทนแล้ง ทนต่อโรคและแมลง เป็นต้น (Oupkaew et al., 2018) ทั้งนี้ Pamornkol (2013) ได้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าวพื้นเมืองในจังหวัดอุทัยธานี พบว่าลักษณะทางปริมาณมีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร โดยพบลักษณะที่มีความหลากหลาย คือ ความสูงต้น อายุวันออกดอก จำนวนต้นต่อกอ และน้ำหนักเมล็ดต่อกอที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ เช่น ข้าวสังข์หยด จังหวัดพัทลุง ข้าวเล็บนก จังหวัดปัตตานี และข้าวไข่มดริ้น (Khai Mod Rin, NSRC95001-1-3) จังหวัดนครศรีธรรมราชซึ่งเป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ และเป็นพันธุ์ข้าวเฉพาะถิ่นที่ได้รวบรวมจากจังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อ พ.ศ. 2538 ปรับปรุงพันธุ์โดยศูนย์วิจัยข้าวนครศรีธรรมราช นำมาคัดเลือกพันธุ์โดยปลูกคัดเลือกแบบรวงต่อแถว และคัดเลือกจากแถวที่ 3 ที่มีลักษณะสม่ำเสมอของพันธุ์และให้ผลผลิตสูง นำมาปลูกศึกษาพันธุ์ ประเมินลักษณะประจำพันธุ์ (Nooake et al., 2009) ได้รับความนิยมในการบริโภค มีลักษณะทางกายภาพของเมล็ดเป็นข้าวรูปร่างเมล็ดเรียว ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง 7.62 มิลลิเมตร สีขาวใสท้องไข่น้อย ข้าวสุกมีสีขาวมีลักษณะร่วนนุ่ม ปริมาณอะไมโลสปานกลางเท่ากับ 23.74 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะทรงต้นสูงทรงกอตั้ง เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง ปัจจุบันปัจจัยด้านการผลิตข้าวสูงขึ้น เนื่องจากปุ๋ยเคมีมีราคาสูงขึ้น และเมื่อใช้ในปริมาณมากและเป็นเวลานานจะส่งผลเสียต่อสมบัติหลายประการของดิน ประกอบกับกระแสความต้องการของผู้บริโภคที่หันมาใส่ใจสุขภาพโดยการบริโภคผลผลิตทางเกษตรที่ปลอดภัยหรือผลผลิตเกษตรอินทรีย์ เกษตรกรจึงหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการ

ปลูกพืช เช่น ปุ๋ยคอกซึ่งเป็นวัสดุที่ได้มาจากมูลสัตว์กินพืช ธาตุอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ทันทีไม่ได้ จำเป็นต้องผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก่อน และปุ๋ยพืชสด เช่น แหนแดง เป็นเฟิร์นน้ำขนาดเล็ก เจริญเติบโตโดยการลอยอยู่บนผิวน้ำ พบได้ในพื้นที่ในเขตร้อนและอบอุ่น แหนแดงมีคุณสมบัติเป็นทั้งปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยชีวภาพ มีแหล่งที่มาจากธรรมชาติ เนื่องจากในโพรงใต้ใบของแหนแดงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) อาศัยอยู่โดยดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับแหนแดงแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ (Kaewsuralikhit et al., 2018) เนื่องจากแหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง เป็นวัตถุดิบหาง่ายและต้นทุนต่ำ ช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลักในดิน และลดการเจริญเติบโตของวัชพืชในนาข้าวเป็นอย่างดี (Subedi & Shrestha, 2015) เมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่ามีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงเท่ากับ 4.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าพืชตระกูลถั่วซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อหว่านแหนแดงในนาพื้นที่ 1 ไร่ จะมีผลผลิตแหนแดง 3,000 กิโลกรัม เทียบได้กับปุ๋ยยูเรีย 7-10 กิโลกรัม ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าว ส่งเสริมให้เกิดการปรับปรุงสมบัติทางดินอย่างยั่งยืน (Akhtar et al., 2020) จากการศึกษาเกี่ยวกับแหนแดงที่ผ่านมาพบว่ามีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวตั้งแต่ พ.ศ. 2500 เป็นต้นมา ตั้งแต่ทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม และใช้ในอีกหลายประเทศ (Wagner, 1997) พบว่าองค์ประกอบในแหนแดงผันแปรตามพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่แหนแดงเจริญเติบโต ซึ่งมีรายงานว่าแหนแดงมีไนโตรเจนสูง 3-5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.16–1.59 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.31–5.97 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลข้างต้นทำให้มีการใช้แหนแดงเพื่อเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชและช่วยในการดูดซับโลหะหนัก เช่น ปรอท และโครเมียมได้อีกด้วย (Pantu et al., 2016) สำหรับการใช้มูลของปุ๋ยมูลแพะในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่มีมากในบริเวณที่ทำการศึกษา อีกทั้งปุ๋ยมูลแพะยังมีจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีประโยชน์กับพืช เมื่อแพะแต่ละตัวเมื่อขับถ่ายออกมาคิดเป็นปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 45 9 และ 9 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณนี้ถือว่าเพียงพอต่อการเกษตร (Detpiratmongkol et al., 2014) นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามหาทางแก้ปัญหาดินเสื่อมโทรมและลดต้นทุนการผลิต ตัวอย่างเช่น Zhao et al. (2016) ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีในข้าวในประเทศจีนที่มีพื้นที่ปลูกข้าว 9.5–13.5 ล้านเฮกตาร์ แต่ประสบปัญหาการเพิ่มขึ้นของการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว ซึ่งขัดแย้งกับกระแสการทำเกษตรแบบยั่งยืนพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว สูตรปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยมูลสุกร 6,000 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ให้ผลผลิตข้าวมากที่สุด และช่วยลดการใส่ปุ๋ยเคมี ปรับปรุงสมบัติและโครงสร้างดิน ช่วยให้จุลินทรีย์ในดินมีกิจกรรมได้ดี ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการใช้แหนแดง ปุ๋ยคอกมูลแพะ และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไข่มดริ้น เพื่อเป็นแนวทางในการแนะนำส่งเสริมให้แก่เกษตรกรปรับใช้ปุ๋ยเหล่านี้ต่อไป

## วิธีการ

### พื้นที่ดำเนินการวิจัย

ดำเนินการศึกษา โดยปลูกในกระถาง ณ โรงเรือนทดลอง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2565 -เดือนมีนาคม 2566

### การสำรวจและการเพิ่มปริมาณแหนแดง

จากการสำรวจแหนแดงที่พบในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อตรวจสอบชนิดของแหนแดง คือ สายพันธุ์ *Azolla pinnata* นำมาขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตของแหนแดงสดในท่อซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ในโรงเรือนทดลอง โดยให้มูลวัวที่เลี้ยงโดยชาวบ้านและเป็นวัวพื้นบ้านเป็นธาตุอาหารของแหนแดง ที่เก็บจากคอกของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลไชยมนตรี อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการใช้มูลวัว 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร สำหรับการเลี้ยงแหนแดง ดังแสดงในภาพที่ 1

**การทดสอบประสิทธิภาพของแหนแดง ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนที่ต่างกัน**

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) จำนวน 10 ซ้ำ มี 4 สิ่งการทดลอง ประกอบด้วย สิ่งทดลองที่ 1 ปลูกข้าวโดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 สิ่งทดลองที่ 2 ปลูกข้าวโดยใส่ปุ๋ยมูลแพะ สิ่งทดลองที่ 3 ปลูกข้าวโดยใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลแพะ อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก สิ่งทดลองที่ 4 ปลูกข้าวโดยใส่แหนแดงแห้งพันธุ์ท้องถิ่นปริมาณ 500 กรัมต่อกระถาง ปริมาณการใส่ปุ๋ยมูลแพะ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 0.06 กิโลกรัมต่อกระถาง และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1.58 กรัมต่อกระถาง

การคำนวณปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลแพะของกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.25 เมตร หรือรัศมีเท่ากับ 0.125 เมตร คำนวณได้จากสูตรการหาพื้นที่วงกลม = $\pi r^2$

ปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี = ($\pi r^2$) x ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่ x พื้นที่ 1 ไร่

= 3.14 x (0.125 เมตร)$^2$

= (0.05 ตารางเมตร x 50 กิโลกรัม)/1,600 ตารางเมตร

= 1.56 กรัมต่อกระถาง

ปริมาณการใส่ปุ๋ยมูลแพะ = ($\pi r^2$) x ปุ๋ยมูลแพะ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ x พื้นที่ 1 ไร่

= 3.14 x (0.125 เมตร)$^2$

= (0.05 ตารางเมตร x 2,000 กิโลกรัม)/1,600 ตารางเมตร

= 60 กรัมต่อกระถาง

**การเตรียมดินและการเพาะกล้าข้าวทั้งรวง**

การเตรียมดินสำหรับการเพาะข้าวในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์ 10 นิ้ว และความลึก 7.5 นิ้ว ที่ใส่ดินนาโดยการสุ่มดินตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดินมาจากพื้นที่นาข้าวของเกษตรกรของอำเภอปากพนังขนาดพื้นที่ 1 ไร่ ข้าวเป็นพืชรากสั้น สุ่มเก็บกระจายทั่วแปลงจำนวน 20 จุด ซึ่งเก็บที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร นำดินใส่กระถางและใส่น้ำ นวดดินจนเป็นเนื้อเดียวกัน แยกสิ่งเจือปนออก ปริมาณดินที่เตรียมสำหรับการเพาะข้าว 75 เปอร์เซ็นต์ของความสูงกระถาง (ภาพที่ 2) เพาะกล้าข้าวโดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวไข่มดริ้นที่พ้นระยะการพักตัว (อายุเมล็ดพันธุ์หลังเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ จากแปลงเกษตรกรอำเภอปากพนัง นครศรีธรรมราช) โดยใช้วิธีเพาะทั้งรวงเนื่องด้วยการเก็บข้าวของเกษตรกรภาคใต้นิยมเก็บกับแกะและเก็บเป็นรวง ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถป้องกันการปนเปื้อนของพันธุ์ ซึ่งมีวิธีการเพาะเมล็ดคล้ายกับการทำนาแบบหว่านน้ำตม เมล็ดข้าวที่ใช้ปลูกได้ผ่านการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และนำไปบ่มให้รากงอก 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเพาะในกระถางที่เตรียมดินไว้ ดังภาพที่ 3 หลังจากเพาะเมล็ด 15 วัน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ตามสิ่งทดลองที่กำหนด และเมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน เลือกต้นกล้าที่สมบูรณ์ย้ายปลูกในกระถางที่เตรียมดินเช่นเดียวกับขั้นตอนการเพาะเมล็ด ปลูก 1 ต้นต่อกระถาง (กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เมตร) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หลังจากปักดำ 20 วัน และครั้งที่ 3 ระยะข้าวตั้งท้อง ดังภาพที่ 3

(ก) (ข)

**ภาพที่ 1** การขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตแหนแดงสด (ก) ในท่อซีเมนต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร และแหนแดงสด (ข)

**การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต**

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต ตามแบบบันทึก Descriptors for Rice ของ Inter Rice Research Unit; IRRI (1985) โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

ข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงของลำต้นโดยวัดที่ต้นหลัก ในระยะออกรวงแล้ว 20-25 วัน (ข้าวอายุ 90-100 วันหลังปักดำ) โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายใบธง จำนวนหน่อต่อกอ โดยนับในระยะแตกกอสูงสุดหลังจากปักดำ 60 วัน และจำนวนรวงต่อกอโดยนับจำนวนรวงในวันเก็บเกี่ยว โดยเก็บข้อมูลต้นข้าวทุกต้น

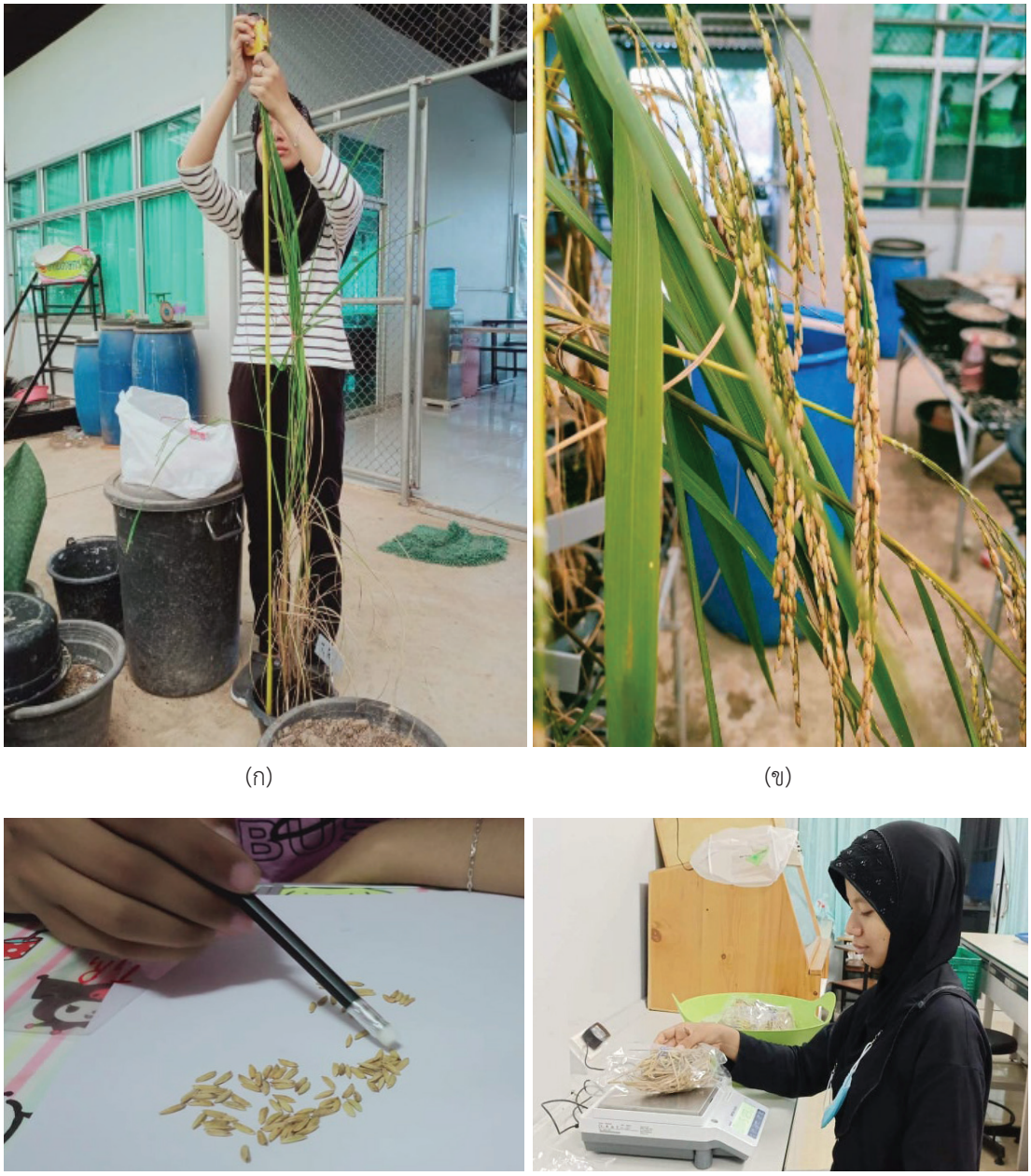
ข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต เก็บในระยะที่ข้าวมีการสุกแก่ทางสรีรวิทยา ได้แก่ จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อกอ โดยวิธีนับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบในรวง หาค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนเมล็ดต่อกอ จำนวนเมล็ดดีทั้งหมดต่อกอ จำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อกอ น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ดได้จากการสุ่มเมล็ดข้าวเต็มเมล็ด 100 เมล็ดของต้นข้าวแต่ละกอ นำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ข้อมูลน้ำหนักเมล็ดต่อกอ โดยเก็บข้อมูลต้นข้าวทุกต้น ดังแสดงในภาพที่ 4

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยนำข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Tool for Agricultural Research (STAR)

**ภาพที่ 2** การเตรียมดินสำหรับเพาะข้าวและการปลูกข้าว

(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 3** การเพาะเมล็ดโดยทั้งรวง (ก) ต้นกล้าข้าวอายุ 15 วัน (ข) และการให้สิ่งทดลองระยะข้าวตั้งท้อง (ค)



(ก) (ข)

(ค) (ง)

**ภาพที่ 5** การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต กาวัดความสูง (ก) ลักษณะรวง (ข) การนับเมล็ด (ค) การชั่งน้ำหนักเมล็ด (ง)

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวไข่มดริ้นพบว่าลักษณะความสูงของลำต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสูงเฉลี่ย 125.53 เซนติเมตร ขณะที่การใช้แหนแดงมีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุด 130.77 เซนติเมตร และการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีความสูงเฉลี่ยต้นต่ำสุดเท่ากับ 120.67 เซนติเมตร (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการทดลองของ Pongphusuwimon (2023) พบว่าปุ๋ยหมักจากแหนแดงทำให้ต้นผักสลัดกรีนคอสมีความยาวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยหมักจากต้นกล้วยและผักไชยา เนื่องจากแหนแดงมีคุณสมบัติเป็นทั้งปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยชีวภาพ ในใบของแหนแดงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตได้เร็วและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง สำหรับลักษณะจำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนักแห้งต้นต่อกอของข้าวไข่มดริ้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยพบว่าลักษณะจำนวนหน่อต่อกอ การใส่ปุ๋ยมูลแพะ และการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยจำนวนหน่อต่อกอสูงสุดจำนวน 11.33 หน่อต่อกอ

ลักษณะจำนวนรวงต่อกอ พบว่าปุ๋ยมูลแพะและการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ย 9.83 และ 8.17 รวงต่อกอ ตามลำดับ และน้ำหนักต้นแห้งเมื่อใส่ปุ๋ยในปริมาณและชนิดที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และแหนแดงมีค่าเฉลี่ย 40.1 และ 35.37 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น มีลักษณะต้นสูง ไวต่อช่วงแสง และให้ผลผลิตต่ำ ปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มความสูงและผลผลิตข้าวพื้นเมืองได้เพียงเล็กน้อย การให้ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปในข้าวพันธุ์พื้นเมืองสามารถทำให้เกิดการหายใจเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ใบข้าวมีอัตราการสังเคราะห์แสงเท่าเดิม และเมื่อเข้าสู่ระยะการแตกกอที่มีผลต่อความสูงของต้นทำให้เกิดการหักล้มของข้าวได้ (Muhammad et al.,.2020) ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกข้าวพื้นเมืองควรใส่ในอัตราที่เหมาะสม หรือใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผสมในการปลูกข้าว การใช้แหนแดงก่อนและหลังการปักดำโดยไม่ใช้ปุ๋ยเคมี และใช้แหนแดงก่อนและหลังการปักดำร่วมกับใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16-20-0และ 46-0-0) ให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อต้นข้าวได้รับปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอและสม่ำเสมอโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก หรือการใช้ร่วมกันระหว่างปุ๋ยคอกกับปุ๋ยเคมี ซึ่งจะทำให้มีการเจริญเติบโตดี ตั้งแต่ระยะปักดำถึงแตกกอสูงสุด ทำให้มีจำนวนหน่อต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอเพิ่มมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ต้องอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ (Nilawonk, 2020) โดย Yang et al. (2004) ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยที่มีอิทธิพลต่อระบบรากของต้นข้าว พบว่าแปลงที่ได้รับปุ๋ยคอกส่งผลให้รากต้นข้าวมีความยาวและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 30-40 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ผลการศึกษาลักษณะองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไข่มดริ้นพบว่าจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อกอ จำนวนเมล็ดดีทั้งหมดต่อกอ น้ำหนัก 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อกอของข้าวไข่มดริ้นพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยลักษณะจำนวนเมล็ดทั้งหมดพบว่าการใส่ปุ๋ยมูลแพะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 944.17 เมล็ดต่อกอ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 345.17 เมล็ดต่อกอ สำหรับลักษณะจำนวนเมล็ดดีทั้งหมดต่อกอ พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลแพะและปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ย 696 และ 514 เมล็ดต่อกอ ตามลำดับ น้ำหนัก 100 เมล็ด พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลแพะมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 1.97 กรัม และน้ำหนักเมล็ดต่อกอพบว่าการใส่ปุ๋ยมูลแพะและปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ย 18.59 และ 14.43 กรัม ตามลำดับ และจำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดของข้าวไข่มดริ้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยมูลแพะมีจำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อกอเฉลี่ยสูงสุด 248.17 (ตารางที่ 2) ผลผลิตของข้าวไข่มดริ้นที่ทำการเก็บในระยะที่ข้าวมีการสุกแก่ทางสรีรวิทยาหลังจากข้าวแตกกอสูงสุดจะเข้าสู่ระยะสืบพันธุ์ ต้นข้าวจะใช้ธาตุอาหารในการสร้างช่อดอก รวงอ่อนเพื่อเพิ่มจำนวนเมล็ด

ต่อรวง และน้ำหนักเมล็ด ระยะนี้ต้นข้าวจะหยุดการเจริญเติบโตทางลำต้น แต่จะมีการสะสมแป้ง (คาร์โบไฮเดรต) ซึ่งมีความสำคัญต่อการผลิตเมล็ด ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 มีธาตุอาหารที่จำเป็นไม่เพียงพอต่อการสร้างรวงอ่อนและการเติมเมล็ดของข้าว (Pulltem et al., 2017) นอกจากนี้ความแตกต่างของผลผลิตยังขึ้นอยู่กับการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นที่ต่างกัน (Frankel et al., 1995)

ผลการศึกษานี้พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลแพะ และปุ๋ยมูลแพะผสมปุ๋ยเคมีในการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ไข่มดริ้นเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมูลแพะมีศักยภาพในการเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วยธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (Kamolmanit et al., 2021) จึงสามารถใช้ปุ๋ยมูลแพะในการปลูกข้าวไข่มดริ้นได้ ซึ่งอินทรียวัตถุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของปุ๋ยมูลแพะ มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินทางกายภาพ โครงสร้างดิน ความร่วนซุย การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ การดูดซับน้ำ และธาตุอาหารของดิน ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนปุ๋ยเคมี เป็นทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับการเกษตรที่ยั่งยืน (Putra et al., 2010) ดังนั้นการปลูกข้าวโดยใช้การผสมมูลแพะ และแหนแดงซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีอยู่ในพื้นที่และมีศักยภาพที่จะใช้แทนปุ๋ยเคมี เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะส่งผลให้เกิดการปลูกข้าวอย่างยั่งยืนและลดต้นทุนการผลิต

**ตารางที่ 1** ผลของการใช้ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ต่อลักษณะความสูง จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนักแห้งต้นต่อกอของข้าวไข่มดริ้น

| สิ่งทดลอง | ความสูง (เซนติเมตร) | จำนวนหน่อต่อกอ | จำนวนรวงต่อกอ | น้ำหนักแห้งต้นต่อกอ (กรัม) |
|---|---|---|---|---|
| ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 | 120.67 | 4.67[b] | 3.17[b] | 19.86[b] |
| ปุ๋ยมูลแพะ | 124.00 | 11.33[a] | 9.83[a] | 40.10[a] |
| ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะ (1: 1, w/w) | 126.67 | 11.33[a] | 8.17[a] | 35.37[a] |
| แหนแดง | 130.77 | 4.64[b] | 3.86[b] | 28.36[b] |
| Mean | 125.53 | 7.99 | 6.26 | 30.92 |
| F-test | ns | ** | ** | ** |
| CV% | 6.37 | 25.42 | 25.75 | 16.02 |

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

**ตารางที่ 2** ผลของการใช้ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ต่อจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อกอ จำนวนเมล็ดดีทั้งหมดต่อกอ จำนวนเมล็ดลีบทั้งหมดต่อกอ น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อกอของข้าวไข่มดริ้น

| สิ่งทดลอง | จน.เมล็ดทั้งหมดต่อกอ | จน.เมล็ดดีทั้งหมดต่อกอ | จน.เมล็ดลีบทั้งหมดต่อกอ | น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) | น้ำหนักเมล็ดต่อกอ (กรัม) |
|---|---|---|---|---|---|
| ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 | 345.17[c] | 125.17[b] | 220.00 | 1.35[b] | 4.65[c] |
| ปุ๋ยมูลแพะ | 944.17[a] | 696.00[a] | 248.17 | 1.97[a] | 18.59[a] |
| ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลแพะ (1: 1, w/w) | 736.50[ab] | 513.50[a] | 223.00 | 1.96[a] | 14.43[a] |
| แหนแดง | 484.38[bc] | 299.30[b] | 185.06 | 1.73[a] | 8.34[b] |
| Mean | 627.55 | 408.49 | 219.06 | 17.5 | 11.50 |
| F-test | ** | ** | ns | ** | ** |
| CV% | 37.75 | 40.07 | 49.03 | 15.99 | 19.62 |

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ** = มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

## สรุป

จากการศึกษาผลของการใช้แหนแดง ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ไข่มดริ้น พบว่าการใช้แหนแดงทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตในลักษณะความสูงมากที่สุด สำหรับน้ำหนักเมล็ดต่อกอ พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลแพะ 100 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเมล็ดต่อกอสูงสุด คือ 18.59 กรัม สำหรับการใช้ปุ๋ยในการปลูกข้าวควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องและมีการเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช เพื่อให้การใส่ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นการลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีเนื่องจากมีราคาสูง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สำหรับสถานที่ในการปลูกและศึกษาในครั้งนี้

**เอกสารอ้างอิง**

Akhtar, M., Sarwar, N., Ashraf, A., Ejaz, A., Ali, S. & Rizwan, M. (2020). Beneficial role of *Azolla sp.* in paddy soils and their use as bio remediators in polluted aqueous environments: implications and future perspectives. **Archives of Agronomy and Soil Science, 67**(9), 1–14.

Detpiratmongkol, S., Ubolkerd, T. & Yoosukyingstaporn, S. (2014). Effects of Chicken Pig and cow manures on growth and yield of Kalmegh *(Andrographis paniculata* ees). **Journal of Agricultural Technology, 10**(2), 475-482.

Kamolmanit, B. & Lawongsa, P. (2021). Influence of goat manure biochar compost on soil organic carbon accumulation and aggregate formation. **Khon Kaen Agricultural Journal, 49**(5), 1194-1204. (In Thai)

Kaewsuralikhit, S., Thongra-ar, P., Chatchaisiri, K. & Saradhuldhat, P. (2018). **Effect of dry azolla *(Azolla microphylla*) on growth of Pak Choi (*Brassica chinensis*).** In Proceedings of the 17th National Horticultural Congress 2018: To the new frontiers of horticulture, November 19-21, 2018 (332-337). Chiang Mai, Chiang Mai University. (In Thai)

Frankel, O. H., Brown, A. D. H. & Burdon, J. J. (1995). **The Conversation of Plant Biodiversity.** Cambridge: Cambridge University Press.

International Rice Research Unit. (1985). **Annual report. International Rice Research Institute.** Los Baños, Laguna, Philippines.

Muhammad, A., Hao, H., Xue, Y., Alam, A., Ba,i S., Hu, W., Sajid, M., Hu, Z., Abdu,l R., Li, Z., Liu, P., Gong, Z. & Wang, L. (2020). Survey of wheat straw stem characteristics for enhanced resistance to lodging. **Cellulose, 27**(5), 2469–2484.

Nilawonk, W. (2020). Influence of organic fertilizers and bio-extracts on the change of some soil properties and vegetable yields. **Khon Kaen Agriculture Journal, 48**(3), 639-650. (In Thai)

Nooake, S., Posiri, W., Saeton, S., Ratanasamnieng, R., Panitcmkit, R., Boonyanupong, U., Preecha, R., Sengsim, P. & Rammanee, Y. (2009). **Khai Mod Rin (NSRC95001-1-3) local rice for Muang Nakhon.** In Rice Department (Ed.), Proceedings of rice and temperate cereal crops annual conference 2009, June 9-11, 2009 (58-65) Bangkok: Rice Department, Bureau of Rice Research and Development. (In Thai)

Office of Agricultural Economics. (2023). **Percentage and amount of monthly planted area by region and per province, planting year 2022/23.** Retrieved from http://www2.oae.go.th/statistic/yearbook 65/crops/01_majorice66.xls [2023, 25 Mar.]

Oupkaew, P., Chankhangram, R., Charoensuk, R. & Chamchod, S. (2018). **The conservation and Increase Value of local rice in provinces regions border with Cambodia** (Report). Faculty of Agricultural Technology Burapha University Sa Kaeo Campus, Burapha University. (In Thai)

Pamornkol, U. (2013). **Diversity of native rice varieties in Uthai Thani Province** (Report). Faculty of Agricultural Technology Burapha University Sa Kaeo Campus, Burapha University. (In Thai)

Pantu, M., Kaewsuralikhit, S, Sanoh, S, Dhanaraks, K, Prasertsak, P., Thongsodsaeng, C., Duangwichian, C. & Champathong, K. (2016). Effect of using azolla (*Azolla microphylla*) in combination with nitrogen fertilizer on growth and nutrient content in leaf of oil palm. **Thai Agricultural Research Journal (Thailand), 34**(3), 286-298. (In Thai)

Pongphusuwimon, C. (2023). **A Comparative Study of the Use of Banana Plant Material, Azolla, and Chaya for Composting on the Growth of Green Cos Lettuce** (Report). The Office of the National Agricultural Museum in Honor of His Majesty the King (Public Organization). (In Thai)

Pulltem, S., Seanjumnai, S., Jieopuang, K., Chaichana, N. & Pakoktom, T. (2017). Effects of fertilizers rate and type on growth and yield of Japonica rice. **Khon Kaen Agriculture Journal, 45**(1), 176-181. (In Thai)

Putra, R C., Hidayah, S N. & Purwanto, B H. (2018). Influence of goat manure and Azolla on soil properties, nitrogen use efficiency, growth and yield of organic rice farming in Indonesia. **Earth and Environmental Science, 215**(1), 010-012.

Subedi, P. & Shrestha, J. (2015). Improving soil fertility through Azolla application in low land rice: A review. **Azarian Journal of Agriculture, 2**(2), 35-39.

Wagner, G.M. (1997). Azolla: A Review of Its biology and utilization. **The Botanical Review, 63**(1), 1–26.

Yang, C., Yang, L., Yang, Y. & Ouyang, Z. (2004). Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. **Agricultural Water Management**, **70**(1), 67-81.

Zhao, J., Ni, T., Li, J., Lu, Q., Fang, Z., Huang, Q., Zhung, R., Li, R., Shen, B. & Shen, Q. (2016). Effects of organic-inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice-wheat cropping system. **Applied Soil Ecology, 99**, 1-12.

# EFFECTS OF ENCAPSULATION SUBSTANCES ON DRYING OF GAC FRUIT: PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND STORAGE STABILITY

Suchada Maisont [1], Wisutthana Samutsri[1*] and Thongchai Putthongsiri[2]
[1]Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220
[2]Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

*E-mail: wisutthana@pnru.ac.th

*Received: 2024-11-18*
*Revised: 2024-12-16*
*Accepted: 2024-12-17*

## ABSTRACT

This research aimed to identify suitable encapsulation materials for producing Gac fruit powder using the tray drying technique and to assess changes during storage at different temperatures. The encapsulating substances investigated included 20% Maltodextrin, 1% Tween80, a combination of 20% Maltodextrin and 1% Tween80, and a mixture of 2% Gelatin and 1% Carboxymethyl cellulose (w/w). Drying was performed at 60°C until the moisture content reached 10%. The encapsulated Gac fruit powder was analyzed for moisture content, water activity, encapsulation yield, color values (L*, a*, b*), bulk density, solubility, β-carotene, lycopene contents, and structural characteristics using scanning electron microscopy (SEM). The combination of 20% Maltodextrin and 1% Tween80 demonstrated superior characteristics in terms of overall powder yield and solubility, suggesting its effectiveness as a primary encapsulation matrix. Conversely, when assessing the preservation of bioactive compounds, 1% Tween80 and a complex mixture of 2% Gelatin combined with 1% Carboxymethyl cellulose showed notable efficacy. Storage tests in vacuum aluminum foil bags at 4°C, 30°C, and 40°C revealed that the encapsulated Gac fruit powder could be stored for over 8 weeks under all conditions. However, significant changes were observed over time, including an increase in color difference (ΔE) and a decrease in lycopene and β-carotene contents with higher temperatures and extended storage time. Thus, storing Gac fruit powder in vacuum-sealed packaging at low temperatures is recommended to minimize the loss of these nutrients and gradual physical changes.

**Keywords:** Gac fruit, Drying, Encapsulation, Physicochemical properties, Storage stability

## Introduction

Gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng), referred to as Fak-Khao in Thai, is indigenous to Southern Asia, encompassing regions such as Vietnam, India, Bangladesh, China, Myanmar, Malaysia, Laos, and Thailand. In Thailand, Gac fruit is traditionally consumed in its raw form. Upon ripening, the fruit's dark red seed aril is utilized in the preparation of beverages, food items, desserts, and cosmetics. Renowned for its health benefits, Gac fruit is a staple in the production of nutritionally rich foods. It is particularly noted for its high concentrations of β-carotene and lycopene, surpassing those found in many other fruits and vegetables. Extensive research indicates that these compounds can mitigate disease risks and promote overall health (Tinrat et al., 2014; Abdulqader et al., 2019; Wimalasiri et al., 2020; Darapong et al., 2023; Munsuk et al., 2024). Moreover, Gac fruit is abundant in essential fatty acids, which facilitate the absorption of lycopene and β-carotene. The concentration of these beneficial substances peaks when the fruit reaches full maturity, with the seed aril transitioning from red-orange to dark red. However, post-harvest, the levels of these compounds diminish, and fresh Gac fruit exhibits a short shelf life (Bhumsaidon & Chamchong, 2016). To prolong shelf life and add value to agricultural products like Gac fruit, processing is imperative. The choice of processing technique is dictated by the nature of the raw materials and the intended final product.

Drying is a prevalent method in food processing, enhancing both the physical and biological stability of products by reducing moisture content. This reduction facilitates easier storage and integration as an ingredient in other food products. Various drying methods, such as hot air drying, spray drying, and freeze drying, each present unique advantages and limitations (Baeza & Chirife, 2021). Mai et al. (2013) demonstrated that optimal drying temperatures (50°C to 60°C) preserve color, carotenoid content, and antioxidant activity, maintaining a moisture content of 15% to 18%, which promotes quality and extends refrigerated storage life. This study adopts the hot air-drying technique due to its straightforwardness, convenience, and cost-effectiveness, presenting an opportunity to incorporate Gac fruit into the food industry as a natural alternative to synthetic food coloring while enhancing nutritional and therapeutic benefits. However, the high instability, poor water solubility, and sensitivity of β-carotene and lycopene to light, temperature, and humidity pose challenges in processing and storing Gac fruit powder. Encapsulation technology offers a viable solution, enhancing the stability, solubility, and protection of various important substances in food applications, it also improves efficiency during the drying process. Maltodextrin, although limited in emulsifying properties, serves as a common encapsulating agent, improving texture and water solubility. Carboxymethyl cellulose, a cellulose-derived hydrocolloid, acts as a thickener, stabilizer, and emulsifier, while Tween80 facilitates stable emulsions. Combined, these agents prevent clumping in powdered foods

(Vuong & King, 2003). This research aims to investigate the encapsulation of key substances in Gac fruit through hot air drying at 60°C. This study focuses on the types and ratios of four encapsulating agents: maltodextrin, CMC, gelatin, and Tween80, and analyzes the physicochemical properties and changes in Gac fruit powder during storage.

## Materials and Methods

### 1. Materials

Gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) was purchased from Uncle Choey's farm in Chachoengsao province, Thailand. The gac fruit cultivated in Thailand does not have a clearly defined cultivar name. Based on studies, it is a hybrid between a Vietnamese cultivar and a local Thai variety. Maltodextrin with a Dextose equivalence value of 10-15, Tween80, gelatin, and carboxymethyl cellulose (CMC) were purchased from Adinop Company Ltd, Thailand. In this work, all chemical uses are food grade.

### 2. Preparation of Gac fruit

Mature fresh Gac fruit was chopped into two parts. In our experiments, we used only seed membrane by separating of seed aril from the Gac fruit, it was then added with 20 ml of water and blended in the kitchen aid (Artisan model, Hobart Company, USA) for 6 min to separate the seed from the aril by sieve. The homogenized seedless aril was placed in a plastic box and kept at -20°C for further studies and drying. Proximate analysis, Lycopene and β-carotene contents and L*, a*, b* of fresh Gac fruit were studied.

### 3. Drying of Gac fruit

Encapsulation is a technique that aids in drying agricultural produce by removing moisture, which is crucial for preserving quality and extending shelf life. This method involves applying protective coatings to create a barrier that minimizes the loss of essential nutrients and compounds during drying. Maltodextrin of 20%, Tween80 of 1%, a mixture of Maltodextrin of 20% and Tween80 of 1% and a mixture of Gelatin of 2% and Carboxymethyl cellulose of 1%, (w/w) were prepared and denoted as MD, T80, MD:T80, and GL:CMC, respectively. The Gac fruit was mixed with the carriers using a KitchenAid mixer on speed level 6 for 5 min. Then, pour the mixture into an aluminum tray lined with a plastic sheet, using 300 g per tray. Place the tray in the tray dryer (Kluay Nam Thai Co,Ltd.,Thailand) at a temperature of 60°C until the moisture content decreases to less than 10%. The moisture content does not exceed the standard criteria for dry food products, which is 15% or less, according to the Notification of the Ministry of Public Health No. 193 (Ministry of Public Health, 2000). Finally, store the powder in aluminum foil bags at room temperature (30±2°C) for further study.

**4. Chemical properties analysis**

4.1 Proximate analysis

The proximate composition of the fresh Gac fruit sample as follows: moisture (925.10), ash, (923.03) protein(960.52), fat(920.39), crude fibre (962.09) and carbohydrate (Calculated by difference), was determined (AOAC, 2000).

4.2 pH measurement

The pH of the fresh Gac fruit paste was determined by a digital pH meter (Model Denver instrument UB-10 (ultra-Basic, U.S.A)). A sufficient 50 mL of the sample was taken in a 100 mL beaker and pH was recorded by the pH meter (AOAC, 2000).

4.3 Total soluble solid measurement

The total soluble solids in the fresh Gac fruit sample and the Gac fruit powers were directly recorded by Abbe's stagehand refractometer (Model N-1E0-25 °Brix ATAGO, Japan) and the results were expressed as percent of soluble solids (°Brix)

4.4 Water activity measurement

The water activity ($a_w$) was measured using a water activity meter (Aqua Lab, Series 3 WA, U.S.A). Water activity represents the ratio of the water vapor pressure of the food to the water vapor pressure of the pure water under the same conditions and is expressed as a fraction. The water activity scale extends from 0.0 (dry matter) to 1.0 (pure water). Approximation $2_g$ of ground Gac fruit powder was placed in the water activity tray and $a_w$ was recorded.

**5. Physical properties analysis**

5.1 Yield measurement

The yield was expressed as a percentage of the mass of the final product compared to the total amount of the dried materials.

5.2 Color measurement

The color of the fresh Gac fruit paste and the Gac fruit powers were measured using a colorimeter (Minolta, model CR-10, Japan) in CIE chromaticity coordinates L*, a*, and b*, where L* describing lightness on a scale of 0-100 (where 0 = black and 100 = white), a* describing intensity in red-green axis (positive a* values indicate red undertone, negative a* values indicate green undertone), and b* describing intensity in yellow-blue axis (positive b* values mean yellow undertone, negative b* values mean blue undertone). Sample color was evaluated in triplicates (Maisont et al., 2022). The total color difference or change (ΔE) during storage was calculated by the following formula.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

where $L^*_0$, $a^*_0$ and $b^*_0$ are the values of the samples at zero time, and L*, a* and b* are the measured values of each sample after processing or reconstitution.

5.3 Bulk density and solubility measurement

The bulk density was analyzed by following the method described by Goula et al. (2004). The water solubility index (WSI) was measured (Vidović et al., 2014).

**6. lycopene and β-carotene analysis**

The lycopene and β-carotene contents in the fresh Gac fruit and the Gac fruit powers were analyzed. The concentration of lycopene in a hexane extract was determined by measuring the absorbance of the solution at 503 nm, while the carotenoid measurement was taken at a wavelength of 471 nm (Anthon & Barrett, 2007).

**7. Structural morphology analysis**

Scanning electron microscope (SEM: JEOL, JSM-IT300) was used to observe structural morphology within the Gac fruit powders. The voltage used in this experiment was 15 kV, with a magnification of 1000x applied. The Gac fruit powder was prepared by defatting it with petroleum ether for 12 hours, followed by a gold coating. This preparation allowed for clear images to be obtained during the SEM monitoring.

**8. Shelf-life study**

Analysis of the shelf life of the chosen Gac fruit powder was carried out once in two weeks for eight weeks. The samples were packed in laminated aluminum foil bags and stored in three controlled conditions at temperatures of 4, 30, and 40°C, respectively. Storage stability or the shelf-life of products could be defined as the maintenance of the characteristics of power associated with nutraceutical content. Thus, the properties of the final product related to the lycopene, and β-carotene contents change, including color, moisture content, $a_w$ and solubility were observed.

**9. Statistical analysis**

The Gac fruit powder was prepared in three separate batches; mean values and standard deviations were calculated, and all results were expressed as mean±SD using a Completely Randomized Design (CRD) trial plan. Analysis of variance (one-way ANOVA) was carried out using SPSS (IBM SPSS statistics version 16). Duncan's new multiple range test was used to find out the statistically significant differences in mean values between treatments at the level of $p \leq 0.05$.

## Results and Discussions

### 1. Properties of fresh Gac fruit

The initial moisture content of fresh Gac fruit was found to be 83.45% (wet basis, wb), and 0.72% protein, 3.69% fat, 5.38% fiber, and 6.28% carbohydrate contents (db). The moisture content of fresh Gac fruit was consistent with the findings of Dien et al. (2013). Their analysis on a dry basis revealed that Gac fruit contains 94% moisture content Additionally, the contents of lycopene and β-carotene were reported to be in the ranges of 18.95 to 50.11 mg/100g and 22.68 to 39.16 mg/100g, respectively (Dien et al., 2013). Our findings indicated that the Gac fruit seed aril had a brightness (L*) of 32.85, a redness (a*) of 25.21, and a yellowness (b*) of 19.74. These results are consistent with the experiments conducted by Bhumsaidon and Chamchong (2016). Our analysis of the Gac fruit seed showed different contents for protein, fat, fiber, and carbohydrates compared to other studies, which may be due to differences in species and cultivation area of the Gac fruit at different ageing and maturity stages, as well as analytical methods.

### 2. Physicochemical properties of Gac fruit powder

Drying gac fruit requires beneficial substances to preserve its nutritional properties and address the challenge of extending the shelf life of gac during periods of high production when immediate sale is not feasible. However, if the extraction of these substances is required before encapsulation, it could result in significantly increased costs. We focus on encapsulation technology, which improves the protection of various important substances during the drying process in food applications.

2.1 Yield, moisture content and water activity of Gac fruit powder

Table 1 shows the yield, moisture and free water content of the Gac fruit seed aril with different drying agents dried by a tray dryer at 60°C for approximately 15 h. The yield of Gac fruit powders were 30.13, 12.64, 31.86, and 13.46%, for maltodextrin (MD), Tween80 (T80), maltodextrin: Tween80 (MD:T80), and Gelatin: Carboxy methyl cellulose (GL:CMC), respectively. The yield of Gac fruit seed aril powder treated with MD and the use of maltodextrin per tween80 (MD:T80) gave slightly different yields; T80, gives the lowest yield. Since MD is a high $T_g$ substance, it can be used to increase product stability (Asma et al., 2014; Chottanom et al., 2020) where $T_g$ or glass transition temperature is the temperature at which macromolecular polymers change from glass (solid) to rubber (viscous liquid). Therefore, if any product is at a temperature lower than $T_g$, there will be a brittle solid state. T80 is an encapsulation agent belonging to the group of emulsions. It facilitates easy mixing and drying processes, like the substances found in Gac. Additionally, T80 helps reduce

drying time, which can lead to a slight yield increase when combined with other agents. However, when T80 is used alone, the yield is low because the final dry product has less yield. Asma et al. (2014) reported that adding CMC reduced the $T_g$ of GL. According to Bopitsuwan & Rojanakorn (2017), the $T_g$ of MD was approximately 76.76°C, subsequently, it raised the $T_g$ of the Gac fruit seed aril product mixture. This is due to the reduced absorption of atmospheric water vapor by MD, which causes the product to dry quickly. In addition, MD is a substance with a significant molecular weight and a large particle size. It has a small overall surface area per weight. Resulting in the low binding force between particles that causes decreased adhesion. Gac fruit seed aril powder, with MD as a drying agent, has a high yield (Bopitsuwan & Rojanakorn, 2017).

**Table 1** Yield, moisture content and water activity ($a_w$) of Gac fruit powder

| Drying agents | Content (%) | Yield (%) | Moisture content (%) | Water activity ($a_w$) |
|---|---|---|---|---|
| MD | 20 | $30.13^{b}$±0.15 | $5.05^{c}$±0.18 | $0.34^{b}$±0.00 |
| T80 | 1 | $12.64^{c}$±0.58 | $6.75^{b}$±0.22 | $0.26^{d}$±0.01 |
| MD:T80 | 20:1 | $31.86^{a}$±0.92 | $4.43^{d}$±0.07 | $0.31^{c}$±0.00 |
| GL:CMC | 2:1 | $13.46^{c}$±0.02 | $8.16^{a}$±0.15 | $0.42^{a}$±0.00 |

[abc]Mean±standard deviation values in the same column for each zone followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

[ns]Mean±standard deviation values in the same column for each zone followed by different letters are non-significantly different ($p \leq 0.05$).

The moisture content mean values were 5.05, 6.75, 4.43, and 8.16 %, for the powder containing MD, T80, MD:T80, and GL:CMC, respectively, as shown in Table 1. There was a statistical difference ($p \leq 0.05$). Using GL:CMC as a drying agent had the highest moisture followed by T80, MD, and MD : T80, respectively. The difference in residual moisture in Gac fruit powder depends on its ability to bind water to drying agents of different properties especially MD with high $T_g$ value, resulting in good drying performance with low product moisture content (Asma et al., 2014; Chottanom et al., 2020).

The free water content of the powdered gac fruit seed aril dried by a tray dryer had a trend of change consistent with the moisture content. According to Table 1, the free water content of Gac fruit powder is between 0.26-0.42, which is in the criteria specified by the dry food products. The free water content must be less than 0.6 (Jay, 1998).

2.2 Color of Gac fruit powder

The color of the dried products is an important quality factor, which reflects the sensory attractiveness, and the quality of the powders (Çalışkan et al., 2015) Thus, the color of the processed products should ideally remain unchanged after drying. The variation of color value for Gac fruit powder samples depends on the drying agents contained as shown in Table 2. The L*, a*, b*, and delta E values of Gac fruit powder containing other carriers were significantly different ($p \leq 0.05$).

**Table 2** L*, a*, b* and ΔE of Gac fruit powder

| Drying agents | Content (%) | L* | a* | b* | ΔE |
|---|---|---|---|---|---|
| MD | 20 | $49.82^{a}\pm0.69$ | $27.11^{b}\pm0.60$ | $36.15^{b}\pm0.46$ | $2091.59^{b}\pm1.71$ |
| T80 | 1 | $41.33^{b}\pm0.60$ | $25.58^{c}\pm0.43$ | $27.04^{c}\pm1.01$ | $1426.83^{d}\pm0.96$ |
| MD:T80 | 20:1 | $50.16^{a}\pm1.11$ | $24.76^{d}\pm0.28$ | $38.52^{a}\pm1.35$ | $2147.00^{a}\pm2.00$ |
| GL:CMC | 2:1 | $41.24^{b}\pm0.73$ | $36.58^{a}\pm0.34$ | $25.46^{d}\pm0.59$ | $2027.55^{c}\pm1.60$ |

$^{abc}$Mean±standard deviation values in the same column for each zone followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

ΔE of fresh Gac fruit = 1058.06

The mean L* values were 49.82, 41.33, 50.16, and 41.24 for the powder containing maltodextrin (MD), Tween80 (T80), Maltodextrin: Tween80 (MD:T80), and Gelatin: Carboxy methyl cellulose (GL:CMC), respectively, as shown in Table 2. Gac fruit Powder treated with MD and MD:T80 had the highest values, which were not significantly different ($p>0.05$). The dried Gac fruit powder with MD:T80 as a carrier, was the most likely bright yellow-red color product, followed by the Gac fruit powder containing MD, T80, and GL:CMC, respectively. This corresponds with the findings of Tkacz et al. (2020), which showed that the addition of MD increased the brightness of Sea buckthorn powder. Furthermore, Tkacz et al. (2020) noted that the addition of MD also increases the brightness of raspberry powder, orange powder, and mango powder. This improvement in brightness may result from a combination of substances present in the juice and the drying agent, which leads to the release of compounds that undergo further reactions. Generally, higher brightness (L* values) is associated with lower redness.

The a* value indicated the reddish color of Gac fruit powder using GL:CMC was the highest (Table 2). The redness of the Gac fruit powder was different ($p \leq 0.05$). The b* values, where positive values indicate yellowness, had mean values of 36.15, 27.04, 38.52, and 25.46 for the Gac fruit powder containing MD, T80, MD:T80, and GL:CMC, respectively. The use of MD and MD:T80 had the highest b* color values, indicating that the addition of MD resulted in the yellowing of the Gac fruit powder.

Significant differences ($p \leq 0.05$) in ΔE of gac fruit powder were observed across the encapsulation substances (Table 2). The ΔE values were 2091.59, 1426.83, 2147.00, and 2027.55 for the Gac fruit powder containing MD, T80, MD:T80, and GL:CMC, respectively. The variation in drying agents may cause the release of certain substances that further react with each other in the dried mixtures (Tkacz et al., 2020). The addition of MD results in a more significant color shift.

2.3 lycopene, and β-carotene of Gac fruit powder

The lycopene and β-carotene content of Gac fruit powder is presented (Table 3). The average lycopene contents were 26.48, 56.24, 15.20, and 57.55 mg/100g for the dried Gac fruit seed aril containing maltodextrin (MD), Tween80 (T80), Maltodextrin: Tween80 (MD:T80), and Gelatin: Carboxymethyl cellulose (GL:CMC), respectively. Among the drying agents used, Gac fruit powder containing GL:CMC had the highest lycopene content, followed by T80, MD:T80, and MD, respectively. MD has a large particle size and high molecular weight, resulting in a small overall surface area per weight. As the dried powder is very porous, the product properties are expressed as the properties of the drying agent (Tkacz et al., 2020). Therefore, the lycopene content of Gac fruit powder containing MD is lower than other drying substances. The β-carotene contents of Gac fruit powders were 22.82, 41.91, 32.23, and 36.94 mg/100g for MD, T80, MD:T80, GL:CMC, respectively. Among the drying agents used, GL:CMC had the highest β-carotene content, followed by MD:T80, and MD, respectively. This increase may be attributed to the surfactant properties of T80, which enhance the extraction of β-carotene (Oncel & Sedef Dogan, 2016).

2.4 Bulk density and solubility of Gac fruit powder

The bulk density values and solubility of Gac fruit powders are presented in Table 3.

**Table 3** Lycopene, β-carotene contents, Bulk density and solubility of Gac fruit powder

| Drying agents | Content (%) | Lycopene (mg/100g Sample) | β-carotene (mg/100g Sample) | Bulk Density ($g/cm^3$) | Solubility (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| MD | 20 | $26.48^{b}\pm0.02$ | $22.82^{c}\pm0.01$ | $0.43^{a}\pm0.01$ | $67.39^{b}\pm2.64$ |
| T80 | 1 | $56.24^{a}\pm3.95$ | $41.91^{a}\pm7.52$ | $0.36^{b}\pm0.01$ | $55.29^{c}\pm1.35$ |
| MD:T80 | 20:1 | $24.43^{b}\pm0.63$ | $32.23^{b}\pm0.05$ | $0.43^{a}\pm0.01$ | $71.87^{a}\pm0.91$ |
| GL:CMC | 2:1 | $57.55^{a}\pm0.85$ | $36.94^{ab}\pm1.54$ | $0.36^{b}\pm0.00$ | $40.68^{d}\pm0.95$ |

[abc]Mean±standard deviation values in the same column for each zone followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

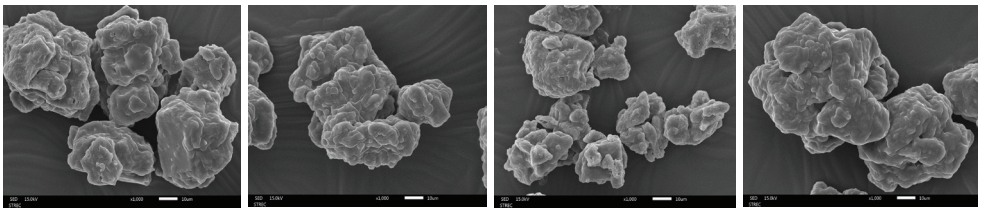
The surfactant properties of T80 enhance the extraction of Lycopene and β-carotene (56.24 and 41.91 mg/100g). In contrast, GL: CMC likely resulted in a higher lycopene content due to the stabilizing and protective properties of these polymers, however, may also impact the solubility or increase the susceptibility of β-carotene to oxidative or thermal degradation during the encapsulation process.

The bulk density values of the Gac fruit powder were 0.43, 0.36, 0.43, and 0.36 g/cm$^3$, respectively. The density of the Gac fruit powder was the highest when MD and MD:T80 were used, and the values were not statistically different ($p \leq 0.05$) when compared to using T80 and GL: CMC.

Regarding the solubility of the Gac fruit powder, the average values were 67.39, 55.29, 71.87, and 40.68%, respectively. The solubility of the powdered Gac fruit seed aril was highest when using MD:T80 and MD, followed by T80 and GL:CMC as drying agents, respectively. These experimental results were consistent with the findings of Suriyajunhom & Phongpipatpong (2017), who reported that the solubility of gac fruit powder used for drying maltodextrin ranges from 57.57 to 76.28%.

**3. SEM surface morphology**

Figure 1 illustrates the SEM magnification images of Gac fruit power using MD, T80, MD:T80, and GL:CMC as drying agents. Images were magnified 1000x to display the surface morphology and structural characteristics of the encapsulated particles from samples subjected to various drying agents. The results indicate that the particles may have a smooth appearance if the encapsulation is uniform, suggesting successful coating by the encapsulating materials (Figure 1). Maltodextrin and gelatin typically create a dense matrix that surrounds the gac fruit powder, while Tween80, a surfactant, enhances dispersion and helps stabilize the emulsion. This may contribute to the uniformity of the particle surface. Additionally, carboxymethyl cellulose (CMC) improves viscosity and structural integrity, which could result in smoother or more compact particles (Chaudhary et al., 2024).



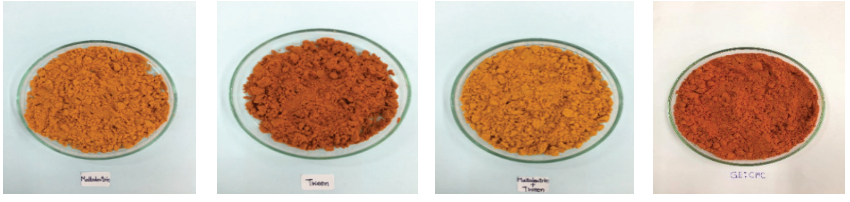
MD T80 MD:T80 GL:CMC

**Figure 1** SEM images of Gac fruit power under 1000x magnification

### 4. Shelf life of Gac fruit powder

Storage stability, or the shelf life of products, refers to the ability to maintain the characteristics and potency associated with their nutraceutical content. The properties of the final product can change over time. The variations in color, moisture content, $a_w$, and solubility, particularly with lycopene and β-carotene levels, were demonstrated.

The initial color at week 0 of the Gac fruit powder containing maltodextrin (MD), Tween 80 (T80), Maltodextrin: Tween80 (MD:T80), and Gelatin: Carboxy methyl cellulose (GL:CMC) were presented in Figure 2. The changes in the color of L*,a*, and b* values of Gac fruit powder stored at different temperatures for 8 weeks are demonstrated in Figure 3.



MD T80 MD:T80 GL:CMC

**Figure 2** Characteristic of dried Gac fruit

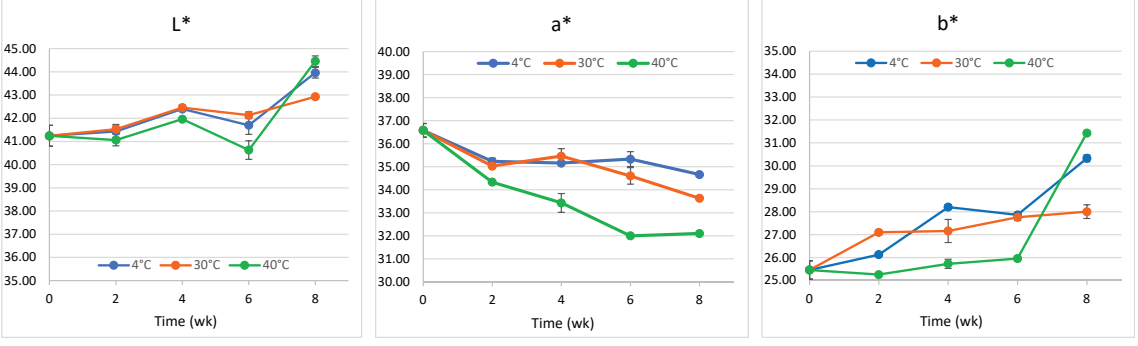



**Figure 3** Color of Gac fruit powder during storage

During the storage period, the lightness (L*) of Gac fruit powder increased significantly ($p \leq 0.05$) at all temperatures. The initial lightness value of Gac fruit powder at week 0 was 41.24, and there was no significant difference in brightness for Gac fruit powder stored at 4°C and 30°C for up to 6 weeks of storage. After eight weeks of storage, the L* values of Gac fruit powder were 43.96 and 42.93 at temperatures of 4°C and 30°C, respectively. For Gac fruit powder stored at 40°C, there was no

significant difference in brightness after four weeks of storage, but at the sixth and eighth weeks of storage, the Gac fruit powder became brighter. The lightness values were 40.63 and 44.46 at 4°C and 30°C, respectively, after eight weeks of storage.

The a* values of Gac fruit powder decreased significantly when the storage time increased for all temperatures ($p \leq 0.05$). At week 0, the a* value was 35.58 for all temperatures. At 4°C, there were no statistically significant differences in a* values between weeks 2, 4, and 6. For the temperature of 30°C and 40°C, the a* values decreased when the storage time increased.

The b* values of Gac fruit powder significantly increased ($p \leq 0.05$) when the storage time increased for all temperatures. The b* value was 25.46 at week 0 for all temperatures. After eight weeks of storage, the Gac fruit powder demonstrated the highest yellow b* value at a temperature of 40°C, with an average of 31.43. This was followed by the average at 30°C, which was 28.00, and the average at 4°C, also at 31.43.

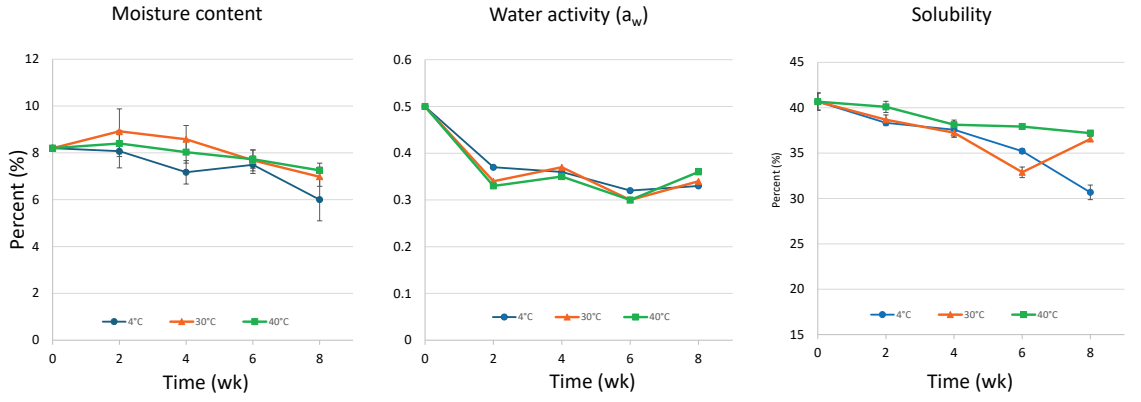



**Figure 4** Moisture content, water activity, and solubility of Gac fruit powders during storage

The moisture content, water activity, and solubility of dried Gac fruit powders were evaluated after being stored at 4°C, 30°C, and 40°C for eight weeks, as shown in Figure 4. The GL:CMC sample was selected as a benchmark for analyzing the changes during storage. Throughout the storage period, the moisture content consistently decreased. Initially, at week 0, the average moisture content of the Gac fruit powder stored at 4°C was 8.20%. During weeks 2, 4, and 6, there were no statistically significant differences in moisture content. However, by week 8, the moisture content of the Gac fruit powder stored at 4°C had dropped to its lowest level, measuring 6.00%. For the Gac fruit powder stored at 30°C, the initial moisture content was high at week 0, but it decreased during the 2$^{nd}$, 4$^{th}$, 6$^{th}$, and 8$^{th}$ weeks of storage. Similarly, the moisture content of the powder stored at 40°C remained statistically unchanged during the 0, 2$^{nd}$, and 4$^{th}$ weeks of storage.

Different storage temperatures at 4°C, 30°C and 40°C had a different effect on the water activity ($p \leq 0.05$), with all storage temperatures at week 0 having a value of 0.50 and at the 8th week of storage, the water activity values were 0.33, 0.30, and 0.30 for sample stored at temperatures at 4°C, 30°C and 40°C, respectively. It was observed that the amount of free water decreased weekly at all storage temperatures. Free water decreased and then consistently maintained at an aw of 0.3 across all storage temperatures, indicating a stable aw for our rice powder sample.

The solubility of Gac fruit powder was found to be statistically significant ($p \leq 0.05$). In the 8th week of the storage, the Gac fruit powder stored at 40°C demonstrated the highest solubility at 37.21, followed by the powder stored at 30°C with a value of 36.56, and the powder stored at 4°C, which had the lowest solubility at 30.68. These findings align with the experimental results reported by Suriyajunhom and Phongpipatpong (2017), which indicated that the solubility of Gac fruit powder ranged from 57.57% to 76.28%, confirming that the solubility was lowest at 4°C.

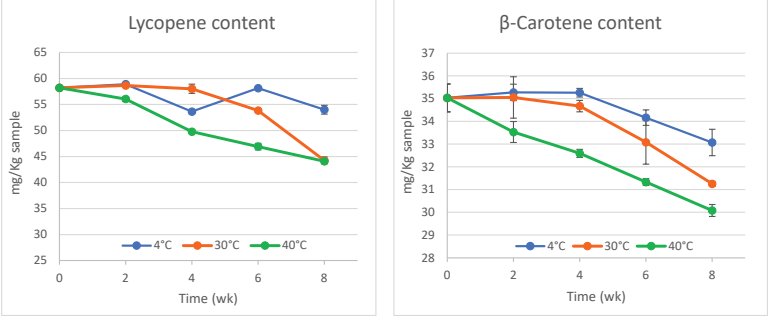



**Figure 5** Lycopene and β-Carotene of Gac fruit powder during storage

The contents of lycopene and β-carotene of Gac fruit powder were observed in Figure 5 during eight weeks of storage at temperatures of 4°C, 30°C, and 40°C. The study showed that the lycopene content significantly decreased with longer storage times ($p \leq 0.05$). The average lycopene content in the Gac fruit powder was 58.20 mg/100g during week 0 of storage at 4°C, 30°C, and 40°C. However, there was no significant difference in lycopene content during weeks 0, 2, and 4 of storage. On the 8th week of storage at 4°C, the average lycopene content was 54.01 mg/100g, while at 30°C and 40°C, the average lycopene content was 44.26 mg/100g and 44.08 mg/100g, respectively. Lycopene content decreased as storage time increased, which was consistent with the study of Bhumsaidon & Chamchong (2016) where the Gac fruit powder was stored for 8 weeks at 26°C and 7°C. The study showed that high temperatures during storage decreased lycopene content because the heat stimulated oxidation, causing the decomposition of lycopene through a chain reaction involving free radicals with oxygen, light or heat as initiators (Chottanom et al., 2020).

The β-carotene content in Gac fruit powder significantly decreases ($p \leq 0.05$) with increasing storage time (Figure 5). The study found that at week 0, the β-carotene content was 35.03 mg/100g at all storage temperatures. There was no significant difference ($p \leq 0.05$) in the β-carotene content during weeks 0, 2, 4, and 6 when stored at 4°C and 30°C. However, Gac fruit powder stored at 40°C exhibited a notable difference, with an average β-carotene content of 30.08 mg/100g. Additionally, Gac fruit powder stored at 40°C showed a rapid decrease in β-carotene content each week, while the Gac fruit powder stored at 4°C experienced a slower decline. By the eighth week of storage, the Gac fruit powder at 4°C had a β-carotene content of 33.07 mg/100g, whereas the powder at 30°C had an average of 31.25 mg/100g. The lowest β-carotene content was observed in the Gac fruit powder stored at 40°C, averaging 30.08 mg/100g.

## Conclusions

This research investigated the suitability of various encapsulating materials for producing Gac fruit powder using tray drying and evaluated its stability during storage under different temperature conditions. The combination of 20% Maltodextrin and 1% Tween80 emerged as the optimal encapsulant for achieving high encapsulation yield and solubility, making it suitable for applications where cost efficiency and process scalability are priorities. In contrast, 1% Tween80 and the mixture of 2% Gelatin and 1% Carboxymethyl cellulose (w/w) demonstrated superior retention of active compounds like β-carotene and lycopene, which is critical for maintaining the nutritional and pigment integrity of the powder. Vacuum-sealed packaging and low-temperature storage (4°C) are recommended to mitigate nutrient degradation and preserve physical and sensory quality. This study underscores that the choice of encapsulation materials depends on the desired balance between functionality (e.g., pigment stability) and production considerations (e.g., solubility and yield). The results provide valuable insights for optimizing Gac fruit powder production and storage, ensuring both quality and cost-effectiveness in food applications. This powder is suitable for use in a variety of products, including baked goods, beverages, noodles, and Thai desserts. Additionally, it can enhance the natural color of these items. Future research should focus on incorporating Gac fruit powder into various food products and investigating its shelf life within those formulations. Different processing methods and food matrices may affect the stability of β-carotene, lycopene, and the color properties of the final products.

## Acknowledgement

This work was financially supported by the Thailand Science Research and Innovation (TSRI) and the National Science and Technology Development Agency (NSTDA).

## References

Abdulqader, A., Ali, F., Ismail, A., & Esa, N.M. (2019). Antioxidant compounds and capacities of Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) fruits. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 9**(4), 158-167.

Anthon, G., & Barrett, D.M. (2007). Standardization of a Rapid Spectrophotometric Method for Lycopene Analysis. **Acta Horticulturae, 758**(758), 111-128.

AOAC. (2000). **Official Method of Analysis.** 17th ed The Association of Official Analytical Chemists. Virginia, USA.

Asma, C., Meriem, E., Mahmoud, B., & Djaafer, B. (2014). Physicochemical characterization of gelatin-CMC composite edibles films from polyion-complex hydrogels. **Journal of the Chilean Chemical Society, 59**(1), 2279-2283.

Baeza, R., & Chirife, J. (2021). Anthocyanin content and storage stability of spray/freeze drying microencapsulated anthocyanins from berries: a review. **International Journal of Food Engineering,** 1-18.

Bhumsaidon, A., & Chamchong, M. (2016). Variation of Lycopene and β-Carotene Contents After Harvesting of Gac Fruit and its Prediction. **Agriculture and Natural Resources, 50**(4), 257-263.

Bopitsuwan, R., & Rojanakorn, T. (2017). **Effects of Maltodextrin on Some Physical Characteristicsof Foam-mat Dried Gac Aril Powder.** In The National and International Graduate Research Conference, (467-474). Khon Kaen University: Khon Kaen University Printing House.

Çalışkan, G., Ergün, K., & Dirim, S.N. (2015). Freeze Drying of Kiwi (Actinidia deliciosa) Puree and the Powder Properties. **Italian Journal of Food Science, 27**(3), 385-396.

Chaudhary, M.N., Li, X., Yang, S., Wang, D., Luo, L., Zeng, L., & Luo, W. (2024). Microencapsulation Efficiency of Carboxymethylcellulose, Gelatin, Maltodextrin, and Acacia for Aroma Preservation in Jasmine Instant Tea. **Gels, 10**(10), 670.

Chottanom, P., Nuntasan, M., Suwanarong, S., Chuiyglang, K., Hemthanoon, G., Chuenta, W., & Jantatha, S. (2020). Production of Yam Bean Powder Using Foam-Mat Drying: Investigation of Physical Properties and Sensory Acceptance. **King Mongkut's Agricultural Journal, 38**(2), 245-253.

Darapong, P., Tachai, S., Atthaisong, J., Jaikla, N., Rabiab, B., & Srimoon, R. (2023). Tyrosinase Inhibitory Efficiency and Antioxidant Activity of Gac Fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng.) Extract. **RMUTP Research Journal: Science and Technology, 17**(2), 149-156. (In Thai)

Dien, L.K.L., Minh, N.P., & Dao, D.T.A. (2013). Investigation different pretreatment methods and ratio of carrier materials to maintain carotenoids in gac (*Momordica Cochinchinensis* Spreng) powder in drying process. **International Journal of Scientific & Technology Research**, **2**(12), 360-371.

Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., & Kazakis, N.A. (2004). Influence of Spray Drying Conditions on Tomato Powder Properties. **Drying Technology, 22**(5), 1129-1151.

Jay, M.J. (1998). **Modern Food Microbiology**. Maryland, USA.: Aspen Publishers. Inc.

Maisont, S., Samutsri, W., Sansomboon, A., & Limsuwan, P. (2022). Drying edible jellyfish (*Lobonema smithii*) using a parabolic greenhouse solar dryer. **Food Research, 6**(6), 165-173.

Mai, H.C., Truong, V., Haut, B., & Debaste, F. (2013). Impact of limited drying on *Momordica cochinchinensis* Spreng. aril carotenoids content and antioxidant activity. **Journal of Food Engineering, 118**(4), 358–364.

Ministry of Public Health (2000). Notification of the Ministry of Public Health No. 193. Re: **Production Processes, Production Equipment, and Foods Storages**.

Munsuk, T., Sukboon, P., Phumsuay, R., Tuntipopipat, S., & Muangnoi C. (2024). Protective Effects of Extraction and Bioaccessible Fraction of Gac Fruit against $H_2O_2$-Induced Oxidative Damage in Human Retinal Pigment Epithelial (ARPE-19) Cells. **Thai Journal of Toxicology, 39**(1), 22-36. (In Thai)

Oncel, S., & Sedef Dogan, N. (2016). Extraction of β-carotene from carrots using a sustainable method: Supercritical carbon dioxide extraction with Tween 80. **The Journal of Supercritical Fluids, 107**(6), 381-386.

Suriyajunhom, P., & Phongpipatpong, M. (2017). **Effect of drying temperature, maltodextrin and gum Arabic on physiochemical characteristics of Gac powder produced by double drurm drying.** In The 18th TSAE National Conference and the 10th TSAE International Conference, (243-249). Bangkok: Agricultural Extension Printing House.

Tinrat, S., Akkarachaneeyakorn, S., & Singhapol, C., (2014). Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of *Momordica cochinchinensis* Spreng (Gac fruit) Ethanolic extract. **International of Journal Pharmaceutical Sciences and Research, 5**(8), 3163-3169.

Tkacz, K., Wojdyło, A., Michalska-Ciechanowska, A., Turkiewicz, I.P., Lech, K., & Nowicka, P. (2020). Influence Carrier Agents, Drying Methods, Storage Time on Physico-Chemical Properties and Bioactive Potential of Encapsulated Sea Buckthorn Juice Powders. **Molecules, 25**(17), 3801.

Vidović, S.S., Vladić, J.Z., Vaštag, Ž.G., Zeković, Z.P., & Popović, L.M. (2014). Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in Satureja montana dry powder extract obtained by spray drying technique. **Powder Technology, 258**(47), 209-215.

Vuong, L.T., & King, J.C. (2003). A Method of Preserving and Testing the Acceptability of Gac Fruit Oil, a Good Source of β-Carotene and Essential Fatty Acids. **Food and Nutrition Bulletin, 24**(2), 224-230.

Wimalasiri, D., Dekiwadia, C., Fong, S.Y., Piva, T.J., & Huynh, T. (2020). Anticancer activity of Momordica cochinchinensis (red gac) aril and the impact of varietal diversity. **BMC Complementary Medicine and Therapies, 20**(1), 365.

# ภาคผนวก

# รายละเอียดการเตรียมบทความ
# วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
# Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานในลักษณะบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) และบทความปริทัศน์ (Review Article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่นักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

**ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์**

วารสารวิจัยราชภัฏพระนครสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตีพิมพ์บทความด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์สถิติฟิสิกส์เคมีชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

**การพิจารณาบทความ**

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้แต่งและผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review)

**ประเภทของบทความที่รับตีพิมพ์**

1. บทความวิจัย (Research Article)

เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์การดำเนินการวิจัย

2. บทความวิชาการ (Academic Article)

งานเขียน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์แนวทางการแก้ไขปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎีผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือ วารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ตประกอบการวิเคราะห์ วิจารณ์เสนอแนวทางแก้ไข

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ (State of the art) เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้ามีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทั้งทางกว้าง และทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อพิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้มที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป

**หลักเกณฑ์ในการส่งบทความ**

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ

2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)

3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความของวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น

5. กรณีข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิและชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

**คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ**

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2003 ขึ้นไป โดยใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt. ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ กำหนดตั้งค่าหน้ากระดาษ บน 1.5 นิ้ว ซ้าย 1.5 นิ้ว ล่าง 1.0 นิ้ว ขวา 1.0 นิ้ว โดยความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

1. บทความวิจัย (Research article) ประมาณ 12 หน้า ต่อบทความ
2. บทความทางวิชาการ (Academic article) ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ
3. บทความปริทัศน์(Review article) ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ

โดยมีส่วนประกอบดังนี้

| บทความวิจัย (Research Article) | บทความวิชาการ (Academic Article) | บทความปริทัศน์ (Review Article) |
|---|---|---|
| 1. บทนำ (Introduction) | 1. บทนำ (Introduction) | 1. บทนำ (Introduction) |
| 2. วิธีการ (Methods) | 2. เนื้อหา (Context) | 2. เนื้อหา (Context) |
| 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and Discussions) | 3. สรุป (Conclusions) | 3. สรุป (Conclusions) |
| 4. สรุป (Conclusions) | 4. เอกสารอ้างอิง (References) | 4. เอกสารอ้างอิง (References) |
| 5. เอกสารอ้างอิง (References) | | |

**ชื่อเรื่อง** ควรมีความกระชับและชัดเจน ไม่ยาวจนเกินไป บทความภาษาไทยต้องมีชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด

**ชื่อผู้แต่ง** ระบุชื่อเต็มและนามสกุลเต็มของผู้แต่งทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยไม่ใส่ยศหรือตำแหน่งสำหรับผู้แต่งหลักต้องใส่ E-mail address ที่ติดต่อได้และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับ

**บทคัดย่อ** บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ

**คำสำคัญ** ให้มีคำสำคัญ 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

**รูปภาพ** แยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุลTIFF, หรือJPEG ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับเพื่อคุณภาพในการพิมพ์หมายเลขรูปภาพและกราฟ ให้เป็นเลขอารบิกคำบรรยายและรายละเอียดต่างๆอยู่ด้านล่างของรูปภาพ ปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale

**เนื้อหา** ใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด14 พอยท์จัดเนื้อหาตามรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) หรือบทความปริทัศน์(Review Article) หน่วยที่ใช้ให้เป็นไปตามรูปแบบสากล ศัพท์ภาษาอังกฤษในวงเล็บให้ใช้ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ หากมีสมการให้ใช้ Equation Editor โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งกลางหน้ากระดาษ พร้อมระบุหมายเลขสมการ

**ตาราง** หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านบนของตาราง

**เอกสารอ้างอิง** เป็นรายชื่อเอกสารที่ใช้อ้างถึงในบทความ โดยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และจัดรูปแบบอ้างอิงตามระบบ APA 6th edition

**รูปแบบการอ้างอิง**

**1. การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)**

| | |
|---|---|
| กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งก่อนข้อความ | ชื่อผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์)..... |
| ตัวอย่าง | Kelly (2004) แสดงให้เห็นว่า..... |
| | Saikaew & Kaewsarn (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ..... |
| | Lui et al. (2000) พบว่า..... |
| | Saikaew & Kaewsarn (2009) และ Lui et al. (2000) พบว่า |
| กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งท้ายข้อความ | ..... (ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์) |
| ตัวอย่าง | ..... (Kelly, 2004) |
| | ..... (Saikaew & Kaewsarn, 2009) |
| | ..... (Lui et al., 2000) |
| | ..... (Saikaew & Kaewsarn, 2009; Lui et al., 2000) |

**2. การอ้างอิงในส่วนท้ายบทความ (References)**

**2.1 อ้างอิงจากหนังสือ (Books)**

รูปแบบ ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ.** (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง Crawley, R. B., Dockery, L. M., Branson, T. S., Carmichael, L. E., Carson, J. C., Findlay, A. F., & Smith, D. M. (2015). **Manor houses of the early 1900s.** London, England: Taylor & Francis.

**2.2 อ้างอิงจากบทความวารสาร (Journal articles)**

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. **ชื่อวารสาร, ปีที่**(ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง Yingsanga,P., & Mathurasa,L. (2009).Yellowing developmentof ChineseKale (Brassica oleraceavar.alboglabla).**Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology, 14**(1), 76-90. (In Thai)

Morrisa, G.A., Fosterb, T.J., & Hardinga, S.E. (2000). The effect of the degreeof esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. **Food Hydrocolloids, 14**(3), 227–235.

**2.3 อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)**

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). **ชื่อวิทยานิพนธ์.** (ระดับวิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัย, เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.

ตัวอย่าง Caprette, C.L. (2005). **Conquering the cold shudder: The origin and evolution of snake eyes.** (Doctoral dissertation). Ohio State University, Columbus, OH.

**2.4 อ้างอิงจากรายงานการวิจัย/รายงานทางวิชาการ (Technical/Research reports)**

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง** (ประเภทของเอกสาร). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง Tayama, T. (2006). **Velocity influence on detection and prediction of changes in color and motion direction** (Report No. 38). Sapporo, Japan: Psychology Department, Hokkaido University.

**2.5 บทความ/บทในหนังสือการประชุม (Proceedings of meeting and symposium)**

รูปแบบ ชื่อผู้แต่งในบท. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง.** ใน ชื่อบรรณาธิการ, (บรรณาธิการ), ชื่อการประชุม (หน้าแรก-หน้าสุดท้าย). สถานที่พิมพ์: สานักพิมพ์.

ตัวอย่าง Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1991). **A motivational approach to self: Integration in personality.** In R. Dienstbier (Ed.), Nebraska Symposium on motivation: Vol. 38 Perspectives on motivation (237-288). Lincoln, NM: University of Nebraska Press.

**2.6 อ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ**

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง.** Retrieved from http://.....[ใส่วันที่สืบค้น].

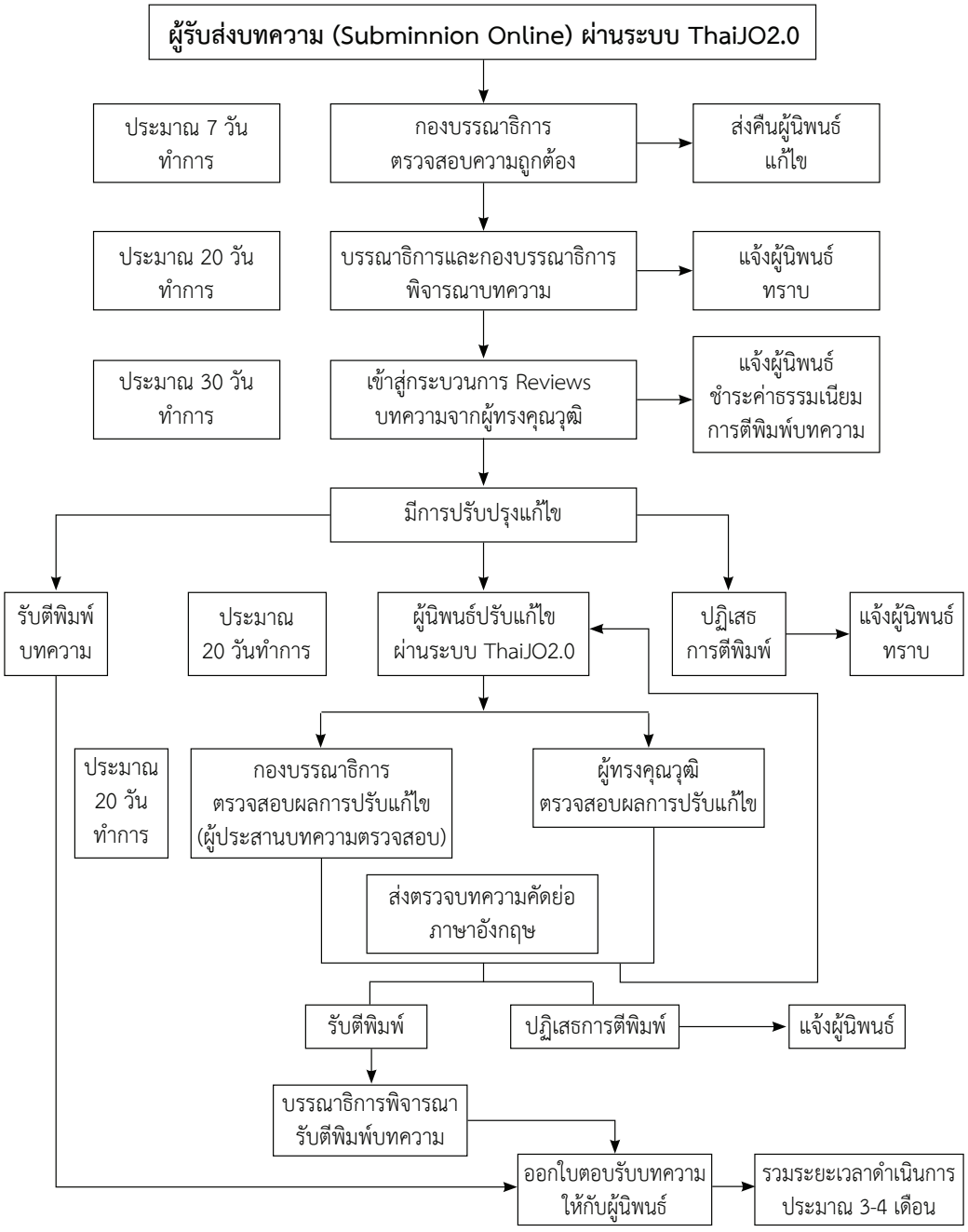
ตัวอย่าง Centers for Disease Control and Prevention. (2003). **Take charge of your diabetes.** Retrieved from http://www.cdc.gov/diabetes /pubs/paf/ted.pdf [2015, 25 Oct.]

**2.7 อ้างอิงอื่น ๆ**

รูปแบบ ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์. (ปีที่ให้สัมภาษณ์, วัน เดือน). **สัมภาษณ์.** ตำแหน่งผู้ให้สัมภาษณ์. หน่วยงาน.

ตัวอย่าง Phae-ngam, W. (2016, 10 Jan.). **How to write a good research article. Assistant Professor.** FacultyofScienceand Technology.PhranakhonRajabhat University

## ขั้นตอนการพิจารณาบทความ
## วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี




**หมายเหตุ:** ทางวารสารขอสงวนสิทธิ์ที่จะเรียบเรียงและอาจปรับปรุงการนำเสนอบทความตามความเหมาะสม

# รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)

## ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK ขนาด 16pt. ตัวหนา)

## ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ[1*] ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ[2] (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)
[1]ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)
[2]ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

Author[1*], Author [2]
(TH SarabunPSK 14pt. normal)
[1]Affiliation(TH SarabunPSK 12pt. normal)
[2]Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*Received: xx-xx-xx*
*Revised: xx-xx-xx*
*Accepted: xx-xx-xx*

**บทคัดย่อ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)**

เนื้อหาบทคัดย่อในกรณีเป็นบทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ยกเว้นบทวิจารณ์หนังสือ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียว ไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ ผลลัพธ์ หรือ สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ

(TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....
.....

**คำสำคัญ:** คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3 คำสำคัญ4 คำสำคัญ5 (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

**ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

**Keywords:** keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

**บทนำ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)**

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด14pt.ตัวปกติ).....
.....

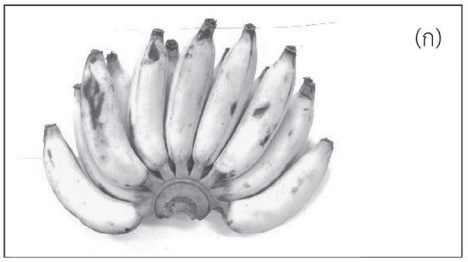
**วิธีการ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)**

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด14pt.ตัวปกติ).....
.....

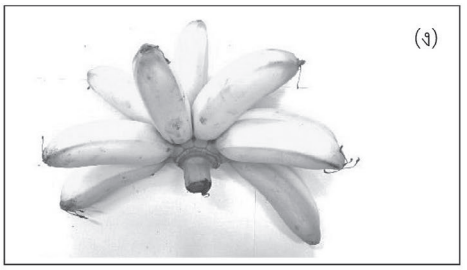
**ผลการทดลองและวิจารณ์ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)**

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด14pt.ตัวปกติ).....

.....






**ภาพที่ 1** ชื่อภาพ....(ก)..... (ข)..... (ค)..... (ง).....

**ตารางที่ 1** ชื่อตาราง

| เวลาที่ใช้ (นาที) | ความดัน (mbar) | | | | ความดันเฉลี่ย (mbar) |
|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | |
| 90 | 0.000061 | 0.000053 | 0.000037 | 0.000048 | 0.000050 |
| 95 | 0.000055 | 0.000053 | 0.000038 | 0.000044 | 0.000048 |
| 100 | 0.000055 | 0.000052 | 0.000037 | 0.000048 | 0.000048 |

หมายเหตุ : (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

**สรุป (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)**

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

**กิตติกรรมประกาศ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา) (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)**

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

**เอกสารอ้างอิง (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)**

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt.) .....

.....

.....

# รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาอังกฤษ)

## ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

Author 1*, Author [2] (TH SarabunPSK14pt.normal)
[1]Affiliation(TH SarabunPSK12pt.normal)
[2]Affiliation(TH SarabunPSK12pt.normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*Received: xx-xx-xx*
*Revised: xx-xx-xx*
*Accepted: xx-xx-xx*

**ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared inconcisestatementofobjectivesand summaryof important results.

**Keywords:** keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

**Introduction (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

(TH SarabunPSK 14pt. normal) .....
.....

**Methods (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

(TH SarabunPSK 14pt. normal) .....
.....

**Results and Discussions (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

(TH SarabunPSK 14pt. normal) .....
.....

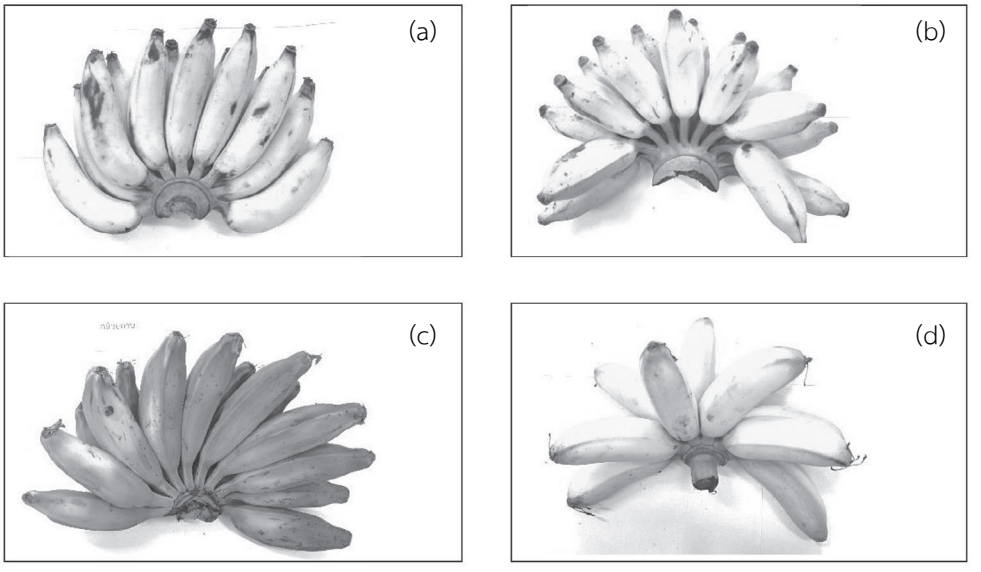



**Figure 1** .....(a)..... (b)..... (c)..... (d).....

**Table 1** table name

| Time (minuts) | Pressure (mbar) | | | | Avg. Pressure (mbar) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Day 1 | Day 2 | Day 3 | Day 4 | |
| 90 | 0.000061 | 0.000053 | 0.000037 | 0.000048 | 0.000050 |
| 95 | 0.000055 | 0.000053 | 0.000038 | 0.000044 | 0.000048 |
| 100 | 0.000055 | 0.000052 | 0.000037 | 0.000048 | 0.000048 |

Note: (TH SarabunPSK 12pt. normal)

**Conclusions (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

(TH SarabunPSK 14pt.).....

.....

**Acknowledgement (TH SarabunPSK 14pt. bold) (optional)**

(TH SarabunPSK 14pt.).....

.....

**References (TH SarabunPSK 14pt. bold)**

(TH SarabunPSK 14pt.) .....

.....

.....

# จริยธรรมในการตีพิมพ์
# Publication Ethics

วารสารวิจัยราชภัฏพระนครสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมาตรฐานทางจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ ดังนี้

**จริยธรรมของผู้แต่งบทความ**

1. บทความที่ส่งต้องเป็นบทความที่ไม่เคยมีการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน และต้องไม่คัดลอกผลงานผู้อื่นโดยขาดการอ้างอิงที่ถูกต้อง ยกเว้นบทความที่แปลจากภาษาต ่างประเทศที่ผู้แต ่งบทความได้รับการยินยอม และมีหลักฐานแสดงแก่วารสาร
2. ชื่อบทความ ข้อความ รูปภาพ ตารางประกอบ และอื่น ๆ ที่ปรากฏในบทความเป็นความคิดเห็นของผู้แต่งถือว่าเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบร่วมใด ๆ ทั้งสิ้น
3. บทความต้องรายงานผลการทดลอง รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ตามข้อเท็จจริง
4. หากมีการทดลองเกี่ยวกับมนุษย์หรือสัตว์ผู้แต่งต้องปฏิบัติตามหลักจริยธรรมในการวิจัยและข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
5. บทความต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ของวารสารอย่างเคร่งครัดตาม "คำแนะนำสำหรับผู้แต่ง" ทั้งในรูปแบบการจัดบทความ การเขียนอ้างอิง และควรระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนการวิจัย (ถ้ามี)
6. เมื่อผู้แต่งได้รับผลการประเมินบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิควรเคารพความคิดเห็นทางวิชาการและแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิแล้วส่งกลับมายังกองบรรณาธิการตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ชื่อผู้แต่งที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

**จริยธรรมของบรรณาธิการ**

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่ดำเนินงานวารสารให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวารสาร
2. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
3. บรรณาธิการมีหน้าที่กลั่นกรองตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความถูกต้องของบทความร่วมกับกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
4. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งผู้ประเมินบทความ และบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องสนับสนุนให้มีกระบวนการพิจารณาการประเมินบทความจากผู้ประเมินที่มีความชำนาญต่อเนื้อหาของบทความ รวมถึงระบบการปกปิดความลับของการพิจารณาการประเมิน และระบบการป้องกันข้อมูลส่วนตัวของผู้แต่งและผู้ประเมินบทความ (Double blined)
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

**จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ**

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ และพิจารณาบทความตามหลักวิชาการและจริยธรรมสากลโดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับ และไม่มีส่วนได้เสียหรือผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้แต่ง

2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่น ๆ

3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่เปิดเผยข้อมูลทุกส่วนของบทความที่ทำการประเมินให้แก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างการประเมินบทความ

4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่นำข้อมูลในบทความที่ตนประเมินไปเป็นผลงานของตนเองก่อนบทความนั้นได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ และหากตรวจพบเนื้อหาในบทความที่มีความซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ